



PARINA:
Prévention Anticipée des Risques par la Navigation.

RAPPORT FINAL

10 OCTOBRE 2002

Rédigé par Alexandre Revue (ENSMP)	Le 5 sept 2002	
Caroline Ethève, Jérôme Marquet, Laurent Salesse (Renault)	Le 10 Octobre 2002	
Approuvé par: L.Salesse	Le	
Approuvé par	Le	

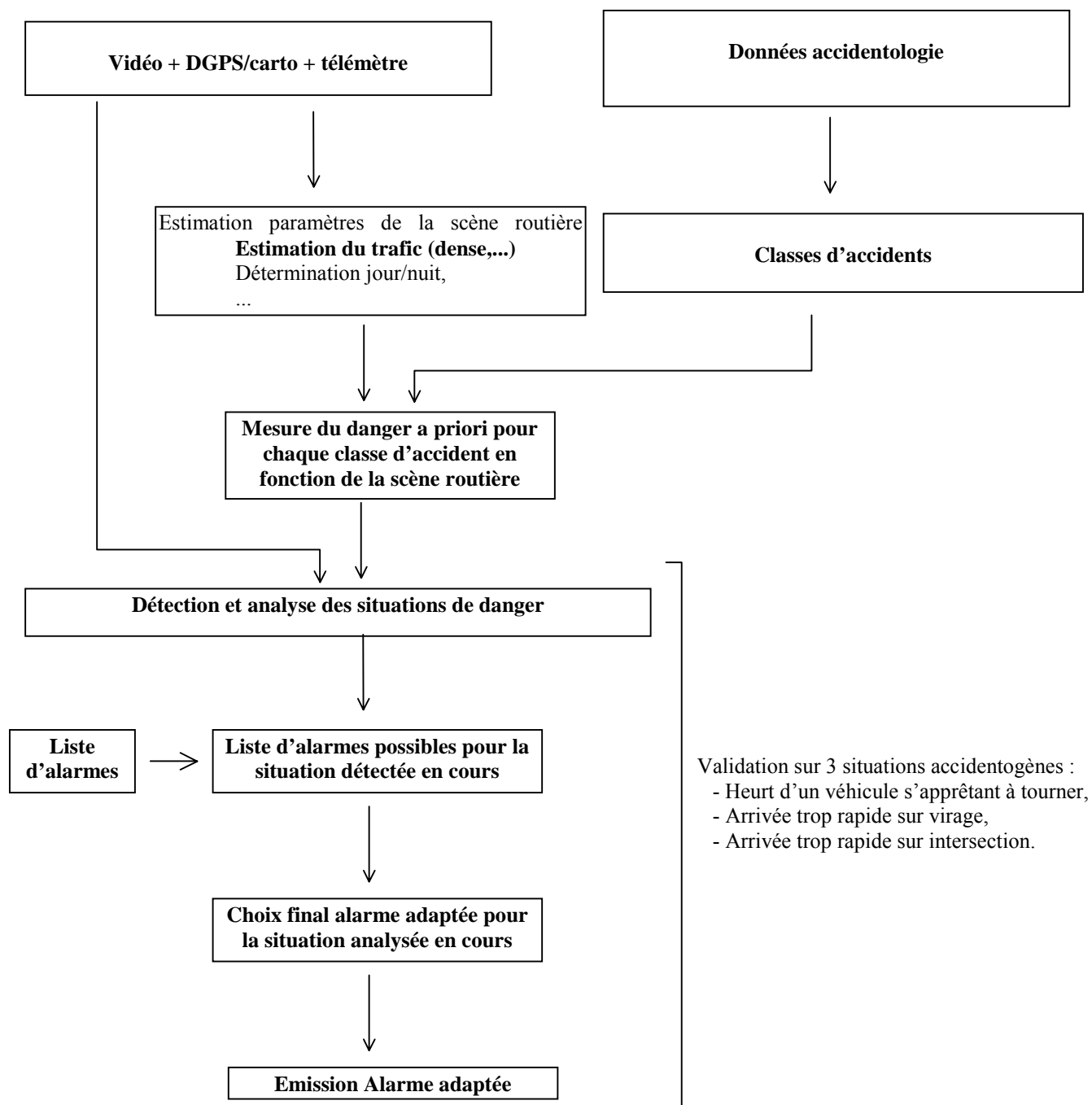
1. INTRODUCTION, RAPPEL DES OBJECTIFS	5
2. ACCIDENTOLOGIE	7
2.1. Introduction	7
2.2. Les bases de données utilisées	8
2.3. Etude de cas	9
2.4. Formalisme : classification géométrique et identification des marqueurs à détecter	10
2.4.1. Accidents en intersections	10
2.4.2. Accidents en virages	13
2.5. notations	15
2.6. Intersections : scenarii et marqueurs	16
2.7. Virages : scenarii et marqueurs	17
2.8. Récapitulatif sur les marqueurs	18
3. ETUDE DES ALGORITHMES DE TRAITEMENT	20
3.1. Instrumentation du véhicule	20
3.1.1. Le véhicule	20
3.1.2. Télémètre	20
3.1.3. Systèmes d'information géographique	21
3.1.4. Vision	28
3.2. Sélection des marqueurs mesurés	30
3.3. Campagne d'enregistrement	32
3.4. Outils et Algorithmes élémentaires (pré traitements)développés	32
3.4.1. Outil de calibrage de la caméra	32
3.4.2. Mise en correspondance entre l'horizon électronique et l'image	34
3.4.3. Détection et suivi de véhicules dans le sens longitudinal	36
3.4.4. Détection de clignotants	37
3.4.5. Détection de feux stop	39
3.4.6. Détection de masquages statiques sur virages	40
3.4.7. Détection de masquages statiques sur intersections	43
3.4.8. Détection de masquages dynamiques sur intersection	44
3.4.9. Détection de véhicules dans le sens transversal par flot optique	45
3.4.10. Détection de véhicules dans le sens transversal par suivi de contour	46
3.5. Réorientation des objectifs de l'étude	48
3.6. Algorithmes de traitement haut niveaux	48
3.6.1. Définition des IHM du démonstrateur	49
3.6.2. Description de l'application "arrivée sur virage" (Curve Warning)	55
3.6.3. Arrivée sur véhicule s'apprêtant à tourner (simulation)	70
3.6.4. Arrivée trop rapide sur virage (simulation)	72
3.6.5. Arrivée sur intersection	73
4. EXPERIMENTATION ET VALIDATION	74

4.1. Acquisition de données de validation	74
4.1.1. Arrivée trop rapide sur véhicule s'apprêtant à tourner	74
4.1.2. Arrivée trop rapide sur virage	80
4.1.3. Arrivée trop rapide sur intersection	81
4.1.4. Déroulement des essais	84
4.2. Résultat des traitements	88
4.2.1. Arrivée sur véhicule s'apprêtant à tourner	88
4.2.2. Arrivée sur virages (simulation)	88
4.2.3. Arrivée sur intersection	90
4.2.4. Démonstrateur arrivée trop rapide en virage (Curve Warning)	91
5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	92
6. BIBLIOGRAPHIE	94
7. GLOSSAIRE ET ABBREVIATIONS	95
8. ANNEXE I: SCENARII ET MARQUEURS	97
9. ANNEXE II DESCRIPTION D'OUTILS	130
9.1. Conversion de systèmes de coordonnées	130
9.2. Filtrage de Kalman	131
9.3. Transformée de Hough	131
9.4. Flot Optique	132
10. ANNEXE III CALIBRATION DE LA CAMERA PARINA	134
10.1. Le modèle de caméra utilisé	134
10.2. La procédure de calibration et le mode opératoire	135
10.3. Les résultats de la calibration	136

1. INTRODUCTION, RAPPEL DES OBJECTIFS

Ce document présente la synthèse des travaux réalisés dans le cadre du projet PARINA (Prévention Anticipée des RISques grâce à la NAvigation), décision d'aide à la recherche N° 00 MT 14.

L'objectif de ce projet de recherche était de réaliser un démonstrateur d'alerte des conducteurs couplant des informations issues de la navigation (localisation fine DGPS/cartographie) à des données d'accidentologie et à des capteurs de types télémètres et caméras.



Trois situations accidentogènes ont été étudiées :

- arrivée trop rapide sur virage
- arrivée trop rapide sur véhicule s'apprêtant à tourner.
- arrivée trop rapide sur intersection.

Les travaux ont tout d'abord été consacrés à la recherche, en collaboration avec le LAB (Laboratoire d' Accidentologie et de Biomécanique), de certaines particularités ou "marqueurs" permettant de détecter et caractériser des situations routières pour pouvoir par la suite en évaluer le niveau de dangerosité.

La seconde partie des travaux a été consacrée à l'étude des moyens de détection et de traitement des marqueurs pour en déduire le niveau de dangerosité des situations routières rencontrées.

La dernière partie des travaux a été consacrée à la réalisation d'un démonstrateur roulant intégrant la fonction "alerte sur arrivée trop rapide en virage" et de deux simulateurs de détection des marqueurs caractérisant les situations arrivées trop rapides sur véhicule s'apprêtant à tourner et sur intersection.

Le détail de ces travaux est exposé ci dessous.

2. Accidentologie

2.1. Introduction

L'accidentologie est une science jeune qui a pour objectif de comprendre les mécanismes accidentels et lésionnels, notamment routiers, afin de proposer des contre-mesures pour diminuer le nombre et la gravité des accidents de la route et des lésions corporelles conséquentes. La compréhension de ces mécanismes nécessite, entre autres, des études approfondies sur les accidents réels et la construction de modèles théoriques et de grilles de lecture et d'analyse de l'accident permettant à l'accidentologiste de structurer le déroulement de l'accident et de démêler les interactions entre les facteurs et les causes l'ayant provoqué. Un des modèles les plus connus en France est le modèle séquentiel qui décompose l'accident en 4 phases :

- la situation de conduite (explicative de la nature et des conditions du déplacement, et des stratégies adoptées en abord du site de l'accident),
- la situation de rupture ou d'accident (créée généralement par un élément nouveau ou imprévu),
- la situation d'urgence (qui est celle où le conducteur doit impérativement exécuter une manœuvre de sauvegarde sous contraintes de temps et d'espace pour éviter le choc)
- la situation de choc qui comprend les conditions du choc lui-même et les événements consécutifs au choc (INRETS, Presses de l'ENPC, 1995).

On distingue généralement les études approfondies d'accident selon qu'elles concernent la sécurité primaire (les mécanismes accidentels, la prévention et l'évitement de l'accident), ou la sécurité secondaire (les mécanismes lésionnels et la prévention des blessures). Les études accidentologiques approfondies orientées vers la sécurité primaire datent des années 1950 dans certains pays et se sont développées dans les années 1970 et 1980, notamment en France à l'Organisme National de Sécurité Routière (ONSER) puis au département Mécanismes d'Accident de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS).

Les constructeurs automobiles français, par l'intermédiaire de leur Laboratoire d'Accidentologie et de Biomécanique commun (le LAB), ont développé ce genre d'études au début des années 1990, dans le cadre du programme de recherche VSR (Véhicule et Sécurité Routière) en partenariat avec l'INRETS. Ces études sont destinées à apporter aux constructeurs automobiles français les connaissances accidentologiques suffisantes pour comprendre les configurations d'accidents et éventuellement spécifier des dispositifs d'évitement de l'accident qui pourront assister le conducteur ou même s'y substituer en cas de défaillance dans une situation d'urgence.

2.2. Les bases de données utilisées

Comprendre les mécanismes accidentels implique notamment de recueillir de l'information sur les accidents de la route, puis d'analyser cette information. Au début du programme VSR, le LAB a choisi de développer une méthode d'investigation prospective et systématique qui consiste à établir un catalogue évolutif de l'information à collecter sur les accidents.

En quoi consiste une collecte approfondie d'informations de l'accident, orientée vers la sécurité primaire ? Il y a en réalité de nombreuses manières de procéder à de telles études. La meilleure façon de procéder, puisqu'il n'est quasiment jamais possible d'être sur les lieux de l'accident au moment où il se produit ou qu'il n'est pas encore possible de disposer d'enregistreurs (boîte noire) sur les véhicules routiers, est de se rendre sur les lieux de l'accident en même temps que les pompiers et les forces de l'ordre puis de procéder rapidement à la collecte des données périssables (entretiens avec les impliqués, photographies des lieux et des véhicules, repérage et mesures des traces sur la chaussée, inspection des véhicules, ...). Cette méthode prend le nom d'investigation sur la scène de l'accident et implique évidemment un système d'alerte qui avise l'équipe accidentologique de l'occurrence d'un accident pour que celle-ci se rende sur le terrain aussi vite que possible. Une autre manière de procéder est de ne recueillir les données sur les accidents que plusieurs heures ou plusieurs jours après que l'accident a eu lieu. C'est la méthode d'investigation en temps différé. Un accidentologue se rend à la préfecture ou dans les commissariats et compagnies de CRS plusieurs fois par semaine, prend connaissance des accidents, recueille les éléments disponibles auprès des services de la préfecture ou des policiers, notamment dans le procès-verbal en cours de constitution, puis continue son exploration de l'accident en cherchant les données complémentaires dans les mêmes conditions que le recueil complémentaire de la méthode sur la scène. Cette méthode donne généralement des résultats moins bons mais coûte moins cher et n'est adaptée que s'il est difficile de se rendre sur les lieux d'un accident assez rapidement avant que les véhicules ne soient déplacés ou que les impliqués soient emmenés à l'hôpital par le Véhicule de Secours aux Asphyxiés et aux Blessés (VSAB).

Le LAB a choisi de développer des études détaillées d'accident sur la scène de l'accident et a confié au CEESAR la réalisation de ces études. Typiquement, il s'agit d'envoyer une équipe de spécialistes le plus rapidement sur les lieux de l'accident et de rechercher tous les indices pouvant aider à expliquer ce qu'il s'est passé. Evidemment, on sait ce que l'on cherche et l'on a identifié auparavant une check-list d'informations à recueillir :

- à propos de l'impliqué : état civil, maladies, permis de conduire, expérience de conduite, état au moment de l'accident, motif de déplacement, manœuvres effectuées en situation d'urgence, ... Ces informations sont généralement recueillies par des entretiens avec l'impliqué.
- à propos des lieux de l'accident par la mesure des caractéristiques de la chaussée (géométrie, accotement, surface, signalisation, trafic, visibilité, ...),
- à propos des véhicules par une inspection systématique (identification, caractéristiques techniques, défaillances, équipement, charge, signalisation, pneus, direction, ...),
- à propos de l'environnement (météo, type de route, date de l'accident, ...).

Une grande partie des informations importantes est recueillie sur le site. Les informations complémentaires sont recueillies par des entretiens avec les impliqués à l'hôpital ou chez eux, par l'inspection des véhicules chez les garagistes, et par des recherches à la DDE. Le procès-

verbal est éventuellement consulté au commissariat, à la brigade de gendarmerie, ou à la compagnie de CRS. Les bilans médicaux, établissant les lésions des impliqués lors de l'accident, sont obtenus auprès des services hospitaliers.

Le CEESAR dispose de deux antennes à Amiens (80) et à Evreux (27) composées d'accidentologues (psychologue, technicien du véhicule et technicien de la route) pour effectuer les enquêtes approfondies. Celles-ci ne peuvent s'effectuer que sur un terrain d'observation restreint et nécessitent un partenariat étroit avec les autres intervenants sur les lieux de l'accident (les secours, les policiers) et avec les intervenants qui peuvent faciliter le déroulement des enquêtes ou fournir des informations autour de l'accident (la Direction Départementale de l'Équipement pour l'infrastructure et le trafic, le Tribunal de Grande Instance pour les autorisations et l'accès aux procès-verbaux d'accidents, les services hospitaliers pour les bilans médicaux et l'autorisation de procéder à des entretiens avec les impliqués).

L'analyse de l'ensemble de ces éléments accident par accident, environ un millier d'informations élémentaires enquêtées par accident, permet ensuite de procéder à une reconstruction cinématique et cognitive de l'accident puis leur analyse agrégée pour tous les accidents aide à mieux comprendre les mécanismes accidentels, voire, dans certains cas, à fournir des résultats épidémiologiques sur l'incidence ou les risques relatifs des facteurs de risque identifiés.

Une grande partie de l'information recueillie et / ou analysée est codifiée puis stockée dans une base de données pour la rendre accessible plus facilement. L'autre partie est accessible dans le dossier d'accident et dans le logiciel de reconstruction. La connaissance qualitative complémentaire réside dans l'expertise des accidentologues acquise au fil des années d'investigations sur les accidents.

2.3. Etude de cas

L'étude de ces différents cas d'accidents a mis en évidence un certain nombre de problématiques récurrentes qu'il serait utile de résoudre par le dispositif développé.

La principale source d'accidents au niveau du conducteur semble résider au niveau de la perception. Il est donc utile de percevoir via l'instrumentation ce qui serait nécessaire au maintien de la sécurité du véhicule, mais également d'estimer le niveau de perception du conducteur. En effet, un dispositif d'aide à la perception perd énormément de son efficacité s'il est trop souvent redondant avec les perceptions du conducteur. Celui-ci n'accordera un niveau de confiance élevé au système que si celui-ci ne se manifeste qu'aux moments où il est utile, et donc que le système joue un rôle complémentaire dans la tâche de conduite, et non redondant.

Les problèmes de prise d'information du conducteur peuvent se présenter sous différentes formes :

- non détection de véhicules ou d'obstacles, en raison de masquages, éblouissements, faibles contrastes, ...
- mauvaise interprétation du comportement des autres véhicules : le cas le plus courant est celui du conducteur du véhicule prioritaire qui, apercevant un véhicule non prioritaire en train de s'engager sur un carrefour, reste convaincu que ce véhicule va lui céder le passage.

- mécanismes de contrôle visuel : le contrôle visuel sur intersection peut être plus ou moins efficace suivant l'ordre et la durée des contrôles effectués à droite et à gauche. Une hypothèse émise par des accidentologues considère que les mécanismes de contrôle peuvent privilégier les chocs venant d'un sens plutôt qu'un autre.
- influence du trafic, et mauvais choix des données : le comportement de véhicules proches peut avoir tendance à conforter un conducteur dans un sentiment de sécurité, et à limiter son attention vers des éléments indicateurs de danger.

A ce type de problème peuvent s'ajouter des complications comportementales, notamment concernant la réaction du conducteur en situation de danger reconnu. Par exemple, un conducteur étant sur le point de heurter un autre véhicule à angle droit aura tendance à vouloir l'éviter en tournant dans le même sens que celui de progression du véhicule, ce qui a pour effet d'augmenter les probabilités de collision. Un autre problème peut être une réaction excessive à un incident mineur, comme un braquage trop violent lorsqu'une roue va mordre sur le bas-côté.

Ces considérations comportementales posent également un problème de retour vers le conducteur : il est nécessaire de lui fournir des signaux d'information ou d'alerte de façon suffisamment simples pour qu'ils puissent être compris et pris en compte de façon rapide et efficace. Les situations accidentogènes étant de plus relativement complexes, il serait également judicieux d'instaurer une hiérarchie des informations à fournir au conducteur, suivant que l'on veut donner priorité à l'élément le plus dangereux, celui susceptible de se manifester le premier, celui dont la prise en compte serait le plus à même d'éviter l'accident, etc.

2.4. Formalisme : classification géométrique et identification des marqueurs à détecter

Le but poursuivi dans cette étude accidentologique est, dans un premier temps, d'isoler les différentes configurations géométriques de l'infrastructure routière pouvant générer de par leurs propriétés des situations de danger notable.

Une fois ceci fait, la seconde tâche consiste à déterminer les différents scénarios d'accidents susceptibles de survenir sur ces configurations, et d'isoler pour chacun d'eux les éléments présents dans la scène qui permettraient d'identifier ces scénarios et d'en jauger le niveau de dangerosité. Dans ce document ces éléments seront référencés sous le nom de *marqueurs*. Il faudra remarquer que de par la généralité de notre approche, les marqueurs qui seront isolés ne seront pas nécessairement tous détectables par l'instrumentation de nos prototypes de véhicules.

Dans chaque cas considéré, on observe la présence de marqueurs primaires et secondaires. Les premiers sont ceux permettant d'identifier de façon spécifique la situation d'accident (conditions nécessaires et suffisantes), les seconds ne sont que l'identification de facteurs aggravants, intervenant dans l'évaluation quantitative du danger et non qualitative.

2.4.1. Accidents en intersections

Les études sur intersection se sont essentiellement portées sur des configurations courantes : n'ont pas été abordés les cas de carrefours complexes, dénivelés ou des échangeurs.

2.4.1.1. Considération du type de signalisation utilisée sur l'intersection.

Que l'intersection soit régulée par un « stop », « cédez le passage » ou un feu de circulation ne change visiblement pas le mécanisme des accidents une fois que ceux-ci surviennent. Par contre la nature de la signalisation peut entrer en compte dans l'évaluation du niveau de danger, le comportement des conducteurs pouvant varier légèrement selon le type de signalisation. Cette donnée n'intervient donc pas dans la classification des scénarios d'accidents, mais peut être retenue comme marqueur dans certains des cas étudiés.

2.4.1.2. Considération des ronds-points.

Outre le fait que les ronds-points forment une structure particulièrement sûre, l'arrivée d'un véhicule sur un rond-point est tout à fait similaire à une arrivée sur intersection à trois branches en ce qui concerne la gestion d'autres véhicules circulant sur l'anneau. Le contrôle sur l'anneau du rond-point est quant à lui une phase bien plus complexe, qui ne sera pas traitée dans notre étude.

2.4.1.3. Cas du scénario «arrivée sur véhicule s'apprêtant à tourner».

On aura remarqué que le scénario «arrivée sur véhicule s'apprêtant à tourner» peut être considéré comme une situation d'arrivée sur intersection. Ce cas est donc implicitement traité en même temps que le scénario 2 « arrivée trop rapide sur intersection ».

2.4.1.4. Intersections à 4 branches.

Les intersections à 4 branches se séparent en sous-classes dépendant de la présence ou non d'une voie de tourne-à-gauche (TAG). Cette voie supplémentaire peut en effet modifier le comportement des conducteurs, ainsi qu'occasionner des désagréments spécifiques tels que le masquage partiel de la visibilité par les panneaux situés au centre de la route.

Cette classe se divise donc en deux sous-classes :

- intersection à deux voies
- intersection à deux voies + voie de tourne à gauche

Les accidents pouvant survenir sur ces intersections peuvent être de différents types :

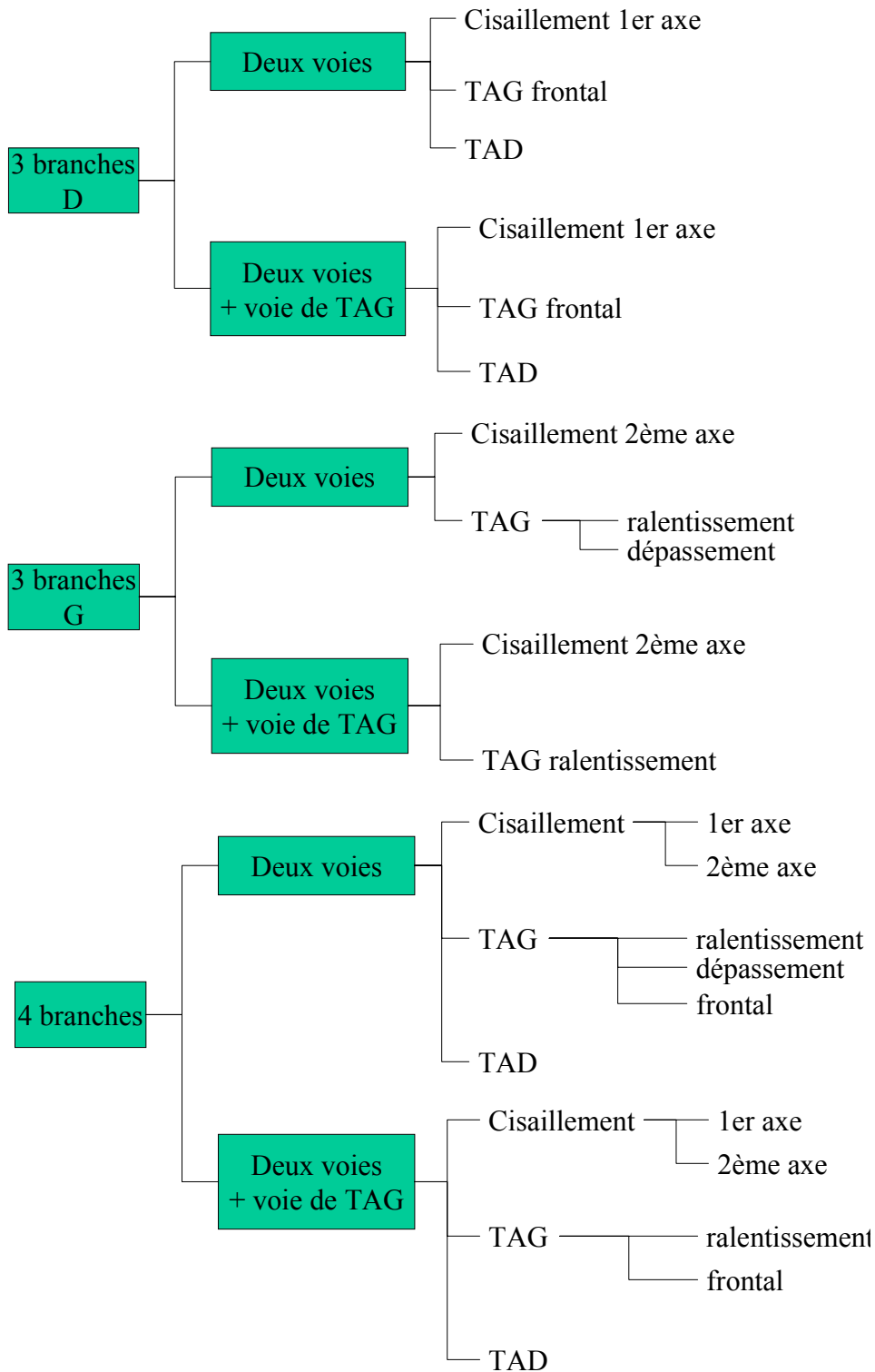
- cisaillement : il s'agit du heurt de deux véhicules souhaitant traverser l'intersection. Ces cisaillements peuvent être de premier ou de second axe suivant le nombre de voies traversées par les véhicules.
- Tourne-à-gauche (TAG) : un véhicule voulant traverser l'intersection en heurte un autre souhaitant tourner à gauche. Cet accident peut être provoqué par le ralentissement du véhicule souhaitant effectuer son TAG, par une tentative de dépassement de la part du second véhicule, ou d'un choc frontal si le second véhicule arrivait en sens inverse.
- Tourne-à-droite (TAD) : se déduit facilement de l'exemple ci-dessus. Bien entendu dans ce cas les chocs frontaux ou sur dépassement ne sont pas possibles.

2.4.1.5. Intersections à 3 branches.

Comme précédemment, les intersections à 3 branches se divisent en deux sous-classes :

- intersection à deux voies
- intersection à deux voies + voie de tourne à gauche

Toujours suivant le même modèle, on retrouve les cisaillements, TAG et TAD de différents types, avec toutefois quelques suppressions de cas liées à la géométrie de ces intersections : suivant l'orientation de l'intersection, les TAD ou certains TAG ne seront pas possibles.



2.4.2. Accidents en virages

2.4.2.1. Considération de l'orientation des virages

L'orientation des virages (concavité tournée vers la gauche ou la droite) semble jouer sur la fréquence des accidents. Ainsi il y a davantage d'accidents sur des virages à gauche, probablement parce que dans les virages à droite, la seconde voie permet aux conducteurs de rattraper certaines erreurs. Cependant même si les conséquences de cette situation sont dans ce cas moins graves, cela reste une configuration de risques, dont les causes et les mécanismes sont indépendants de l'orientation du virage.

Ce critère ne sera donc pas retenu comme critère discriminant des configurations géométriques.

2.4.2.2. Considération des accotements

Dans le même esprit que dans la considération de l'orientation des virages, la nature des accotements et abords de la route ne joue que sur les conséquences d'une sortie de route, et pas sur ses causes ou son mécanisme. Dans la mesure l'on ne cherche qu'à évaluer le risque d'une sortie de route par vitesse excessive, il est inopportun de tenir compte des facteurs ne jouant que sur les conséquences d'une sortie de route, et non ses causes.

2.4.2.3. Considération du profil en long

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, les descentes ne semblent pas favoriser l'apparition de vitesses excessives des véhicules (les tendances seraient même plutôt inverses). Le profil en long n'intervient donc pas directement sur la dynamique du véhicule au cours de l'arrivée sur virage. Par contre il peut entrer en compte dans les considérations de visibilité.

2.4.2.4. Calcul des vitesses recommandées

La vitesse en elle-même est cause directe d'accident si elle implique une accélération radiale trop importante à l'intérieur du virage (la composante radiale de l'accélération étant donnée par la vitesse au carré divisée par le rayon de courbure). Des limites de sécurité sont donc imposées sur cette accélération :

- zone de sécurité : accélération radiale inférieure à 3 m/s^2
- zone de risque : accélération radiale comprise entre 3 et 6 m/s^2
- zone de danger : accélération radiale supérieure à 6 m/s^2

A noter que si ces valeurs d'accélérations peuvent impliquer un risque direct, un grand nombre d'accidents présentent des accélérations radiales appartenant à la zone de sécurité.

2.4.2.5. Considération de l'adhérence

Les problèmes d'adhérence influent directement sur la dangerosité d'un virage. L'adhérence, quantifiée par la décélération maximale qu'elle autorise, s'exprime en m/s^2 et ses marges sécuritaires sont les mêmes que celle de l'accélération radiale, puisque le contrôle du véhicule en virage dépend de la capacité du véhicule à maintenir une décélération radiale équivalente à son accélération inertielle. En cas d'adhérence dégradée, les seuils donnés dans le paragraphe précédent sont ainsi modifiés en conséquence.

2.4.2.6. Classes géométriques retenues.

Les différentes classes géométriques retenues sont les suivantes :

courbe isolée

Les courbes isolées posent problème lorsqu'elles sont précédées par une portion de route trop roulante compte tenu de la courbure du virage. Le conducteur a donc tendance à augmenter sa vitesse au-delà des limites sécuritaires.

série de courbes

La tâche de guidance du conducteur devient particulièrement délicate lorsqu'il doit négocier plusieurs virages rapprochés.

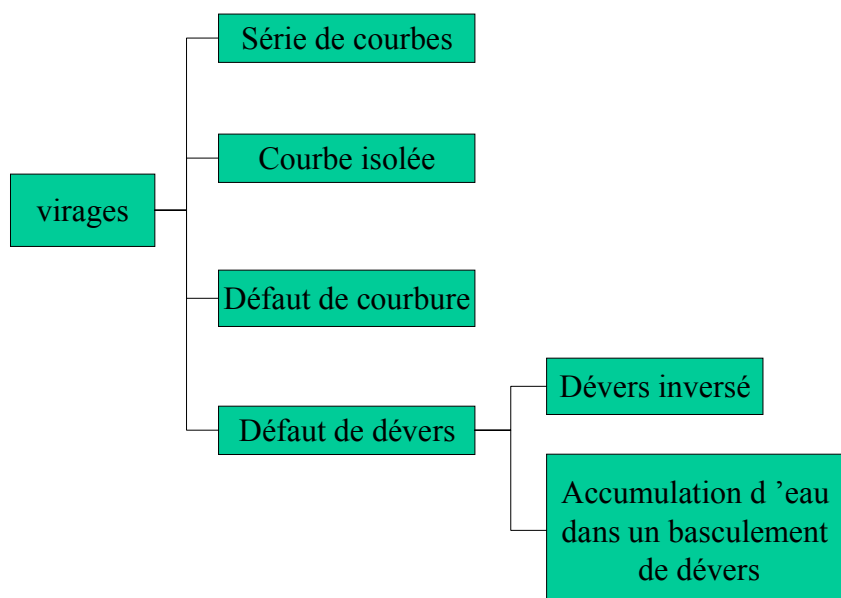
défaut de courbure

Lorsque (on considère qu'il existe un rayon mini si, sur une longueur d'au moins 30m, on a un «rayon moyen partiel » inférieur d'au moins 30% au rayon moyen du virage).

défauts de dévers

Les seuls défauts de dévers intervenant directement dans le déclenchement d'accidents sont la présence d'un dévers inversé, et celle d'un basculement de dévers entraînant des accumulations d'eau. Ces défauts sont très rares, mais leur seule présence est déterminante dans le déroulement des accidents.

D'autres défauts de dévers, considérés comme mineurs, peuvent intervenir dans les facteurs aggravants d'un accident, mais n'en sont pas directement la cause, et seront donc retenus uniquement comme marqueurs. Ces défauts sont des dévers faibles compte tenu du rayon de courbure, et les dévers faibles ou nuls en sortie de courbe.



2.5. notations

Les typologies d'accidents seront codées de la façon suivante :
intersections :

I-(type d'intersection)-(présence de voie de TAG)(type de scénario)

(type d'intersection) :

- 4 = intersection à 4 branches
- 3G = intersection à 3 branches à gauche
- 3D = intersection à 3 branches à droite
- RP = rond-point

(présence de voie de TAG)

- S = sans voie e TAG
- A = avec voie de TAG

(type de scénario)

- 1 = cisaillement premier axe
- 2 = cisaillement deuxième axe
- 3 = TAG sur ralentissement
- 4 = TAG sur dépassement
- 5 = TAG frontal
- 6 = TAD

virages :

V-(type de scénario)


(type de scénario)

- 1 = série de courbes
- 2 = courbe isolée
- 3 = défaut de courbure
- 4 = dévers inversé
- 5 = accumulation d'eau dans un basculement de dévers

Exemple :

I-4-S2 = *accident en intersection à 4 branches sans voie de TAG, par cisaillement deuxième axe.*

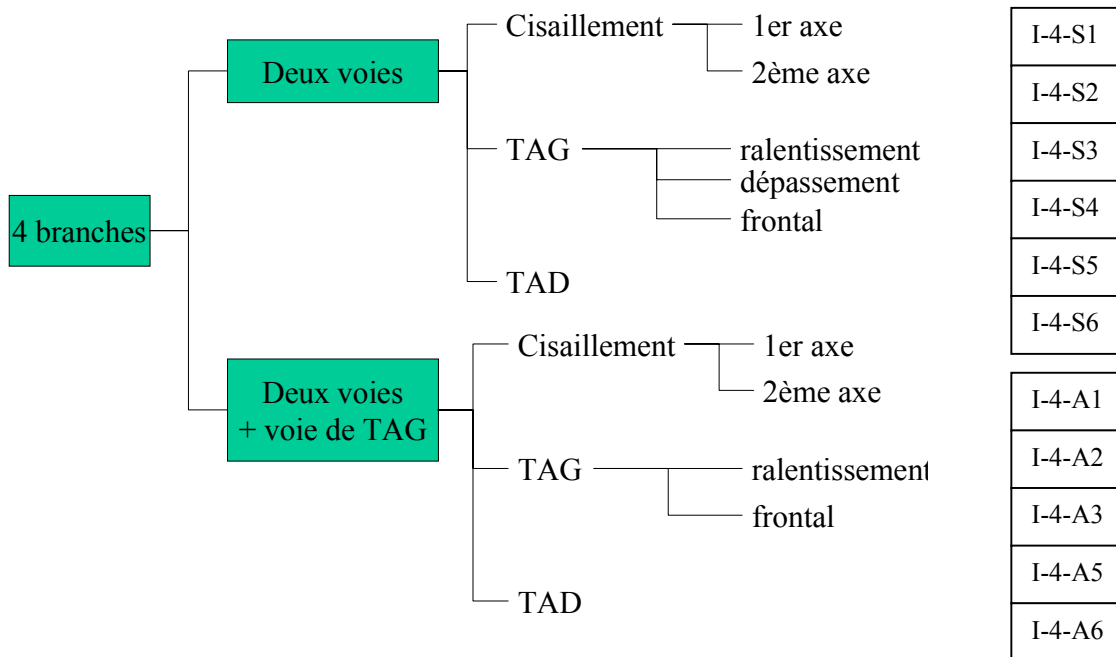
Dans les situations mettant en scène plusieurs véhicules, le véhicule principal (celui pour lequel on évalue le niveau de risque) sera appelé véhicule A, et le véhicule secondaire sera appelé véhicule B. Chacun sera toujours représenté par une icône de couleur fixe :

Véhicule A : 

Véhicule B : 

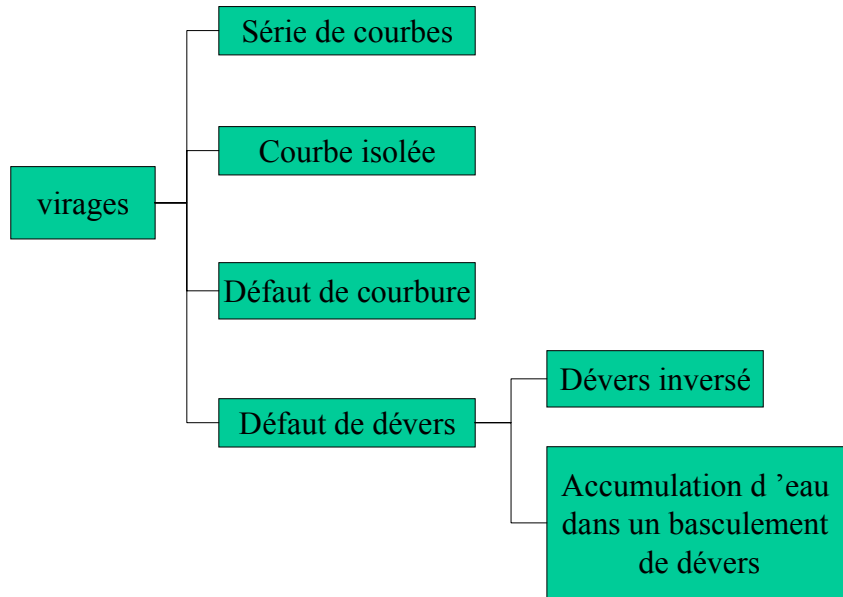
2.6. Intersections : scenarii et marqueurs

Le diagramme ci dessous résume les codifications des différents scénarios étudiés et des marqueurs associés. Le détail de ces scénarios est fourni en ANNEXE I



2.7. Virages : scenarii et marqueurs

Le diagramme ci dessous résume les codifications des différents scénarios étudiés et des marqueurs associés. Le détail de ces scénarios est fourni en ANNEXE I



2.8. Récapitulatif sur les marqueurs

Les différents marqueurs relevés en fonction des scénarios routiers considérés sont exposés dans le tableau ci-dessous.

	Intersections																		Virages								
	4 branches						3 branches G			3 branches D																	
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	A1	A2	A3	A5	A6	S2	S3	S4	A2	A3	S1	S5	S6	A1	A5	A6	V1	V2	V3	V4	V5
Véhicule B sur voie secondaire																											
Véhicule B précédant le véhicule A																											
Véhicule B arrivant en sens inverse																											
Engagement du véhicule B																											
Vitesse excessive du véhicule A																											
Clignotant gauche du véhicule B																											
Clignotant droit du véhicule B																											
Dépassement																											
Accélération Latérale																											
Longue voie roulante précédant le virage																											
Rapport de courbures successives entre 2/3 et 3/2																											
Rayon mini																											
Dévers inversé																											

	Intersections																		Virages								
	4 branches						3 branches G						3 branches D														
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	A1	A2	A3	A5	A6	S2	S3	S4	A2	A3	S1	S5	S6	A1	A5	A6	V1	V2	V3	V4	V5
Basculement de dévers																											
Véhicules arrivant en sens inverse																											
Véhicules précédant le véhicule A																											
Intersection en courbe																											
Eblouissement, obscurité																											
Profil en long : montée																											
Masques																											
Présence d'un véhicule entre A et B																											
Faible contraste du véhicule B																											
Pluie																											
Jour/Nuit																											
Visibilité sur virage < 300m																											
Marquages au sol																											

3. ETUDE DES ALGORITHMES DE TRAITEMENT

Après un exposé des capteurs équipant le véhicule et des marqueurs détectables à l'aide de ceux ci, les différents traitements développés seront décrits.

Le développement et la mise au point de ces traitements ont été effectués sur la base des enregistrements réalisés au cours d'une campagne d'expérimentation également décrite dans ce chapitre.

3.1. Instrumentation du véhicule

La définition des capteurs du système d'alerte est une donnée d'entrée du projet énoncée dans le cahier des charge des travaux de recherche:

Les différents capteurs utilisés sont rappelés ci-dessous :

- télémètre
- Système GPS/ cartographie embarquée
- Caméra
- Informations proprioceptives

Les caractéristiques du véhicule et des capteurs sont exposées ci dessous

3.1.1. Le véhicule

Le véhicule utilisé pour réaliser les travaux PARINA est une Laguna II.

Ce véhicule présente l'avantage d'être équipé d'un bus multiplexé (CAN) permettant d'accéder à de nombreuses informations délivrées par les capteurs proprioceptifs ou actionneurs tels que les données gyroscopiques et odométriques. Cette information est de plus disponible sous forme numérique ce qui simplifie grandement les travaux de mise au point et l'enregistrement des données.

3.1.2. Télémètre

Le télémètre intégré au véhicule est un radar ACC de pré série. Ce dernier est capable de localiser jusqu'à huit cibles mobiles simultanément, mais n'est cependant pas capable de voir les objets fixes de par un filtrage visant à éliminer les éléments du paysage.

Toutes les informations Radar sont accessibles sur le bus CAN du véhicule.

3.1.3. Systèmes d'information géographique

Le choix du système d'information géographique a fait l'objet de travaux spécifiques dans le projet PARINA. Après un rappel succinct des principes du système GPS, une synthèse des solutions techniques qui ont été envisagées est exposée ci dessous.

3.1.3.1. Le système GPS

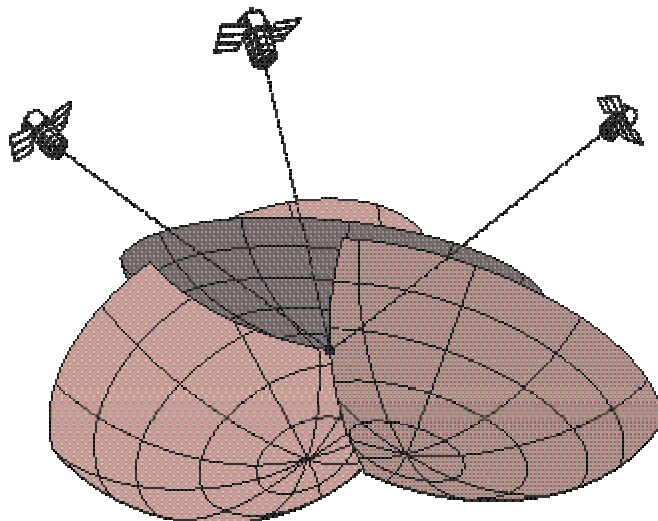


Figure 1 Positionnement tridimensionnel à partir de trois satellites

Les premiers projets de localisation par réception de signaux satellites datent des années soixante, au cours desquelles l'armée américaine mit en place le NNSS (US Navy Navigation Satellite System). Le principe de ce système reposait alors sur la mesure du décalage en fréquence des signaux (effet Doppler).

En 1972, ce système fut remplacé par le TIMATION (TIME navigation), qui avait pour avantage de synchroniser les différentes sources au moyen d'horloges atomiques embarquées par les satellites. Les informations de distance étaient cette fois déduites du temps de vol des signaux, et cette solution a ensuite été conservée jusque dans les systèmes actuels.

Le système GPS actuel fut mis en place par l'US Air Force, de 1973 à 1979. Ce système a pour spécificité une modulation pseudo-aléatoire des signaux.

Le principe de fonctionnement des GPS traditionnels actuels repose donc sur la mesure du temps de vol de signaux émis par des satellites équipés d'horloges atomiques. La connaissance de la distance du récepteur à chacun de ces satellites permet d'en calculer la position par triangulation. Un nombre minimal de satellites est donc nécessaire afin d'obtenir un positionnement fiable du récepteur.

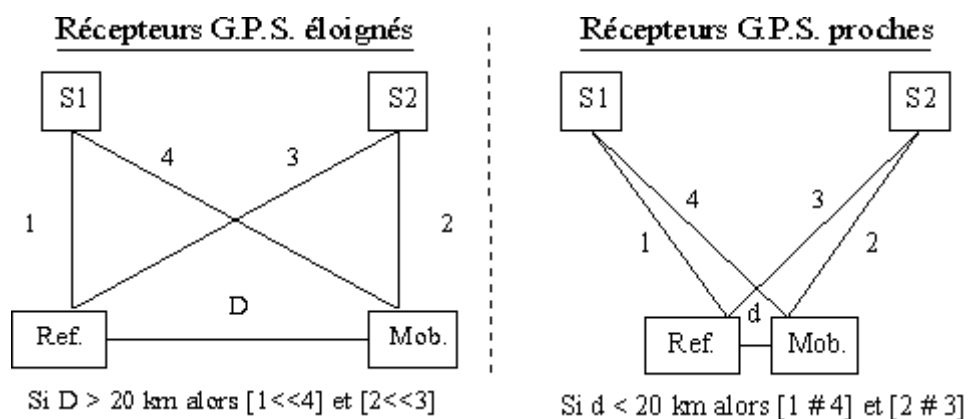
Jusqu'à mai 2000, les récepteurs civils étaient soumis à une dégradation de performances, pour des raisons de sécurité militaire. Ce brouillage a été supprimé par le gouvernement américain, afin d'améliorer la compétitivité du système GPS face aux prochaines constellations de satellites concurrentes. L'incertitude du positionnement d'un GPS civil est ainsi passée de 100m à environ 20m.

Différents phénomènes peuvent diminuer la performance de la localisation par GPS. Outre la dégradation volontaire des données par l'armée américaine qui n'est plus d'actualité aujourd'hui, les signaux sont également perturbés par la traversée de différentes couches de l'atmosphère. De plus, les erreurs au niveau des horloges des récepteurs peuvent conduire à un écart sensible du positionnement.

Deux solutions ont été développées afin de corriger ces erreurs.

3.1.3.2. La correction différentielle

Le principe de la correction différentielle repose sur l'utilisation d'une station de référence de coordonnées connues avec précision. Cette station reçoit également les signaux GPS et en déduit un vecteur d'erreur qu'elle transmet à l'utilisateur afin de corriger son propre positionnement. La précision du positionnement peut ainsi descendre en-dessous du mètre.



Lorsque l'on utilise une unique balise de référence fixe, il est important de considérer la distance séparant le récepteur de celle-ci. En-dessous de 20 km, on la considère comme négligeable en comparaison de l'altitude des satellites. Au delà, on estime que l'erreur varie comme le carré de la distance.

Certaines sociétés fournissent actuellement des couvertures complètes du territoire (national ou européen) par un ensemble de balises. Les corrections sont relayées par satellites et accessibles par les récepteurs appropriés en échange d'un abonnement annuel. L'utilisateur se libère ainsi des contraintes de distance et de positionnement des balises.

3.1.3.3. Le GPS centimétrique

Des récepteurs GPS à très grande précision sont produits par certaines entreprises, telles que Real Time Kinematics (RTK). Le GPS centimétrique utilise une particularité des signaux GPS : ceux-ci sont en effet transmis sur deux fréquences différentes, notées L1 et L2. (L1=1.57542 GHz, L2 = 1.22760 GHz).

L1 ayant une longueur d'onde de 19 cm, il est possible, en mesurant les décalages de phases, d'obtenir un positionnement précis à quelques millimètres près, modulo 19 cm. La résolution de l'ambiguïté peut se faire soit en initialisant le GPS en un point dont la position est connue avec une très grande précision (clous IGN), soit par des algorithmes d'initialisation nécessitant d'immobiliser l'antenne pendant une dizaine de minutes (expérimentalement, cette opération a pu prendre de 1 à 30 min). Cet aspect est d'ailleurs une des principales limitations de ce système, la phase d'initialisation devant être répétée à chaque perte de signal. Il est donc peu envisageable d'utiliser un GPS centimétrique pour une utilisation normale à bord d'un véhicule en déplacement.

3.1.3.4. Fournisseurs de systèmes DGPS

Omnistar

<p>Distributeur : Martec 5, rue Carle Vernet 92310 Sèvres tél : 01 46 23 79 52 fax : 01 46 26 55 55</p> <p>Contact : Benjamin Dubois division <i>positionnement & systèmes</i> 3100 LR12 CSI LGBX_pro</p>	<p>Produits : Récepteur 3100 LR12 (intégrées : cartes GPS Ashtech G-12, RTCM SC-104 Omnistar) 32 580 F HT</p> <p>Ou Récepteur CSI LGBX-pro (intégrées : cartes GPS Ashtech G-12, RTCM SC-104 Omnistar, CSI phares et balises) 37 420 F HT</p>
---	---

Racal-Landstar

<p>Distributeur : Racal Tracs Limited Compass House, Davis Road Chessington, Surrey KT9 1TB, England</p> <p>Contact : Jim Sugden Agriculture, Silverculture, Mining and Construction Tél : +44 (0)208 391 6577 fax : +44 (0)208 391 1672 Mél : sugdenj@racal-tracs.com</p>	<p>Produit : Landstar Navigator 35 000 F HT</p>
---	--

Trimble

<p>Distributeur : Trimble France</p> <p>Contact : Eric Logeais Tél : 02 23 25 01 50 Mél : eric_logeais@trimble.com</p>	<p>Produit : AgGPS132 : 36 000 F HT</p>
---	--

Un GPS différentiel peut être considéré comme un GPS traditionnel, disposant comme information supplémentaire d'une estimation de l'erreur des signaux GPS par une base fixe, dont la position est connue avec précision, et qui communiquerait avec le récepteur.

Cette correction peut se faire par rapport à un point arbitrairement choisi sur lequel on aura placé un dispositif de réception, mais l'utilisation la plus adaptée à notre projet suggère l'emploi d'une couverture par un réseau de satellites, fournissant en tout point du territoire un signal de référence.

Des services de correction différentielle par satellite sont proposés par les sociétés Omnistar et Landstar. L'utilisation du DGPS de ces sociétés impose donc l'emploi du service de correction correspondant, tandis que l'utilisation d'un DGPS Trimble laisse le choix entre les deux solutions.

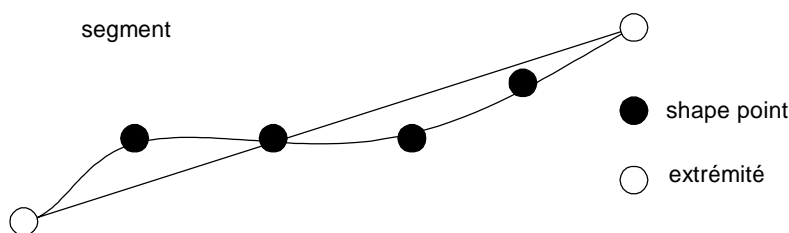
Ordres de grandeur de tarifs des abonnements annuels à un service de correction différentielle

Couverture nationale :	1200 €/an
Couverture européenne :	1500 €/an

3.1.3.5. Les formats de cartographie

La cartographie utilisée dans le cadre de ce projet est fournie par la société Navigation Technologies (NavTech). Elle peut être convertie sous différents formats standards, en fonction des bibliothèques de programmation utilisées par les développeurs. Pour le projet PARINA Le choix de ce format était *a priori* ouvert.

Bien qu'il existe plusieurs formats de représentation de données cartographiques, la modélisation de ces données obéit à certaines règles fixes. Ainsi les routes sont-elles invariablement décomposées en *segments*, dont on évalue un certain nombre d'attributs (longueur, orientation, position des extrémités,...). Parmi ces attributs figurent des *shape points* qui subdivisent ces segments et permettent d'en définir la forme générale.



a) Format GDF

Le format GDF est un format d'échange de données, établi par le Comité Européen de Normalisation (CEN), avec la collaboration d'entreprises concernées par l'utilisation de données cartographiques (CETE Méditerranée, Daimler Benz, European Geographic Technologies, Intergraph, MVA Systematica, Philips Electronics, Robert Bosch, Renault, SAGEM, Siemens, Tele Atlas, Volvo, Vägverket).

Ce format a pour principal but de servir de norme commune pour l'échange de données cartographiques, sans dépendre des autres formats commerciaux et des différentes solutions logicielles retenues par les utilisateurs. Les fichiers de données sont donc des fichiers ASCII, lisibles au moyen de tout éditeur de texte.

Les données figurant dans ces fichiers sont classifiées suivant trois *catalogues* :

- *features catalogue*
- *attribute catalogue*
- *relationship catalogue*

Les *features* sont les différentes classes d'objets considérés comme des éléments de la cartographie : routes, voies ferrées, voies fluviales, zones urbaines, ...

Les *attributes* sont les différents attributs que l'on peut associer à ces *features* : largeur, longueur, nombre de voies, ...

Enfin, les *relationships* sont les liens que l'on peut établir entre deux *features* : jonctions, appartenances, ...

Chacun des éléments de cartographie est indexé arbitrairement par un nombre qui lui sert d'identifiant. Cette indexation ne dépend essentiellement que du protocole de saisie des données, et ne peut donc pas être interprétée de façon significative.

Exemple de données :

41	1810	GERNEUGARTENSTRASSE	0
41	1836	GERNIEDERHOCHSTZDTER STRASSE	0
41	1875	GEROBERSCHULTHEISSEREISTRA SSE	0
41	2082	GERROSSERTSTRASSE	0
41	2280	GERSOSSENHEIMER WEG	0
41	2302	GERSTARKERADWEG	0
41	2312	GERSTEINBACHER WEG	0
41	2350	GERSULZBACHER STRASSE	0
41	2430	GERUNTERE BORNGASSE	0
41	2485	GERWALDSTRASSE	0
41	2519	GERWEINGARTSPFAD	0
41	2526	GERWEISSKIRCHENER WEG	0

50	1313	1001	2	3	161668	2	134588	0	0
50	1314	1019	2	3	400001153	2	134588	0	0
50	1315	1011	2	3	161670	2	134589	0	0
50	1316	1001	2	3	161668	2	134589	0	0
50	1317	1019	2	3	400001153	2	134589	0	0
50	1318	1011	2	3	161670	2	134590	0	0
50	1319	1001	2	3	161668	2	134590	0	0
50	1320	1019	2	3	400001153	2	134590	0	0
50	1321	1011	2	3	161670	2	134591	0	0
50	1322	1001	2	3	161668	2	134591	0	0
50	1323	1019	2	3	400001153	2	134591	0	0
50	1324	1011	2	3	161670	2	134592	0	0
50	1325	1001	2	3	161668	2	134592	0	0
50	1326	1019	2	3	400001153	2	134592	0	0

50	1327	1011	2	3	161670	2	134655	0	0
50	1328	1001	2	3	161668	2	134655	0	0
50	1329	1019	2	3	400001153	2	134655	0	0
50	1330	1011	2	3	161670	2	134656	0	0
50	1331	1001	2	3	161668	2	134656	0	0
50	1332	1019	2	3	400001153	2	134656	0	0
50	1333	1011	2	3	161670	2	134657	0	0
50	1334	1001	2	3	161668	2	134657	0	0
50	1335	1019	2	3	400001153	2	134657	0	0
50	1336	1011	2	3	161670	2	134658	0	0

Avec les codes :

Theme Code	Code	Interpretation
41		Roads and Ferries
	4110	Road Element
	4120	Junction
	4130	Ferry Connection
	4135	Enclosed Traffic Area
	4140	Road
	4145	Intersection
	4150	Ferry
	4160	Address Area
	4165	Address Area Boundary Element
	4170	Aggregated Way

Theme Code	Class Code	Interpretation
50		Public Transport
	5010	Route Link
	5015	Public Transport Junction
	5020	Stop Point
	5025	Public Transport Point
	5030	Stop Area
	5040	Route
	5050	Line

Bien que ce format ne soit pas à la base adapté à une utilisation logicielle directe, certains utilisateurs en emploient des formes modifiées dans leurs applications. Ainsi le navigateur Siemens, utilisé dans le projet Européen INARTE est implémenté dans certains véhicules Peugeot, utilise le format C4 dérivé du GDF.

Cependant, la plupart des formats de cartographie commercialisés sont des fichiers binaires, dont l'architecture est plus adaptée à des fonctions de recherche de données.

b) Format MapInfo

Le format MapInfo est l'un des plus employés dans les applications commerciales, ainsi que depuis peu dans des cadres universitaires. Il propose pour un prix relativement bas une

solution cartographique efficace. Le pack software est composé des librairies MapInfo proprement dites, et de différents logiciels aux fonctionnalités différentes. Pour le cas qui nous intéresse, le logiciel adapté serait MapX, permettant la création de composants ActiveX interfaçables avec la cartographie.

<p>Distributeur : ADDE (http://www.adde.fr/technologie/index32.htm)</p> <p>Contact : Leila BOURI Tél : 01 41 05 37 05 E-mail : lbouri@adde.fr</p>	<p>Produits :</p> <table> <tr> <td>Mapinfo</td> <td style="text-align: right;">12 950,00 F HT</td> </tr> <tr> <td>MapX</td> <td style="text-align: right;">19 900,00 F HT</td> </tr> <tr> <td>Licence</td> <td style="text-align: right;">1 250,00 F HT</td> </tr> </table>	Mapinfo	12 950,00 F HT	MapX	19 900,00 F HT	Licence	1 250,00 F HT
Mapinfo	12 950,00 F HT						
MapX	19 900,00 F HT						
Licence	1 250,00 F HT						

c) Format Arcinfo

Le format ArcInfo est un des plus utilisés actuellement dans le milieu professionnel. De même que MapInfo, le software nécessaire pour travailler sur ce format consiste en un ensemble de librairies généralistes (ArcInfo) et de plusieurs logiciels optionnels, selon l'utilisation envisagée (ArcView, ArcScan, ArcStorm, Network Analyst, 3D analyst, Spatial Analyst).

<p>Distributeur : ESRI France (http://www.esrifrance.fr/produit/produit.htm)</p> <p>Contact : Lara Petit Tél : 01 46 23 60 81 E-mail : lpetit@esrifrance.fr</p>	<p>Produits :</p> <table> <tr> <td>ArcInfo prix public :</td> <td style="text-align: right;">180 000,00 F HT</td> </tr> <tr> <td>ArcInfo/Arcview prix recherche :</td> <td style="text-align: right;">45 000,00 F HT</td> </tr> <tr> <td>Licence supplémentaire</td> <td style="text-align: right;">11 250,00 F HT</td> </tr> </table>	ArcInfo prix public :	180 000,00 F HT	ArcInfo/Arcview prix recherche :	45 000,00 F HT	Licence supplémentaire	11 250,00 F HT
ArcInfo prix public :	180 000,00 F HT						
ArcInfo/Arcview prix recherche :	45 000,00 F HT						
Licence supplémentaire	11 250,00 F HT						

d) Format SDAL

Ce format a été créé par la société Navigation Technologies, dans l'intention d'établir un nouveau standard. Il s'agit d'un format relativement récent, ayant été officiellement lancé en novembre 1999. Il serait particulièrement optimisé pour les applications automobiles, en particulier en ce qui concerne le calcul d'itinéraire et la recherche de noms de rues.

Les données codées au format SDAL se distinguent suivant deux catégories : spatiales et non spatiales.

Les données spatiales regroupent tous les objets de type segment (portions de routes), nœud (intersections, culs de sac ou représentation d'objets complexes tels que les ronds-points), ou point d'intérêt (POI). L'organisation des données spatiales se fait par une parcellisation de l'espace sous une structure arborescente (kd-tree, arbre dont l'architecture dépend des probabilités de ses différents nœuds). Les données codées en binaire correspondent donc à un parcours précis de ces arbres, rendant les algorithmes d'accès à ces données plus rapides.

Certaines données sont codées de façon non spatiale, et au lieu d'être classées suivant une organisation de l'espace, elles se voient attribuer une indexation arbitraire (voir le format GDF). Les données concernées peuvent être des points d'intérêt, des jonctions, des codes postaux etc.

Les données non spatiales figurent dans un index spécifique, permettant d'effectuer des recherches suivant d'autres critères que la localisation spatiale (exemple : recherche de l'ensemble des restaurants d'une région, par extraction des points d'intérêt correspondants).

<p>Distributeur : NavTech</p> <p>Contact : Karine Fox Kfox@navtech.nl 44-1494-488-764</p>	<p>Produits : SDAL API SDAL compiler SDAL format</p>
--	---

e) La solution matérielle et logiciel Navtech

La société Navigation Technologies (NavTech) propose un pack comprenant un gyromètre piézo-électrique, un GPS à 8 voies une cartographie au format SDAL et un logiciel d'exploitation. Ce pack est désigné sous le nom de ADASRP (Advanced Driver Assistance Systems Research Platform).

Le dispositif fourni peut gérer d'origine les données provenant des capteurs, et donner un positionnement sur la cartographie. Les fonctionnalités de l'ADASRP incluent une localisation précise, une exploration des zones situées en avant du véhicule, ainsi que la possibilité pour l'utilisateur d'inclure des données personnelles dans la base. La précision de la localisation est celle du GPS soit 20 mètres en positionnement plan (en l'absence de masquage), et d'environ 30 mètres en altitude.

Le choix final pour le projet Parina s'est porté sur cette solution, en raison de la disponibilité dans le pack d'outils logiciels appropriés à nos applications.

3.1.4. Vision

Afin de capturer des vidéos de la route située en avant du véhicule, ce dernier a été équipé d'une caméra Sony EVI 400/401. Cette caméra est fixée sur le pare-brise et orientée de façon à filmer la route en avant du véhicule sous un angle proche de celui du conducteur.

Les spécifications de cette caméra sont les suivantes :

	EVI-401 (PAL)
Image Sensor	1 3" Super HAD CCDTM
Effective Picture Elements	752 (H) 582 (V)
Horizontal resolution (center)	More than 450TV lines
Vertical Resolution (center)	More than 400TV lines
Lens	12x zoom, f = 5.4 to 64.8, F = 1.8 to 2.7, Wide Macro, Autofocus (Inner Focus System)
Digital Zoom	
Angle of View (H)	Approx. 48.8° (wide end) to approx. 4.4° (tele end)

Angle of View (V)	Approx. 37.6° (wide end) to approx. 3.3° (tele end)
Lens Construction	9 elements in 6 groups (incl. 2 aspherical lenses)
Min working distance	10 mm (wide end), 800 mm (tele end)
Video out	Y: 1.0 V p-p sync negative C: 0.3 V p-p VBS: 1.0 V p-p composite
Sync system	Internal
External Sync (V-lock)	
Minimum illumination	1 lx (typical value) F 1.8 (at 50 IRE)
S/N ratio	More than 48dB
White balance	ATW, One push WB, Indoor Preset, Outdoor Preset
Focus	Auto Focus, Manual Focus, One push trigger AF, Zoom trigger AF, Interval AF
Electronic shutter	28 steps (1/50 to 1/10,000 s)
Operating temp/humidity	0 to 50 C -20 to 60 C 30 to 85% 20 to 90%
Power requirements	6 to 12 Vdc. 2.4W (inactive motor) / 3.2W (active motor)
Dimensions (W/H/D)	175g
Weight Supplied accessories	2P and 3P (White), 3P (Red, excl. EVI-401), 6P, 10P, and 11P Harnesses

3.2. Sélection des marqueurs mesurés

L'étude d'accidentologie a permis d'identifier un ensemble d'éléments de la scène appelés "marqueurs" susceptibles de donner des indications sur le niveau de dangerosité de la configuration routière rencontrée.

Les caractéristiques des capteurs intégrés au véhicule et l'état de l'art des recherches actuelles sur les traitements de vision et de fusion de données ne permettent pas de détecter l'ensemble des marqueurs identifiés dans l'étude d'accidentologie.

Une sélection des marqueurs a donc été réalisée.

Sur la base de nos connaissances sur l'état de l'art des technologies de détection nous avons fait correspondre à chacun des marqueurs sélectionnés les type de capteurs pouvant permettre leur détection.

Le résultat de cette étude est exposé dans le tableau ci dessous.

Les travaux de développement des algorithmes de traitements se sont déroulés sur la base des objectifs de détection résumés dans ce tableau.

	Radar	Vision	Navigation	Infos véhicule
Véhicule B sur voie secondaire				
Véhicule B précédant le véhicule A				
Véhicule B arrivant en sens inverse				
Engagement du véhicule B				
Vitesse excessive du véhicule A				
Clignotant gauche du véhicule B				
Clignotant droit du véhicule B				
Dépassement				
Accélération Latérale				
Longue voie roulante précédant le virage				
Rapport de courbures				

successives entre 2/3 et 3/2				
Rayon mini				
Dévers inversé				
Basculement de dévers				
Véhicules arrivant en sens inverse				
Véhicules précédant le véhicule A				
Intersection en courbe				
Eblouissement, obscurité				
Profil en long : montée				
Masques				
Présence d'un véhicule entre A et B				
Faible contraste du véhicule B				
Pluie				
Jour/Nuit				
Visibilité sur virage < 300m				

3.3. Campagne d'enregistrement

Nous avons procédé dans un premier temps à des enregistrements de données pour réaliser la mise au point des différents algorithmes de traitements visant à mesurer les marqueurs définis au chapitre 3.2. Ces données ne se présentent pas nécessairement sous la forme définitive que l'on utiliserait pour une application temps réel de Parina.

Les données recueillies sont :

- Les trames CAN du véhicule, intégrant notamment la vitesse véhicule et les cibles renvoyées par le radar. Ces trames sont enregistrées dans leur totalité sous un format spécifique aux modules CAN.
- Les données vidéo provenant de la caméra.
- Le positionnement GPS et les informations d'horizon électronique. En raison de limitations logicielles au moment de la réalisation des enregistrements (notamment liée à la communication entre l'enregistreur numérique RT-Maps et l'application de navigation ADASRP), seules ont été enregistrées les informations de la cartographie à la position courante du véhicule. L'horizon électronique pour une distance donnée a donc dû être recalculé par en temps différé (voir ci-dessous).

Les acquisitions de données ont été effectuées sur route ouverte dans les environs de Guyancourt.

3.4. Outils et Algorithmes élémentaires (pré traitements)développés

Les algorithmes de traitements qui ont été développés pour PARINA peuvent se décomposer en trois grandes catégories:

- Les outils de mise au point de calibrage et de simulation
- Les algorithmes de traitement bas niveau ou pré traitements
- Les algorithmes de fusion haut niveau ou de prise de décision et de restitution de l'information au conducteur (IHM)

On définit les algorithmes de bas niveaux comme l'ensemble des traitements permettant la détection et mesure des marqueurs élémentaires. Ces informations seront en suite fusionnées par le traitement haut niveau chargé notamment de l'estimation du danger et de la présentation des informations au conducteur.

Le présent chapitre décrit les deux premières catégories d'algorithmes.

3.4.1. Outil de calibrage de la caméra

Pour effectuer des traitements d'image, il est indispensable de connaître les paramètres de la caméra, à savoir ses paramètres intrinsèques (distance focale, centre optique, taille des pixels et distorsions diverses) et ses paramètres extrinsèques (position et orientation de la caméra par rapport au repère du véhicule). Pour cela il est nécessaire de procéder à l'opération dite de calibrage de la caméra, qui consiste à prendre des images structurées bien particulières et de les exploiter avec des algorithmes appropriés afin d'en extraire les informations recherchées.

Le calibrage des paramètres intrinsèques nécessite l'emploi d'une mire représentant un damier. Cette mire doit être positionnée face à la caméra de façon à apparaître dans son intégralité dans l'image. On procède ensuite à une série d'acquisitions pendant laquelle on déplace légèrement la mire suivant ses trois axes de translation et de rotation.

Les algorithmes de calibrage détectent les coins des cases du damier dans l'image, et connaissant les dimensions réelles de la mire, ils peuvent apparier les coordonnées des points détectés et celles des points réels pour en déduire les distorsions de la caméra.

Le calibrage des paramètres extrinsèques exige lui plusieurs acquisitions de la mire à des positions bien connues. Encore une fois les algorithmes apparient les points connus de la mire et les points détectés dans l'image, et connaissant les écarts de position de la mire, ils peuvent en déduire la position relative de la caméra par rapport à la mire.

Ces traitements donnent pour résultat les paramètres suivants :

Paramètres intrinsèques :

- Focale : $f = 5.4 \text{ mm}$
- Position du centre optique dans le repère image normalisé : $X^{opt}_{ima} = 144 \text{ pixels}, Y^{opt}_{ima} = 192 \text{ pixels}$
- Taille du pixel CCD : $d_x = d_y = 73.31 \text{ pixels}$ → 1 mm CCD donne 73.31 pixels en X et en Y (le pixel est supposé carré)
- Distorsion radiale du 1^{er} ordre : négligeable ! → $k = 0$

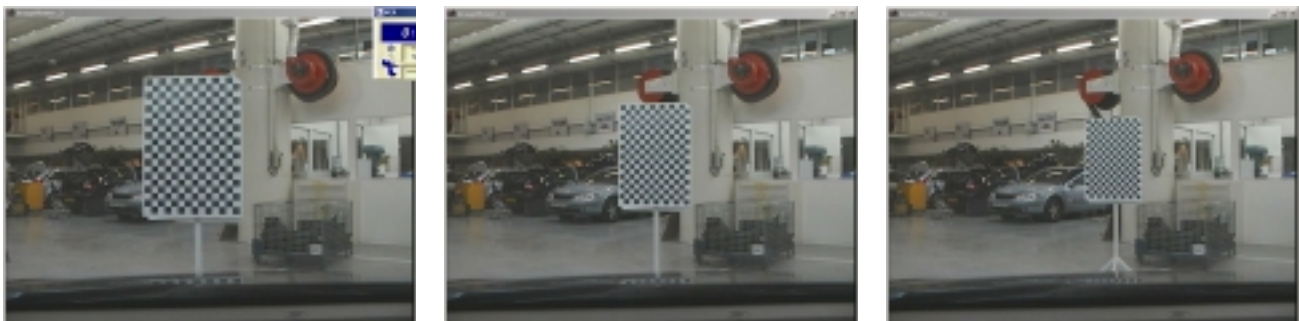
Paramètres extrinsèques :

- Hauteur de la caméra par rapport au repère odométrique (milieu de l'essieu arrière): $T_z = 1.1 \text{ mètres}$
- Tangage de la caméra : $\psi = -2.3^\circ$
- Inclinaison de la caméra : $\phi = -1.22^\circ$
- Lacet de la caméra (cap) : $\theta = 0^\circ$

Translation du repère caméra par rapport au repère odométrie (exprimée dans le repère du véhicule, le repère odométrique) :

$$T_x = 1.80 \text{ m} \quad T_y = 0.13 \text{ m} \quad T_z = 1.10 \text{ m}$$

Les trois photos suivantes présentent des prises de vues de la mire utilisée pour le calibrage de la caméra



Le détail de la procédure de calibrage est fourni en annexe III.

3.4.2. Mise en correspondance entre l'horizon électronique et l'image

Description :

La tâche des logiciels de navigation consiste à explorer la carte afin d'extraire des informations sur l'infrastructure routière que notre véhicule s'apprête à traverser ; l'ensemble de ces informations est appelé horizon électronique (Figure 3).

L'horizon électronique envoyé par ADASRP se présente sous la forme d'une série de points, le premier correspondant à la position du véhicule recalée par rapport à la carte ("map matching"). Chacun de ces points est défini par sa longitude, sa latitude et la courbure locale de la route. L'horizon contient également d'autres informations telles que la distance à la prochaine intersection et le nombre de branches de celle-ci.

La forme d'arrivée de l'horizon électronique présente deux problématiques pour l'utilisation que nous souhaitons en faire : les points géométriques se présentent sous la forme « longitude, latitude » (système de coordonnées LLA) que l'on ne peut interpréter tels quels dans l'image, et la fréquence de mise à jour de ces données est bien plus lente que celle des images vidéo.

Dans un premier temps il est donc nécessaire de convertir les coordonnées LLA absolues en coordonnées métriques relatives (par rapport au véhicule). A chaque nouvelle arrivée d'horizon électronique, ces coordonnées sont donc converties en écarts métriques «DeltaPosition», en prenant pour origine le premier point de l'horizon, sur lequel le véhicule est censé se trouver (Figure 2).

En considérant ensuite que le véhicule se dirige dans la direction de la route, on effectue une rotation de façon à ce que les écarts de position soient mesurés suivant les axes du véhicule.

Afin de disposer de données mises à jour à la même fréquence que le signal vidéo, cet horizon dans le repère véhicule sera recalculé à chaque arrivée d'une nouvelle image en intégrant le déplacement du véhicule le long du segment courant. Le calcul pour y parvenir est simple, puisque, connaissant la vitesse courante du véhicule, il suffit de calculer la distance parcourue depuis la dernière image et de la soustraire à chacun des points de l'horizon dans le repère relatif.

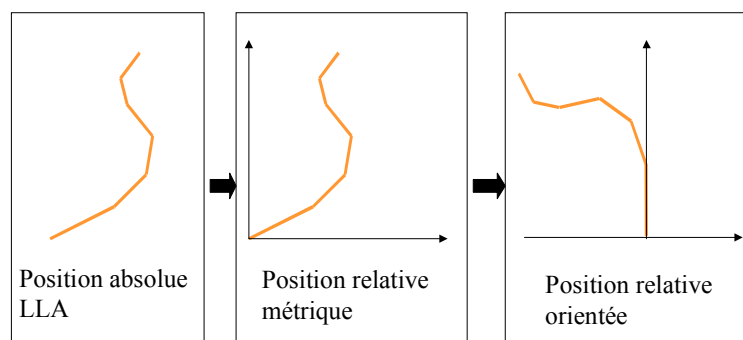


Figure 2

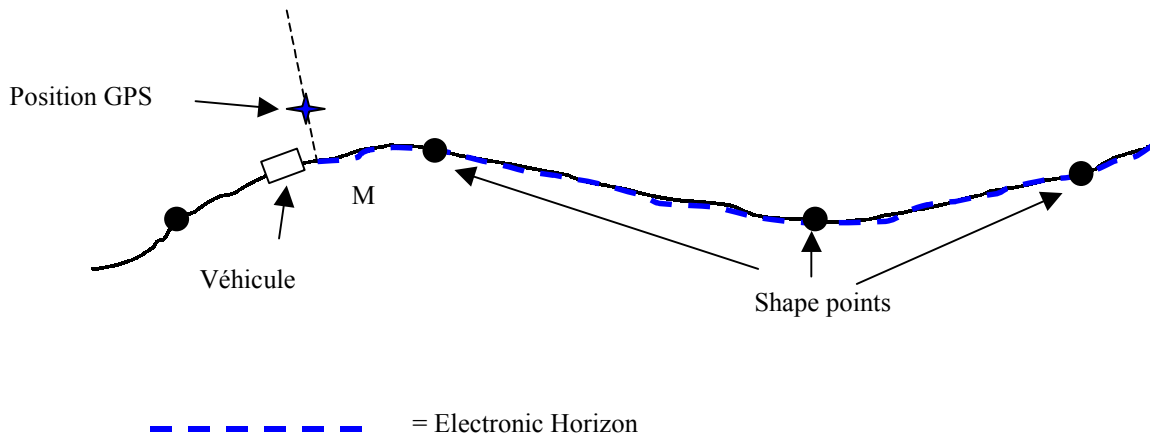
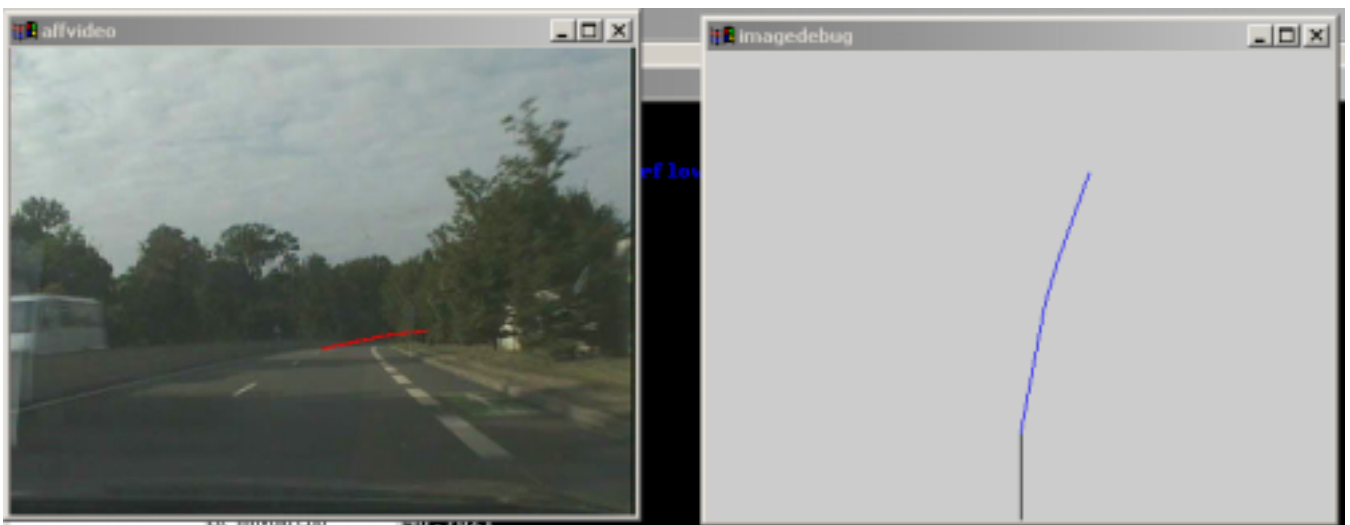


Figure 3

Une fois cette opération effectuée, les différents points ainsi calculés dans le repère du véhicule sont projetés dans le plan image, en utilisant les paramètres de calibrage de la caméra. On obtient ainsi la position dans l'image des différents segments de l'horizon ou de points particuliers tels que la position des intersections et des embranchements.

Résultats :

Les diverses transformations donnent des résultats cohérents et confirmés par l'image vidéo **tant que l'hypothèse de route plane est respectée et qu'un horizon électronique est déterminé par le système**. Les segments rétroprojetés de l'horizon électronique correspondent aux routes observées dans l'image, à l'exception de certaines situations critiques où les formes anguleuses de la base de données cartographiques introduisent des discontinuités dans la mise en correspondance. Cependant ce phénomène n'apparaît que dans des circonstances non concernées par nos scénarios, notamment lorsque le véhicule circule à l'intérieur d'un rond-point.

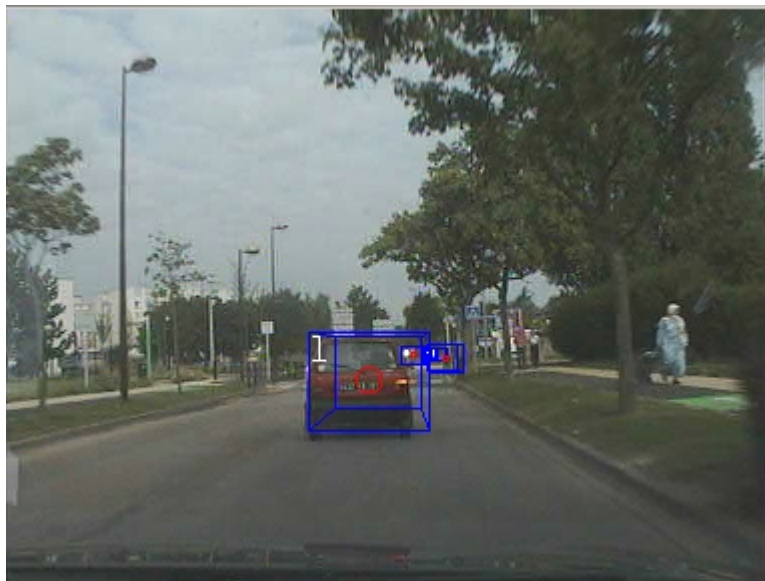


3.4.3. Détection et suivi de véhicules dans le sens longitudinal

Description :

La détection des véhicules se situant dans notre axe de circulation peu se limiter à une exploitation simple des données radar, puisqu'on se trouve ainsi dans ses conditions optimales d'utilisation. Les données circulant sur le CAN permettent de localiser les différentes cibles détectées par le radar. Il est ensuite nécessaire de filtrer ces informations, pour pouvoir entre autres disposer d'une estimation de la position de ces cibles synchronisée à la cadence des images vidéo.

Le filtrage choisi est un filtre de Kalman linéaire, pour sa simplicité d'implémentation et sa bonne stabilité



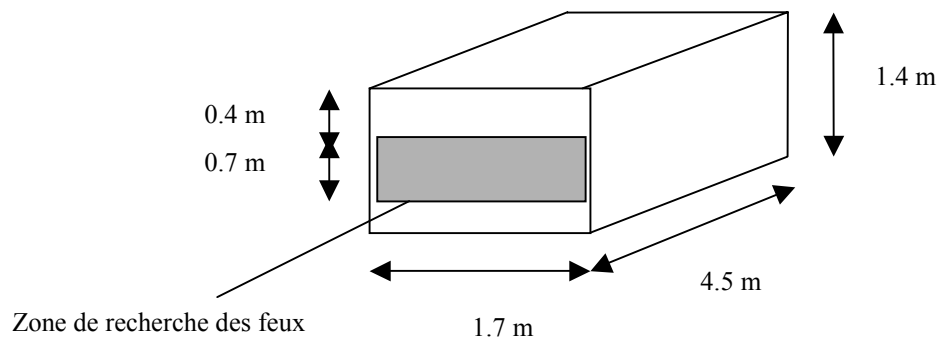
Il est tout à fait possible de compléter ces données en ajoutant des traitements de l'image vidéo (détection d'ombres, de symétrie, ...) et en effectuant une fusion de ces données, par exemple par utilisation du moteur d'inférence sur réseaux bayésiens MAIS. Mais expérimentalement, un tel ajout se manifeste par des résultats très similaires pour une charge de calcul supplémentaire considérable.

3.4.4. Détection de clignotants

Description :

Connaissant la position de chaque véhicule détecté et suivi, on peut en déduire l'espace occupé par ces véhicules dans l'image, en considérant un modèle moyen de véhicule. Nous obtenons ainsi une zone de recherche à laquelle nous pouvons nous restreindre pour identifier des indices propres aux véhicules, tels que les feux et clignotants.

Modèle de véhicule :



Pour détecter un clignotant on cherche avant tout à isoler les zones de plus forte luminosité : après avoir calculé l'histogramme de la composante Y de l'espace YUV dans la zone de recherche, et avoir seuillé cette zone à une proportion donnée de l'histogramme (95% dans les tests effectués), on obtient après labélisation les zones de plus forte luminosité du véhicule. Ces différentes régions sont ensuite sélectionnées en fonction de leur forme et de leur taille, un phare étant de forme rectangulaire (plus large que haut) et sa taille doit appartenir à une fourchette « raisonnable » en fonction de la distance qui nous sépare du véhicule. Cette fourchette a été prise expérimentalement entre 10cm et 30cm de large.

Chaque région correspondant à ces critères sera donc considérée comme une hypothèse de clignotant possible. A chaque nouvelle image, on compare donc ces régions aux différentes hypothèses en cours. Les régions ne correspondant à aucune hypothèse émise auparavant créent donc une nouvelle hypothèse à laquelle on attribue sa date de création. Les régions qui concordent avec une hypothèse précédente (c'est à dire qui ont un recouvrement suffisant, établi à 50% dans nos algorithmes) renforcent la crédibilité de cette hypothèse, dont on ne modifie pas la date de création.

Un clignotant se définissant par l'apparition puis la disparition d'un feu de signalisation, la détection est activée lorsqu'une des hypothèses de clignotants suivis n'est plus confirmée par les régions de forte luminosité extraite de l'image. Cela correspondrait dans cette hypothèse au passage du clignotant de l'état allumé à l'état éteint. En considérant la date de création de l'hypothèse, on peut en déduire la durée pendant laquelle cette région a été lumineuse et donc combien de temps le supposé clignotant est resté allumé. Si ce temps est trop court (inférieur à 500 ms) ou trop long (supérieur à 2000 ms), on considère qu'il ne correspond pas à la fréquence d'un clignotant et que l'hypothèse est fautive. Dans le cas contraire, on en déduit l'activation d'un clignotant, dont la position dans la zone de recherche définit la direction dans laquelle le véhicule a l'intention de tourner.



Résultats :

Sur les séquences faisant intervenir des véhicules manifestant leur intention de tourner, la détection des clignotants est fiable pour peu que les conditions d'environnement soient favorables : un fort éclairage de la cible peut s'avérer très perturbant si les reflets sur la voiture « noient » la région correspondant au clignotant dans une région trop grande pour être retenue, ou créent des maxima de luminosité qui éclipseraient les feux eux-mêmes :



Reflet plus lumineux que les feux

Perturbation par des reflets intenses

On peut observer que la seule détection de zones lumineuses de taille et de forme adéquate ne



reflet

Justification du suivi temporel : cas de reflet pouvant être pris pour un clignotant

suffit pas, les fausses détections dues aux petits reflets et aux objets divers étant nombreuses. La mesure de la durée d'existence des régions est donc bien justifiée.

3.4.5. Détection de feux stop

Description :

La détection des feux stop ressemble en grande partie à celle des clignotants, du moins pour la première partie : les phases de seuillage sur la composante Y, labélisation et sélection des régions est identique.

La similitude s'arrête là cependant, puisque les feux stop ne nécessitent pas de suivi temporel particulier, il est donc inutile de les suivre dans l'image. Une fois que toutes les régions pouvant correspondre à un feu stop ont été identifiées, on se contente de tenter de les apparier. Si deux feux sont détectés à la même hauteur dans la zone de recherche correspondant à un véhicule suivi, on considère que les feux stop de ce véhicule sont allumés.



Un traitement complémentaire au précédent consiste à exploiter la couleur rouge des feux stop pour une validation supplémentaire : on effectue le même traitement que celui décrit ci-dessus, mais sur la composante V. Les résultats obtenus peuvent être utilisés pour renforcer ceux du traitement de la composante Y, mais ne sauraient être utilisés seuls puisqu'il arrive trop fréquemment que des feux stop éteints soient également détectés par cette méthode.

Résultats :

Lorsqu'ils sont allumés, les feux stop des véhicules sont très facilement détectables. Les seuls éléments pouvant s'avérer perturbants sont les reflets importants ou les objets de couleur

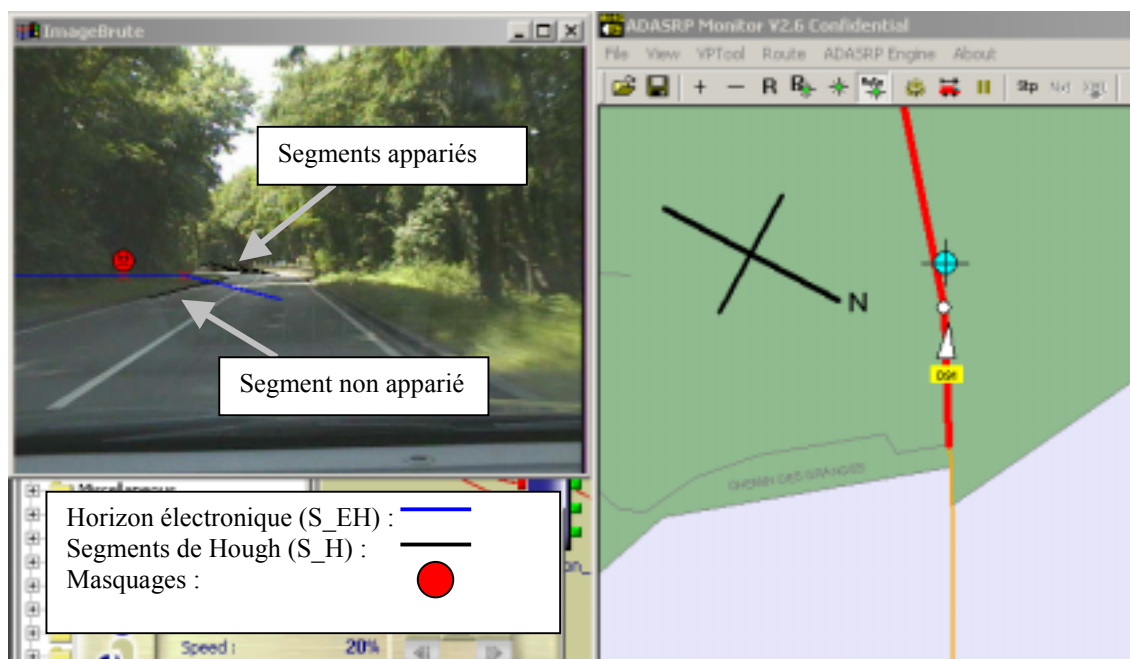


rouge, suivant la composante Y ou V traitée, mais une utilisation combinée des deux traitements et l'utilisation des appariements résolvent la plupart des ambiguïtés.

Tout comme pour les clignotants, la discrimination des feux n'est cependant possible que pour des véhicules suffisamment proches : lorsqu'ils sont trop éloignés, la taille des feux dans l'image est trop petite pour être discriminée du bruit dans l'image.

La détection des feux stop a fonctionné dans les scénarios pour lesquels le véhicule suivi se trouvait suffisamment proche du nôtre. La couleur rouge du véhicule n'est pas un élément perturbateur, la détection ayant même été parfois plus aisée avec ce véhicule puisque sa couleur globalement plus sombre (l'autre véhicule utilisé était blanc) faisait ressortir plus facilement la luminosité des feux.

3.4.6. Détection de masquages statiques sur virages



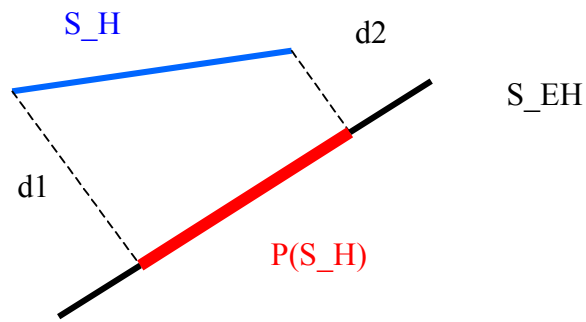
Description :

La détection des masquages équivaut en fait à une non-détection des lignes de route (marquages, trottoirs, bas-côtés).

Pour cela on effectue dans un premier temps une rétroprojection de l'horizon électronique dans l'image. Les lignes obtenues donnent les directions dans lesquelles on s'attend à trouver des lignes de route. Chaque ligne définit donc une zone de recherche dans laquelle on effectue une recherche de segments par l'algorithme de Hough. Pour une fenêtre donnée, les traitements donnent donc une liste de segments que l'on cherchera à mettre en correspondance avec la direction principale recherchée. Les segments de Hough retournés doivent respecter une longueur minimale (mesurée en pixels). Plusieurs segments sont ensuite fusionnés (regroupés) si les distances entre ces segments sont inférieures à un seuil maximal prédéfini mais paramétrable.

Le critère de mise en correspondance repose sur une mesure de distance entre les segments identifiés par Hough (S_H) et le segment obtenu par l'horizon électronique (S_{EH}). Pour chaque S_H , on définit sa pertinence face à la direction recherchée par la distance entre S_H et sa projection sur le S_{EH} . Une telle définition de ce critère permet de tenir compte des détections partielles de segments, et donc d'identifier un segment dont on n'aurait retrouvé qu'une petite portion dans l'image. Il permet également de donner un faible score à un

segment qui se situerait dans une zone proche du segment de l'horizon électronique sans avoir la même orientation.

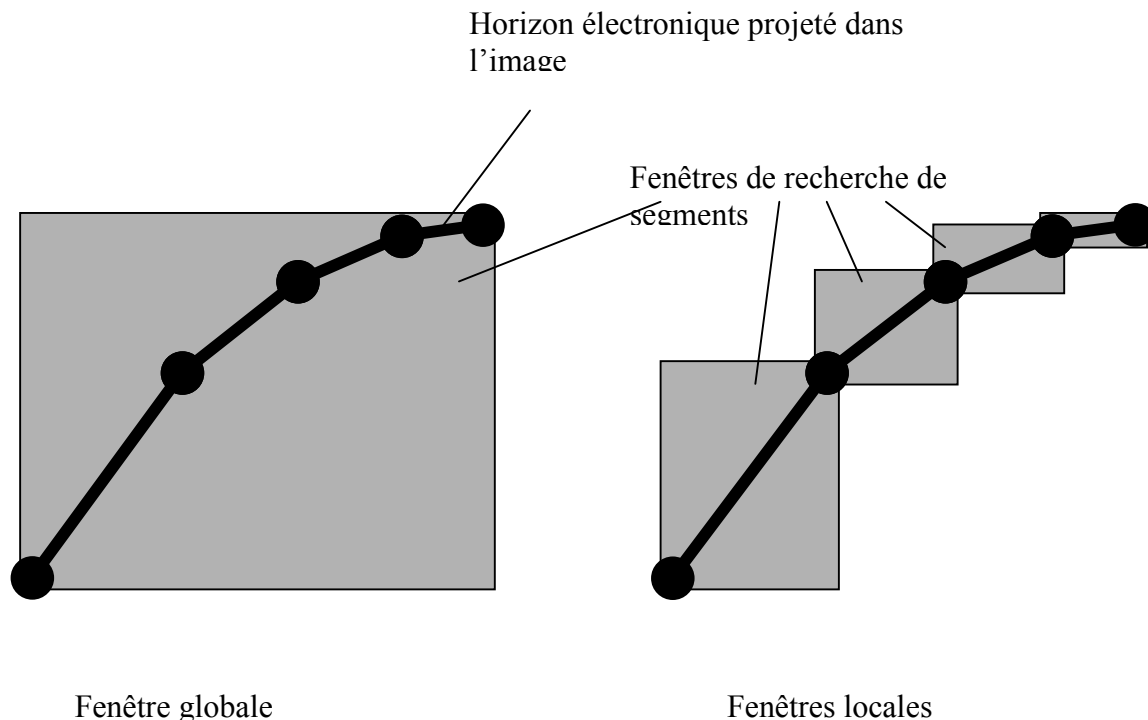


$$D = d(S_H, P(S_H)) = d1 + d2$$

Des premiers résultats ayant mis en évidence une sensibilité aux pertes temporaires de détection des segments, un suivi temporel a été ajouté par la suite afin de filtrer les cas où l'algorithme de Hough ne retrouve pas sur une ou deux images les segments que l'on identifiait parfaitement dans les images précédentes. Pour cela un indice de fiabilité est attribué à chaque segment et se voit renforcé au fur et à mesure que ce segment est retrouvé dans l'image. Lorsqu'un segment n'est plus identifié par Hough, sa fiabilité décroît mais peut rester suffisamment haute pendant quelques temps si le segment a été suffisamment longtemps confirmé. Ainsi plus un segment aura été confirmé, plus il aura acquis de « l'inertie », faisant en sorte qu'il ne sera considéré comme non détecté qu'après plusieurs images dans lesquelles il n'apparaîtrait pas.

Résultats :

Une première approche consistant à utiliser une fenêtre globale pour l'ensemble de l'horizon électronique et sans suivi temporel donnait des résultats cohérents mais souffrant beaucoup de fausses détections, ou de non-détections passagères pour cause d'hypothèses concurrentes (l'algorithme de Hough utilisé ne renvoie que les segments qu'il considère comme plus crédibles, mais les fausses détections conduisent à retenir un segment erroné pour ce qui nous intéresse, au profit du segment qui lui serait déterminant.



L'utilisation de fenêtres de recherche spécifiques à chaque segment et d'un suivi temporel réduit beaucoup ces erreurs et permettent une détection plus stable des marquages.

Cependant, ce traitement dépend énormément de l'hypothèse de route plane, et ne fonctionne plus du tout quand la géométrie de la route s'éloigne trop de ce modèle, puisque les segments sont alors recherchés dans les mauvaises portions de l'image, donnant des résultats inexploitable. Ce traitement est donc également très sensible à la fidélité de la base de données cartographique.

3.4.7. Détection de masquages statiques sur intersections

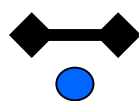
Description :

La détection de masquages sur intersection repose sur la même approche que les masquages en virage : la non-détection des lignes de route.

Les segments à rechercher ne sont pas cette fois ci ceux donnés par l'horizon électronique, mais ceux correspondant à la route traversant notre trajectoire au niveau de l'intersection, et ne figurant donc pas sur l'horizon électronique.

La première étape consiste à localiser le point où devrait se situer l'intersection dans l'image. Ce calcul revient à exploiter l'information « distance à la prochaine intersection » en suivant l'horizon électronique jusqu'à avoir parcouru cette distance. On en déduit donc l'écart de position entre l'intersection et le véhicule, ce qui nous permet de la localiser dans l'image par les mêmes calculs de rétroprojection que pour la rétroprojection de l'horizon électronique.

A partir de ce point, on peut donc définir des zones de recherche, en supposant que la route secondaire croise orthogonalement notre trajectoire. La recherche se fait alors de façon similaire à celle décrite pour les masquages statiques en virage.



Portions visibles de l'EH

Portions masquées de l'EH

Résultats :

Les résultats varient en fonction du type d'infrastructure rencontrée. Tout d'abord, l'hypothèse d'intersection orthogonale est une hypothèse forte, qui induit des résultats peu convaincants si elle n'est pas respectée.

Lorsqu'elle l'est, cette méthode de détection de masquages est efficace pour les masques importants, tels que bâtiments ou végétation. Elle s'avère par contre peu fiable pour des masquages partiels par des rambardes ou aménagements urbains, dont les contours peuvent être pris pour des rebords de routes.

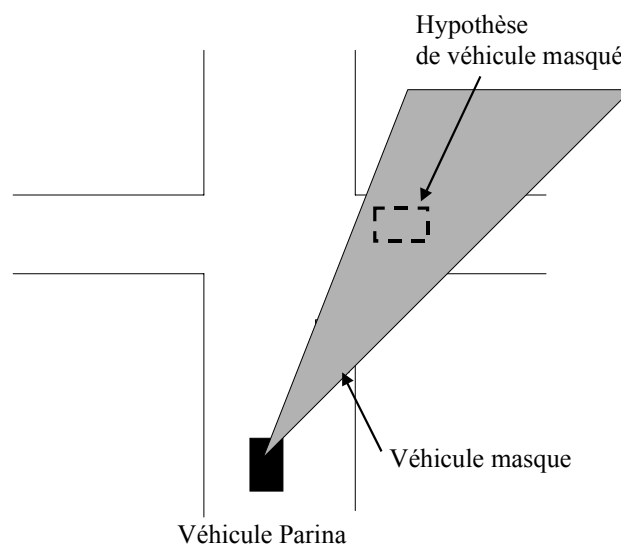
3.4.8. Détection de masquages dynamiques sur intersection

Description :

La détection des masquages dynamiques de l'intersection par les autres véhicules est une application directe du suivi de véhicules et de la localisation d'intersection décrits précédemment. Ce traitement ne repose que sur des considérations géométriques, un véhicule étant considéré comme un masque dynamique que si la projection de son modèle 3D dans l'image masque la zone dans laquelle on a localisé une intersection.

On considère qu'il peut y avoir masquage dans deux configurations :

3.4.8.1. masquage potentiel de véhicules lents.

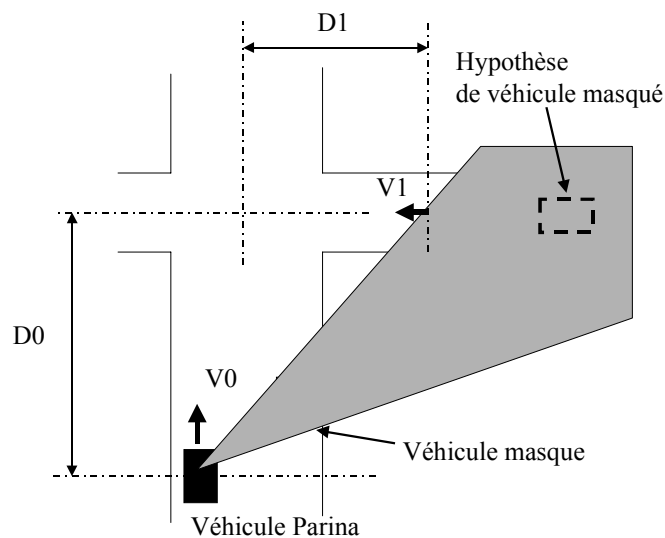


Cette situation correspond au cas où le véhicule suivi masquerait la voie secondaire dans sa partie la plus proche de l'intersection. Il peut donc y avoir une situation de danger si un véhicule se trouve à l'arrêt ou à faible vitesse au niveau de l'intersection, et ne serait donc pas perçu par le conducteur.

On considère donc qu'il y a masquage si une surface correspondant à la longueur d'un véhicule se trouve à plus de 50% dans le «cône d'ombre» généré par le masque dynamique.

3.4.8.2. Masquage potentiel de véhicules rapides.

Cette situation correspond au cas où le véhicule suivi nous masquerait une portion de la route secondaire éloignée de l'intersection, dans laquelle un véhicule serait susceptible d'arriver à grande vitesse sur l'intersection.



Pour détecter un éventuel masquage, on commence par estimer la vitesse minimale $V1$ des éventuels véhicules situés dans la «zone d'ombre», en tenant compte de notre propre vitesse et de la distance qui nous sépare de l'intersection :

$$V1 = V0 * D1 / D0$$

Tout véhicule potentiellement masqué n'est potentiellement dangereux que si sa vitesse est supérieure à $V1$. On considérera donc qu'il y a masquage lorsque $V1$ reste inférieur à une valeur cohérente (limite choisie de 90 km/h).

3.4.9. Détection de véhicules dans le sens transversal par flot optique

Description :

Une première approche a consisté à utiliser des méthodes de flot optique pour extraire le champ de mouvement de l'ensemble de la scène vidéo (méthode de Lukas & Kanade, voir annexe) et d'en déduire les principales directions de déplacement. La principale difficulté par rapport aux applications habituelles du flot optique est que l'on cherche à isoler des objets mobiles dans une scène également mobile, en raison du déplacement du véhicule. La scène est de plus potentiellement complexe, et ne peut se limiter à un simple décor plan. Il est donc plus délicat de séparer les objets dont le déplacement correspond au défilement du décor, et ceux qui ont un déplacement propre, dans la mesure où leur position n'est pas prévisible.

La donnée de départ est toujours une image pour laquelle on a estimé le vecteur vitesse de chaque pixel (i,j) représentant son déplacement dans l'image. Chacun de ces pixels peut correspondre à un point de l'espace $M(i,j,t)$ situé sur la droite passant par ce pixel et le centre optique de la caméra (t étant le paramètre, inconnu a priori, de la profondeur du point dans l'espace).

Si on suppose qu'un point M est un point fixe du décor, sa vitesse V de défilement (vitesse opposée à celle de progression de la voiture) en fonction sa projection dans l'image est connue. Pour déterminer si un point de la scène est fixe, il faut donc comparer cette valeur théorique à la valeur réelle de défilement mesurée dans l'image. Si cette valeur est proche on en déduit que le pixel observé correspond à un éventuel objet mobile.

Résultats :

La méthode implémentée ne permet pas de détection fiable des objets mobiles : les erreurs d'estimation du champ de vitesse (pénalisée par une variation de luminosité des objets dans la scène) s'ajoutent aux imprécisions de calibrage de la caméra et aux incertitudes de localisation 3D des objets dans la scène. On observe donc dans les résultats un bruit important et dont la variance se présente sous la forme d'une gaussienne (on comprend en effet que la perception des vitesses de défilement est plus précise sur les côtés que dans l'axe du véhicule).

Des travaux parallèles ont mis en évidence que ce traitement permettait éventuellement de détecter les cibles proches ayant un déplacement latéral par rapport au nôtre (comme un véhicule effectuant une manœuvre de dépassement sur notre voie), mais les véhicules arrivant latéralement sur une voie secondaire sont trop éloignés et trop difficilement perceptibles pour être détectés. Cette approche a donc été abandonnée pour cette application précise.

3.4.10. Détection de véhicules dans le sens transversal par suivi de contour

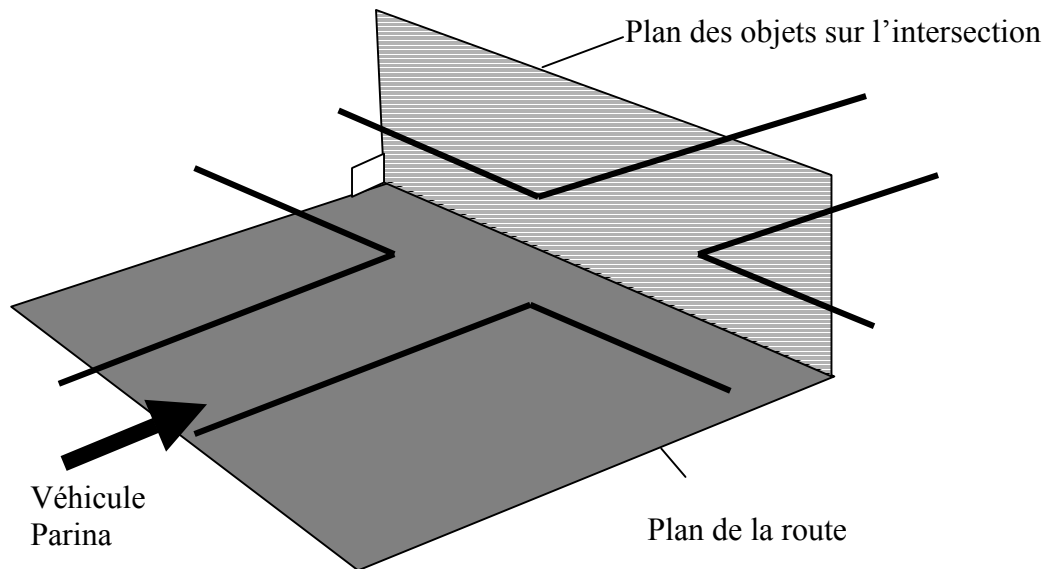
Description :

L'idée poursuivie est d'utiliser les contours des objets comme point de départ, ces éléments étant plus robustes aux variations d'éclairage.

L'extraction des contours ne pose pas de problème en soi, les méthodes pour y parvenir sont nombreuses et efficaces. Dans le cas présent, un filtrage morphologique de Sobel donne des résultats tout à fait satisfaisants.

L'étape suivante consiste ensuite à essayer d'attribuer les points à des zones de l'environnement que l'on aura définies au moyen de la cartographie. Ces zones peuvent se séparer selon différents plans, l'un correspondant au plan horizontal de la route, le second au plan vertical des objets situés au niveau de l'intersection, et éventuellement d'autres plans verticaux correspondant aux côtés de la route (comme nos recherches se limiteront à la zone de l'intersection, la considération de ces plans n'est cependant pas utile dans notre cas).

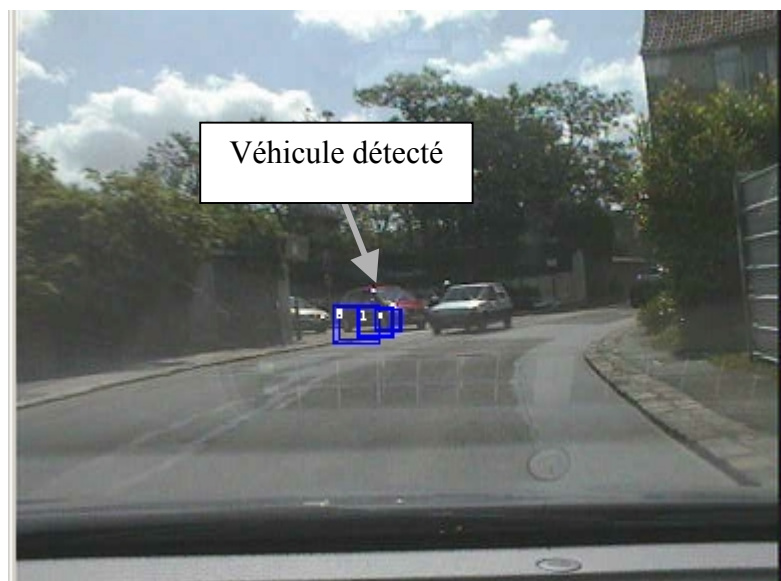
Pour chaque point de contour considéré, on peut donc émettre une hypothèse sur le plan de l'espace auquel il est susceptible d'appartenir. Pour chacune de ces hypothèses on peut donc définir les coordonnées à laquelle se trouverait cet objet dans l'image suivante. En effectuant une corrélation simple entre le voisinage du point de départ (dans l'image originale, et non l'image contenant les contours) et le voisinage des points attendus, on peut attribuer chaque contour de l'image à un des plans de l'environnement, et donc l'interpréter soit comme un élément du décor, soit comme un obstacle si celui-ci se trouve au niveau de l'intersection.



Résultats :

Ce traitement ne fait que discerner parmi les objets dans la scène ceux se situant au niveau de l'intersection et n'appartenant pas à la route. L'estimation de la vitesse de ces objets ne peut cependant pas être précise.

Les résultats obtenus dépendent beaucoup de la complexité de la scène observée. En effet puisque l'on effectue de la détection de contours attribués à des points de l'espace 3D, le traitement est vite perturbé en présence d'infrastructures complexes, par exemple lorsque de nombreux éléments de mobiliers urbains sont présents au niveau de l'intersection. Cependant lorsque la scène est suffisamment simple, un véhicule présent sur une intersection peut être détecté de façon continue, c'est à dire sur une durée suffisante pour que la détection soit confirmée de façon fiable.



3.5. Réorientation des objectifs de l'étude

A l'issue des premiers tests des algorithmes de pré traitement, il a été constaté que les algorithmes de vision pressentis nécessitaient des charges de calcul qui ne permettaient pas d'atteindre le temps réel avec des calculateurs de type PC.

L'achat de calculateurs dédiés dépassant le cadre de cette étude, il a été convenu, en accord avec le SETRA, que les algorithmes utilisant la vision ne seraient développés et testés qu'en laboratoire sur des données enregistrées.

Les traitements développés uniquement en laboratoire sont :

- Arrivée sur véhicule apprêtant à tourner
- Arrivée sur intersection
- Les traitements de détection des masques pour les situations d'arrivées sur virages

Le traitement intégré sur véhicule utilise uniquement les information de proprioceptives et de navigation pour la gestion des situations arrivées trop rapide en virage.

3.6. Algorithmes de traitement haut niveau

La fonction des algorithmes de haut niveau est de fusionner les informations des traitements de détection des marqueurs pour évaluer le niveau de dangerosité de la situation routière rencontrée et en déduire l'information à restituer au conducteur.

La définition de ces traitements est donc très liée à la modalité de transmission de l'information au conducteur et au cahier des charges de la fonction développée.

La première partie de ce chapitre expose donc la démarche qui a conduit à la définition des interfaces homme machine du démonstrateur pour la gestion des **arrivées trop rapide sur virages (curve warning)**.

La définition fine des IHM des deux autres situations n'a pas été traitée, les performances des calculateurs embarqués dans le démonstrateur n'autorisant pas le traitement temps réel des données et donc l'intégration de ces fonctions dans le véhicule

La suite du chapitre décrit les principes de fonctionnement des traitements développés en laboratoire.

3.6.1. Définition des IHM du démonstrateur

3.6.1.1. Contexte

Améliorer la sécurité des usagers de la route devient un impératif de plus en plus pressant des pouvoirs publics, des constructeurs automobiles, de certains centres de recherche ou laboratoires universitaires, qui collaborent à la conception de nouveaux systèmes d'aide à la conduite.

Dans un premier temps, les progrès techniques et technologiques ont permis d'intégrer différents systèmes d'aide à bord du véhicule (aide à la navigation, régulateur de vitesse, ACC, etc.). Leur objectif principal est d'assister le conducteur essentiellement dans les situations de conduite nominales ("normales"), en prenant partiellement ou totalement en charge certaines sous-tâches de son activité de conduite.

D'autre part, de nombreux systèmes sont développés ou en cours de développement pour assister le conducteur dans les situations de conduite inattendues, monotones ou dangereuses, c'est-à-dire dans les situations de conduite présentant un risque pour lui-même ou les autres usagers. L'introduction de nouvelles technologies dans les automobiles et dans les infrastructures amène ainsi de nouvelles opportunités pour aider le conducteur lorsqu'il est confronté à des situations exceptionnelles qui peuvent conduire à un accident. Le système d'aide associé à une arrivée trop rapide sur virage, développé dans le cadre de PARINA, fait partie de ces futurs systèmes et a pour vocation de prévenir le conducteur lorsqu'il arrive trop vite sur un virage dangereux.

Mais le problème actuel est autant de développer techniquement ces aides que de savoir comment présenter les informations au conducteur pour qu'elles perturbent le moins possible sa tâche de conduite, tout en étant perçues dans des délais adaptés. En effet, grâce aux nouvelles technologies embarquées dans les véhicules, on peut développer, par exemple, un système d'aide détectant un écart entre la vitesse recommandée et celle du véhicule. Mais le principal problème est de savoir quand et comment avertir le conducteur que sa vitesse est inadaptée et que le risque d'accident est important.

En effet, ces systèmes peuvent fournir aux conducteurs des informations en temps réel - ce qui peut être très utile -, mais la présentation de ces informations peut interférer avec la tâche principale de conduite et en cela compromettre la sécurité des usagers.

La présentation des informations durant la conduite est donc particulièrement complexe car elle doit répondre au paradoxe suivant : d'une part, les informations nécessaires au conducteur pour réaliser sa tâche de conduite doivent bien évidemment être perçues et comprises dans des délais compatibles avec cette tâche, mais d'autre part, elles ne doivent pas être dangereuses pour le conducteur en attirant à mauvais escient son attention dans des situations critiques. De plus, si l'interface utilisée est trop intrusive, le conducteur ne la supportera pas et déconnectera le système. Il y a alors un compromis à trouver entre l'efficacité de la présentation des informations et la non-dangérosité de cette présentation.

Une présentation judicieuse des informations pertinentes, sans surcharger la capacité de traitement des informations du conducteur, est donc indispensable. Idéalement, tout système se voulant "système d'aide", doit être à même de fournir au conducteur l'information dont il a besoin, au bon moment. Cette information doit être présentée de façon telle qu'elle soit

immédiatement comprise par le conducteur, et provoque une réaction adaptée à la situation de conduite, dans un délai acceptable. La capacité d'un système à attirer l'attention du conducteur sur le "problème" à traiter est donc essentielle.

Les critères de base concernant le regard que l'ergonomie peut porter sur la question des aides sont les suivants :

- L'utilité de l'aide
- L'utilisabilité
- L'efficacité
- La non-dangerosité
- La satisfaction des utilisateurs (en l'occurrence les conducteurs)

3.6.1.2. L'utilité de l'aide.

L'utilité semble un critère évident : si une aide n'est pas utile, à quoi bon la proposer ? Il faut tout de même se poser les questions suivantes, lorsqu'on conçoit un système : utile pour qui ? quand ?

3.6.1.3. L'utilisabilité.

C'est la facilité à utiliser un système, à le mettre en œuvre, à apprendre à s'en servir, à se l'approprier aisément parce que bien adapté aux caractéristiques de l'utilisateur. Les interfaces Homme – Machine (IHM) jouent un rôle important dans l'utilisabilité des systèmes. Elles doivent être aisément accessibles, bien lisibles (quelle que soit la modalité sensorielle concernée, visuelle ou auditive). La présentation des informations doit satisfaire les critères d'une bonne perception (taille des icônes visuelles, choix des couleurs, etc.), d'une attention suffisante (localisation dans le champ de vision, intensité des alarmes, saillance, etc). L'affordance de l'interface est sa capacité à être immédiatement comprise, décodée, sans qu'il soit besoin d'informations supplémentaires.

3.6.1.4. L'efficacité.

C'est un critère qui complètent les deux précédents. L'utilité s'analyse en terme de buts et de cible des utilisateurs. Elle résulte des moyens et de la mise en œuvre de ces moyens. Elle dépend donc largement de l'utilisabilité. L'efficacité se mesure objectivement en termes de buts atteints, de temps gagné, d'erreurs évitées, de confort, etc.

3.6.1.5. La non-dangerosité.

C'est la moindre des choses qu'un système d'aide ne soit pas dangereux. Or dans la conduite automobile, les informations sont souvent présentées au conducteur par une interface visuelle. La tâche principale du conducteur est de conduire et cette conduite nécessite une attention focalisée principalement sur les informations extérieures que le conducteur doit prélever au travers du pare-brise. L'introduction d'un écran de visualisation à l'intérieur du véhicule, quelque fois mal placé, destiné à présenter des informations dont l'utilité est de second ordre, agit en concurrence avec la tâche principale. L'aide peut alors se révéler dangereuse.

3.6.1.6. La satisfaction des conducteurs.

Logiquement, la satisfaction devrait être corrélée à l'utilité, à l'utilisabilité et à l'efficacité. En pratique, elle ne l'est que très partiellement. Néanmoins, la satisfaction des utilisateurs s'harmonise avec la qualité technique, au moins à terme.

Afin de limiter les rejets du système d'aide, il est important de respecter les habitudes des utilisateurs et de prendre en compte leurs opinions.

3.6.1.7. Interfaces proposées pour le système d'aide PARINA : cas de l'arrivée trop rapide sur virage (curve warning)

Concernant le système envisagé dans le cadre du projet PARINA, l'utilité d'un tel système est établie et on comprend bien l'importance de limiter les accidents en virage en réduisant la vitesse d'approche.

Concernant les autres critères, ils sont particulièrement liés aux interfaces. Il est donc essentiel qu'elles soient adaptées aux caractéristiques des situations de conduite dans lesquelles sera impliqué le système. Ainsi, les informations présentées dans le cadre du système PARINA devront être placées judicieusement afin d'aider le conducteur à réaliser sa tâche principale et non la concurrencer.

Le système d'aide PARINA a pour vocation de prévenir le conducteur qu'il arrive trop vite sur un virage dangereux. Son utilité est donc établie, mais elle ne suffit pas. Si son interface n'est pas adaptée, le conducteur le rejettera. Il est essentiel d'adapter les interfaces aux besoins des conducteurs et aux caractéristiques des situations de conduite, si on veut qu'il soit accepté et utilisé. En conduite automobile, deux types d'interfaces sont pour le moment utilisés : les interfaces visuelles et les interfaces sonores.

Avant de décrire les IHMs retenues pour le projet PARINA, nous rappelons quelques points importants concernant les interfaces visuelles et auditives

Les interfaces visuelles :

La fonction principale d'une interface est de transmettre de l'information. Lorsqu'elle est visuelle, elle doit être conçue de façon à ce que le conducteur puisse la consulter sans dégrader sa tâche de conduite. L'interface doit être visible quelles que soient les conditions de conduite (nuit, virage, ...) et les caractéristiques des conducteurs (taille, ...).

Les tableaux de bord étant conçus en tenant compte de ces contraintes, cela ne pose pas de problème particulier pour afficher les icônes associées au système PARINA. Il faut cependant que ces icônes soient placées le plus au centre possible du tableau de bord.

Les couleurs des interfaces doivent être conformes aux habitudes des utilisateurs, et aux normes en vigueur (ex: rouge pour les témoins associés à un danger immédiat)

Le témoin lumineux a pour vocation de permettre une perception rapide de l'alerte : il doit être significatif, permanent (tant que l'alerte est vraie) et avoir une couleur reflétant la nature de l'alerte. Il faut éviter le clignotement du témoin car cela peut gêner le conducteur.

Le texte a pour vocation d'explicitier l'information à faire passer au conducteur, en précisant par exemple ce que signifie exactement le témoin allumé. Cependant, la lecture d'un texte, même court, nécessite un temps de détournement de regard plus important que la simple consultation d'un témoin d'alerte. Il faut donc l'éviter lorsque les délais d'action du conducteur sont très courts. Les messages textuels doivent être courts (16 caractères maximum), présentés

sur une seule page. Ils doivent permettre au conducteur de mieux comprendre la gravité du problème, et doivent si possible être centrés sur l'action à réaliser par le conducteur.

Les interfaces sonores :

Les interfaces sonores actuellement présentes dans les véhicules sont essentiellement de type "buzzer". Mis à part certains véhicules qui sont équipés de synthèse vocale associée à la Navigation, les interfaces sonores présentes dans les véhicules sont assez limitées et se résument aux buzzers. Ils doivent être réservés aux situations d'urgence, car la modalité auditive est très intrusive.

Le buzzer doit être associé à une alerte nécessitant une réaction rapide et doit être de durée limitée. Selon la norme ISO / DIS 15006, toute alerte sonore doit systématiquement être dédoublée sur une autre modalité (notamment visuelle).

Les interfaces haptiques :

Les interfaces haptiques correspondent aux interfaces qui "sont ressenties via les sensations et les perceptions tactiles, vestibulaires, ou kinesthésiques" (Tijerna et al., 2000)

Grâce à cette modalité sensorielle, nous espérons induire chez le conducteur une réaction appropriée, comme par exemple dans des situations de "collision avant", un lâcher d'accélérateur, voire un appui sur le frein. Cette modalité sensorielle permettrait d'agir davantage sur le comportement du conducteur en induisant des comportements, plutôt que sur la perception et la signification du message. En effet, peut-être pourrait-on induire une réaction adaptée à la situation, même si le conducteur n'a pas traité tous les éléments de la situation. Par exemple, en faisant vibrer la pédale d'accélérateur, il se peut que le « réflexe » du conducteur sera de lever le pied, ce qui fait déjà partie de la réaction nécessaire pour gérer la situation d'urgence à laquelle le conducteur est soumis. Cette hypothèse est bien entendu à vérifier en situation de conduite et outre les comportements du conducteur, nous mesurerons également le stress induit par ce type d'interfaces.

Description des interfaces retenues pour le système PARINA :

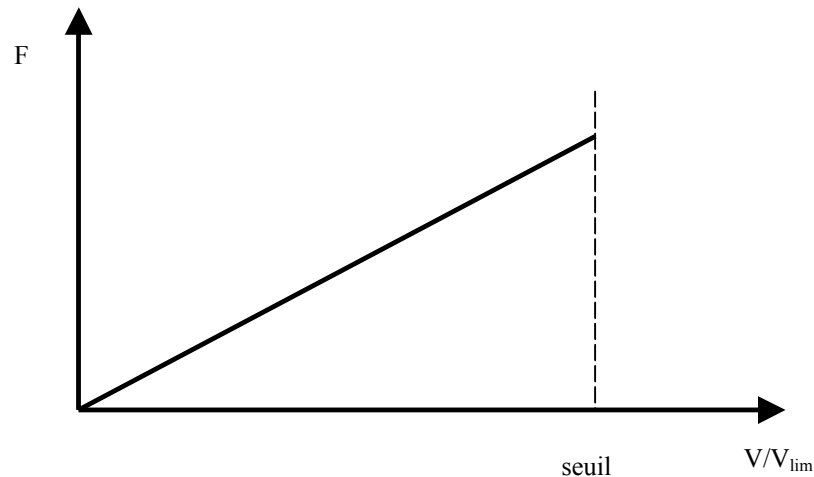
Compte tenu des caractéristiques de la situation de conduite associée à ce système, il est essentiel de prévenir le conducteur suffisamment tôt pour qu'il ne se retrouve pas en situation d'urgence. De plus, si ce dernier ne réagit pas assez vite ou de façon inappropriée, il est important d'avoir encore le temps de l'avertir de la criticité de la situation. Deux niveaux d'alerte sont donc prévus pour ce système.

La première alerte sera diffusée au conducteur lorsque ce dernier arrivera à 150m du virage dangereux à une vitesse supérieure à $v_{lim} = \min(v_{legale}, v_{curve})$: v_{legale} représente la vitesse légale et v_{curve} la vitesse permettant de prendre le virage avec une accélération latérale inférieure à $\gamma_{lat} < 2ms^{-2}$ sans jamais décélérer à plus de $\gamma_{decel} = 3ms^{-2}$ (détail des calculs cf ci dessous).

C'est un niveau d'alerte orange, le conducteur n'étant pas encore dans une situation très critique. L'interface utilisée à ce premier niveau d'alerte ne devra pas être trop intrusive ; sinon, elle sera mal acceptée par les conducteurs et le système sera rejeté. Une interface sonore est donc à éviter pour ce premier niveau d'alerte. Un témoin lumineux s'affichant sur le tableau de bord du conducteur est recommandé. De plus, un texte explicatif "Ralentir Virage dangereux" sera associé à ce témoin, afin d'explicitier l'icône affichée. Cela permettra au

conducteur de comprendre l'objectif du système et la signification du témoin si ce dernier n'est pas suffisamment explicite.

Enfin, la pédale d'accélérateur se durcira progressivement (d'autant plus que v , vitesse du véhicule excède v_{lim}). La figure ci-dessous représente la force de rappel additionnelle qui s'exercera sur la pédale d'accélérateur en fonction du différentiel de vitesse :





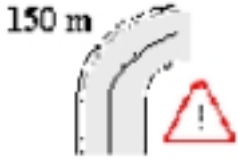

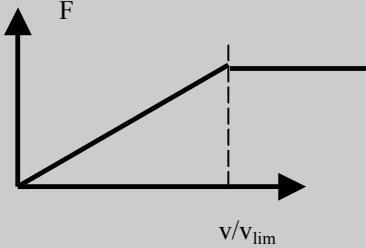
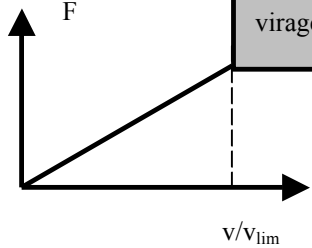
Si le conducteur ne ralentit pas suffisamment et que sa vitesse reste inappropriée (c'est à dire si à moins de 50m du virage sa vitesse est supérieure v_{lim}), une alerte de niveau rouge sera diffusée.

Vu l'urgence de la situation, une interface sonore de type buzzer est recommandée. En effet, la modalité sonore est souhaitable lorsque l'attention du conducteur doit être attirée rapidement. Conformément à la norme ISO / DIS 15006, un témoin lumineux s'allumera sur le tableau de bord, simultanément à l'émission du buzzer. En revanche, aucun texte ne sera présenté, afin de limiter le temps de détournement du regard de la route. Nous limiterons ainsi la dangerosité du système.

Enfin la force exercée sur la pédale d'accélérateur sera maintenue (selon la loi décrite ci dessus) et des vibrations s'ajouteront à cette contrainte dans le cas où $v/v_{lim} > \text{seuil}$.

Remarque : dès que le véhicule sera rentré dans le virage, les vibrations et la force de rappel sur la pédale d'accélérateur seront annulées. En effet, l'objectif du « Curve Warning » est d'avertir le conducteur lors de l'entrée sur le virage, inciter le conducteur à « lever le pied » dans le virage pourrait être préjudiciable au contrôle du véhicule.

Les interfaces du système PARINA seront donc les suivantes :

Système	PARINA : cas de l'arrivée trop rapide sur virage dangereux	
2 niveaux d'alerte	Orange	Rouge
Situations	Orange : Virage dangereux à 150 m, vitesse inadaptée	Arrivée trop rapide sur virage dangereux
Interfaces visuelles (cas d'un virage à gauche)	 <p>"Ralentir Virage dangereux"</p>	
Interfaces visuelles (cas d'un virage à droite)	 <p>"Ralentir Virage dangereux"</p>	
Interface haptique		
Interfaces sonores	Néant	Buzzer

3.6.2. Description de l'application "arrivée sur virage" (Curve Warning)

La situation « arrivée trop rapide sur virage » repose essentiellement sur les données de navigation accessibles en temps réel. L'application développée a été baptisée « Curve Warning ».

Renault a défini une IHM permettant d'avertir le conducteur lors d'une arrivée trop rapide sur virage. Cette IHM a été présentée précédemment. Nous décrivons dans ce chapitre les outils logiciels développés pour mettre au point la prestation.

Nous avons tout d'abord vérifié que les courbures calculées (à partir d'une base de données cartographique) « correspondaient à la réalité du terrain ». Pour cette validation, des outils logiciels ont été développés qui permettent de mesurer la courbure à partir des moyens suivants :

- Gyroscope ESP : $\rho_{ESP} = v/\omega_{ESP}$
- Ecart de vitesse roues arrières : $\rho_{ARR} = \Delta v_{ARR}/voie*v$

Les résultats de ces deux mesures sont cohérents entre eux et ont permis de montrer que sur un parcours prédéfini (D91 de la sortie de l'A86 à CERNAY), la base de données était trop imprécise pour permettre le développement d'une application de type « Curve Warning ».

Une solution est donc proposée pour enrichir la data base (data base = base de données cartographique) et la prestation a été validée à partir de cette base de données enrichie. La solution développée donne des résultats prometteurs.

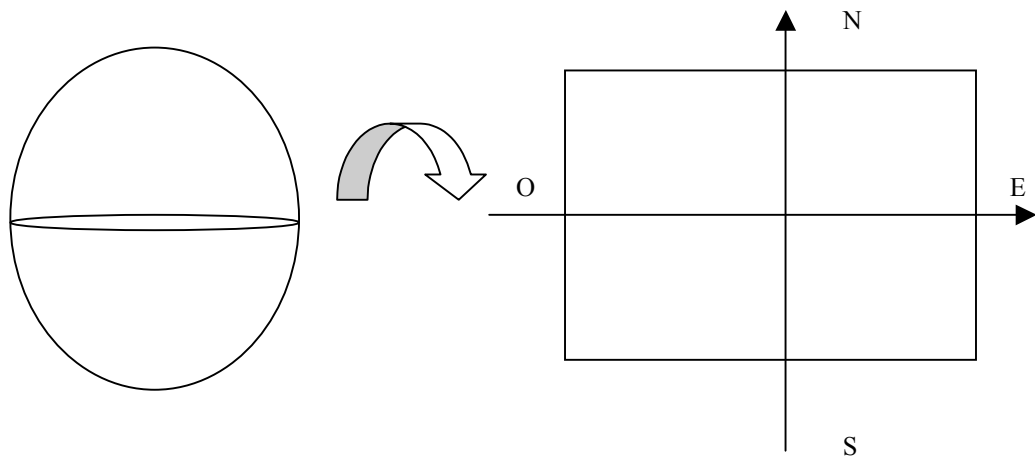
3.6.2.1. Enrichissement de la base de données cartographiques pour la mise au point de la prestation « Curve Warning »

Dans ce paragraphe nous expliquons pourquoi les bases de données cartographiques actuelles sont inappropriées pour la réalisation d'une prestation « Curve Warning » et comment nous avons contourné ce problème.

3.6.2.2. Courbure calculée

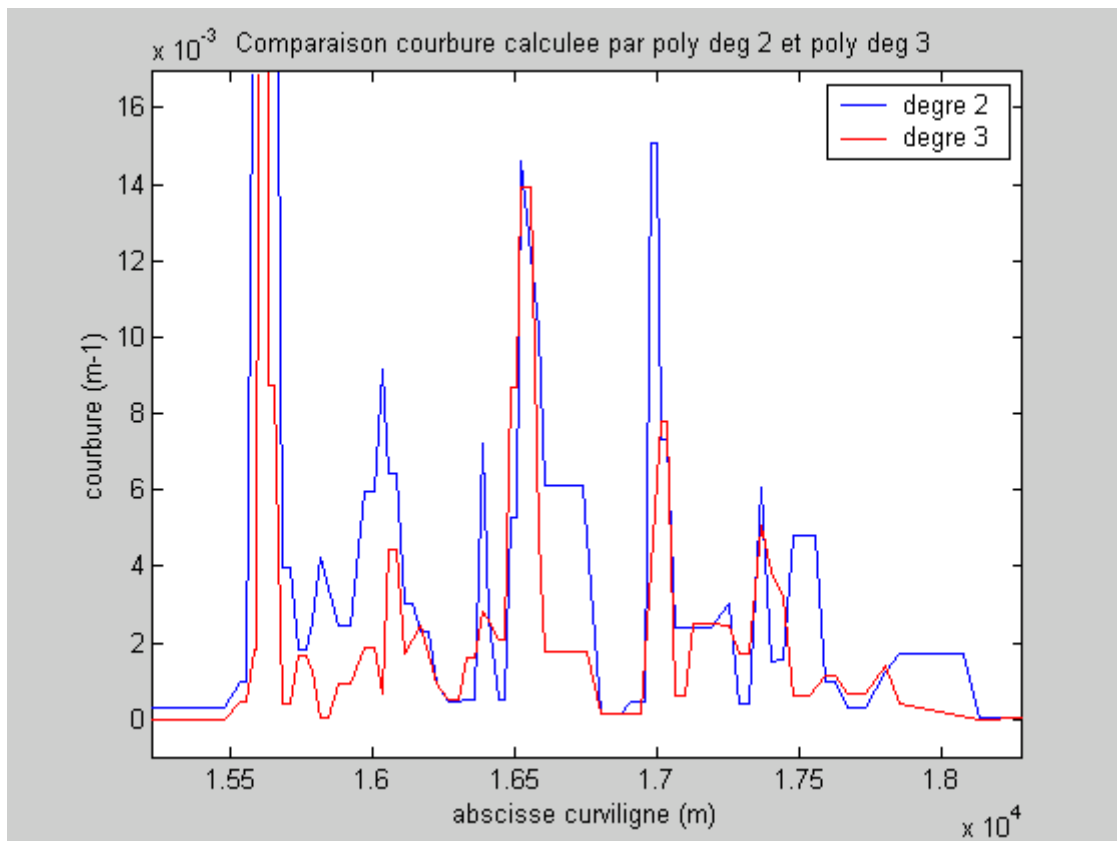
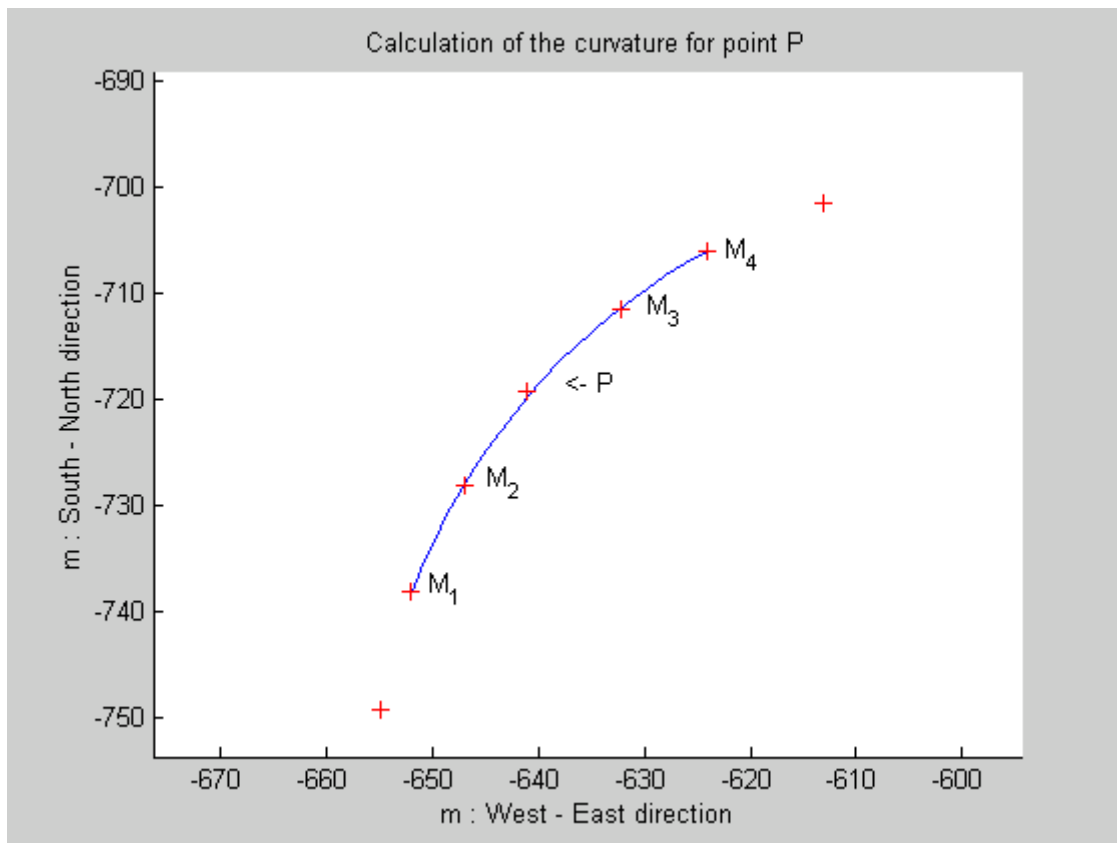
La courbure est calculée de la manière suivante :

> on projette les points à partir de leurs coordonnées {latitude ; longitude} dans un plan (Sud – Nord ; Ouest – Est) gradué en mètres



> on calcule ensuite la courbure au niveau de chaque shape point de la manière suivante : on fait passer un polynôme de degré « deg_poly » par « nb_points » (5 dans la figure ci dessous) et la courbure est calculée au point d'indice « ind_point » (3 dans la figure ci dessous)

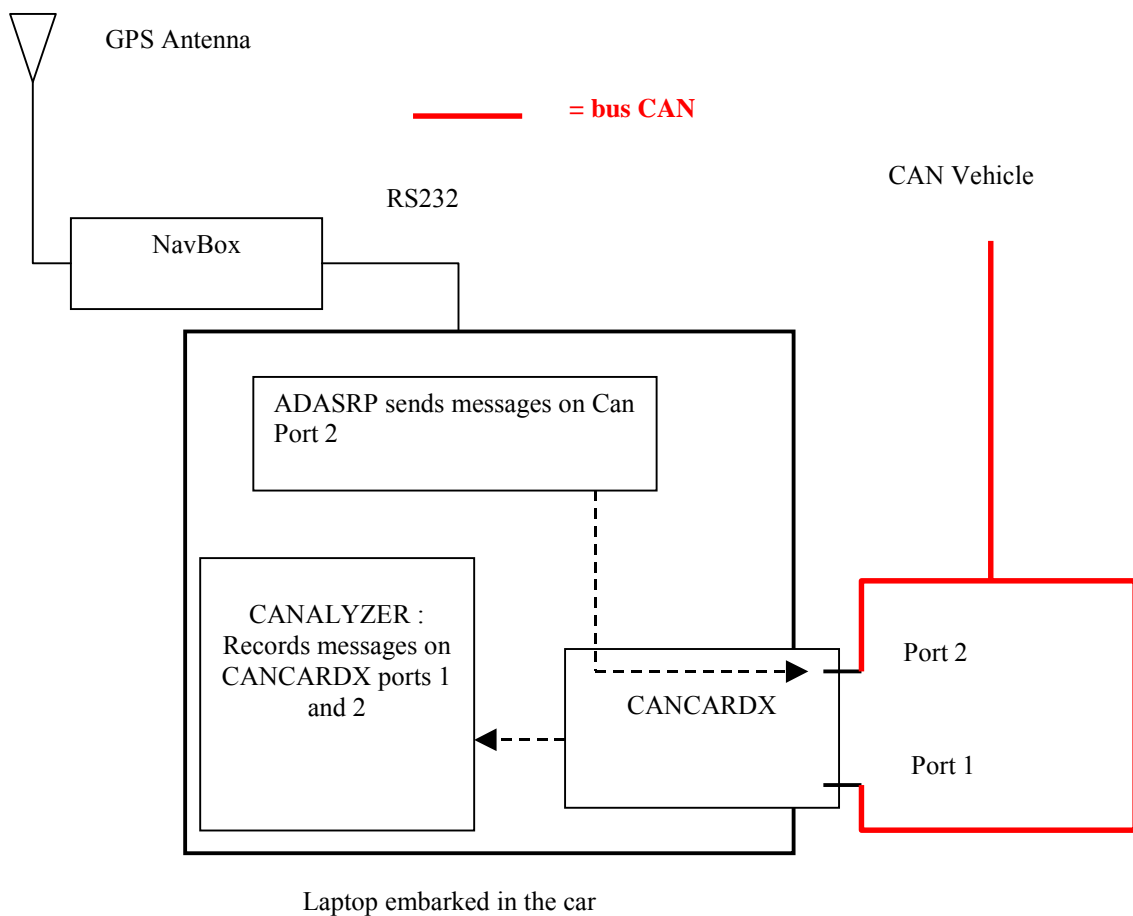
Remarque : comme le prouve les figures ci dessous (courbure calculée à partir de 5 points et un polynôme de degré 2 puis 3), la courbure calculée est fortement dépendante de la méthode de calcul utilisée. Les cartographes devront préciser une méthode de calcul s'ils prétendent que leurs bases de données sont suffisamment précises pour permettre d'en extraire des données de courbure.



3.6.2.3. Courbure mesurée

Equipement :

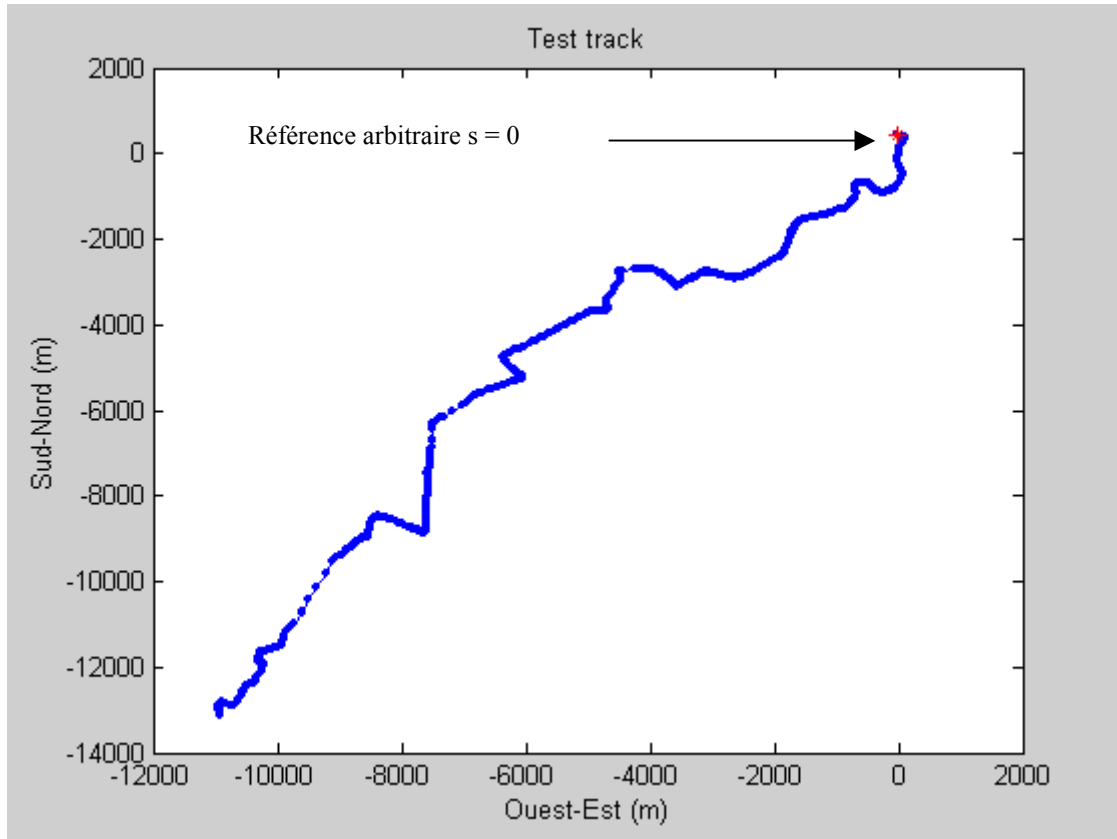
- véhicule type Laguna II
- Logiciel ADASRP (logiciel fourni par Navigation Technologies) + librairie « Curve Warning ». Le projet « Curve Warning » permet l'envoi sur le CAN des informations :
 - **GPSPosition** : {latitude ; longitude} « brute » (calculée par le capteur GPS)
 - **PositionMM** : {latitude ; longitude} map matchée
 - **EHPosition** : {latitude ; longitude} du prochain shape point.
- > Logiciel CANALYZER pour l'enregistrement des données envoyées par ADASRP et des données véhicule : vitesse, Δv_{ARR} , ω_{ESP}



3.6.2.4. Calcul de l'abscisse curviligne

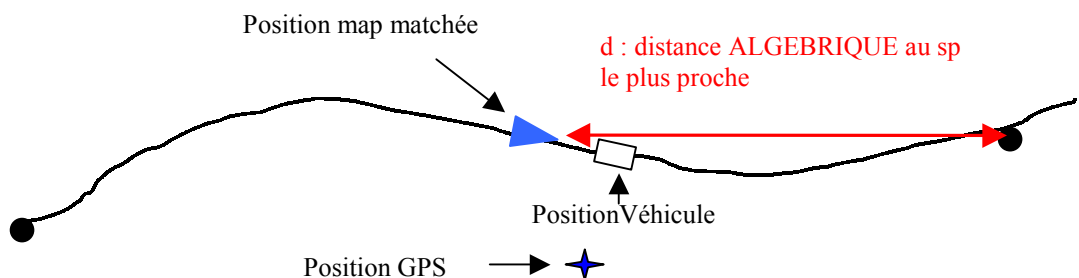
On définit tout d'abord une abscisse curviligne pour tous les shape points du trajet (en choisissant une référence arbitrairement)

Le trajet sur lequel nous avons travaillé est représenté ci dessous :



On connaît les instants t_{oesp} , $t_{\Delta vARR}$, $t_{vvehicule}$ (datation par CANALYZER) où les informations gyro ESP, écart de vitesse roues ARR et vitesse véhicule ont été envoyées sur le CAN (ces informations sont envoyées sur le CAN toutes les 40ms) ainsi que les instants t_{MM} (toutes les secondes) où la position MM est envoyée sur le CAN.

Pour calculer s_{MM} , abscisse curviligne aux instants t_{MM} , on recherche le shape point le plus proche de notre position MM et on déduit s_{MM} de l'abscisse curviligne de ce shape point et de la distance d nous en séparant.



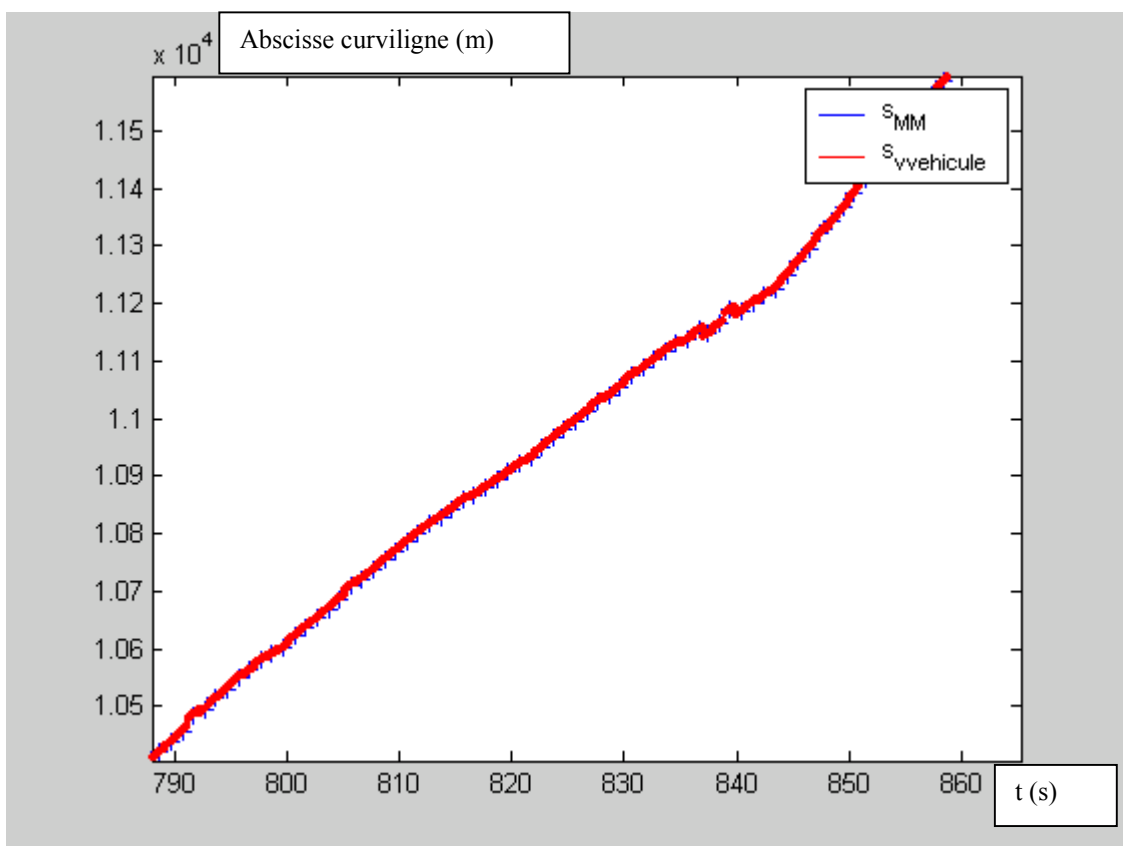
$$s_{MM}(t_{MM}) = s_{\text{shape point}} + d$$

Connaissant l'abscisse curviligne s_{MM} aux instants t_{MM} , on calcule l'abscisse curviligne s_{vehicule} aux instants t_{vehicule} (instants où l'information vitesse véhicule a été envoyée sur le CAN) de la manière suivante :

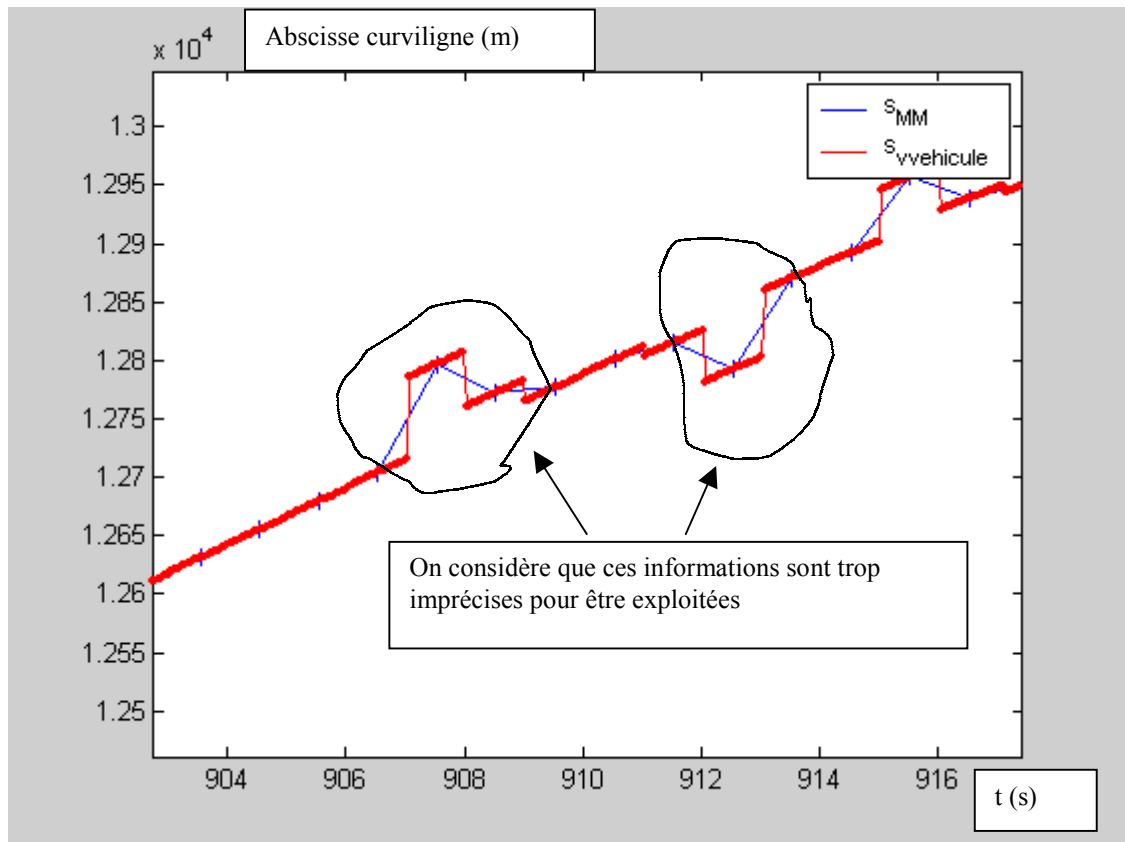
On recherche l'instant t_{MM} le plus proche de t_{vehicule}

On en déduit s_{vehicule} :

$$s_{\text{vehicule}} = s_{MM} + \int_{t_{MM}}^{t_{\text{vehicule}}} v_{\text{vehicule}}(t) dt$$



Comme le prouve la figure ci dessus, « la plupart du temps » $s_{v\text{vehicule}}$ et s_{MM} sont proches. Mais il arrive (en raison de sauts dans l'information position GPS) que $s_{v\text{vehicule}}$ et s_{GPS} soient très différents :

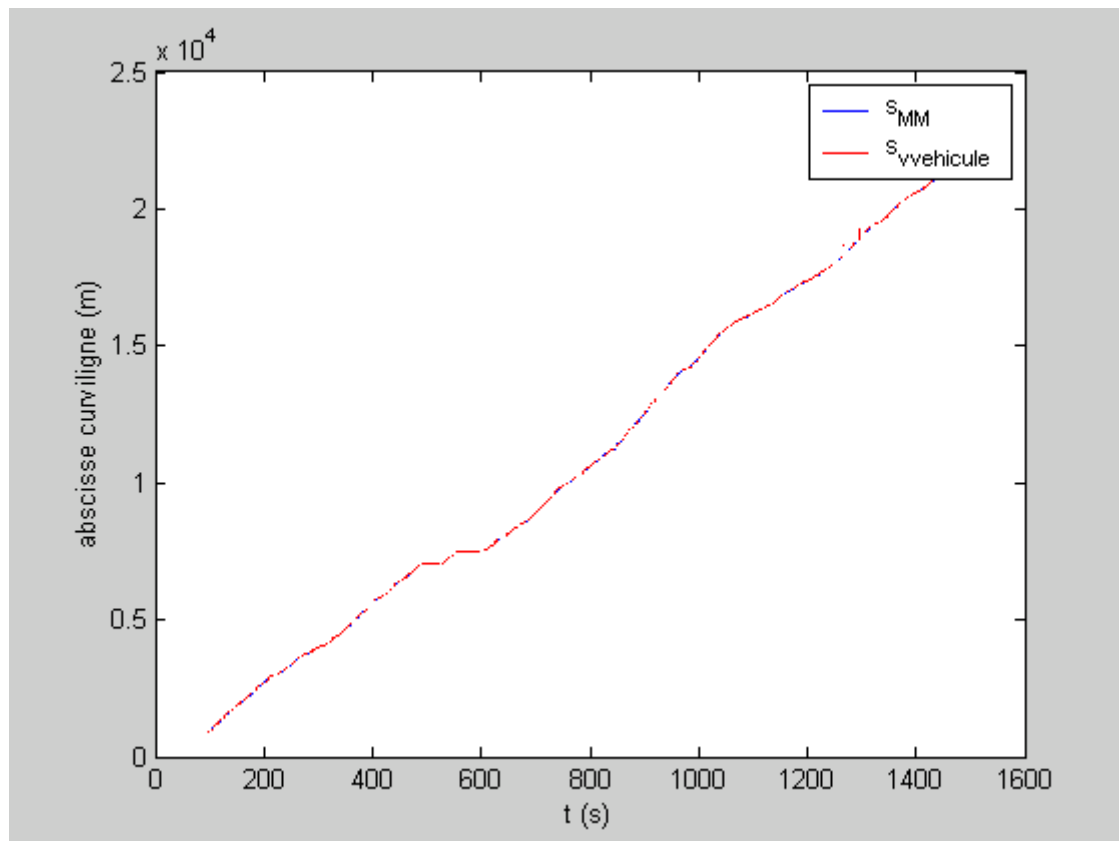


L'information « Position MM » étant imprécise aux instants où il y a des sauts, nous proposons de :

- calculer une abscisse s_{MMprime} aux instantes $t_{\text{MMprime}}(n) = [t_{\text{MM}}(n) + t_{\text{MM}}(n+1)] / 2$ de la manière suivante :

$$s_{\text{MMprime}}(t_{\text{MMprime}}(n)) = [s_{\text{MM}}(t_{\text{MM}}(n)) + s_{\text{MM}}(t_{\text{MM}}(n+1))] / 2$$
- si aux instants $t_{\text{MMprime}}(n)$, $|s_{\text{MMprime}} - s_{v\text{vehicule}}| > d_{\text{min}} = 2\text{m}$, on considère que toutes les informations d'abscisse curviligne entre $[t_{\text{MM}}(n) ; t_{\text{MM}}(n+1)]$ sont invalides.

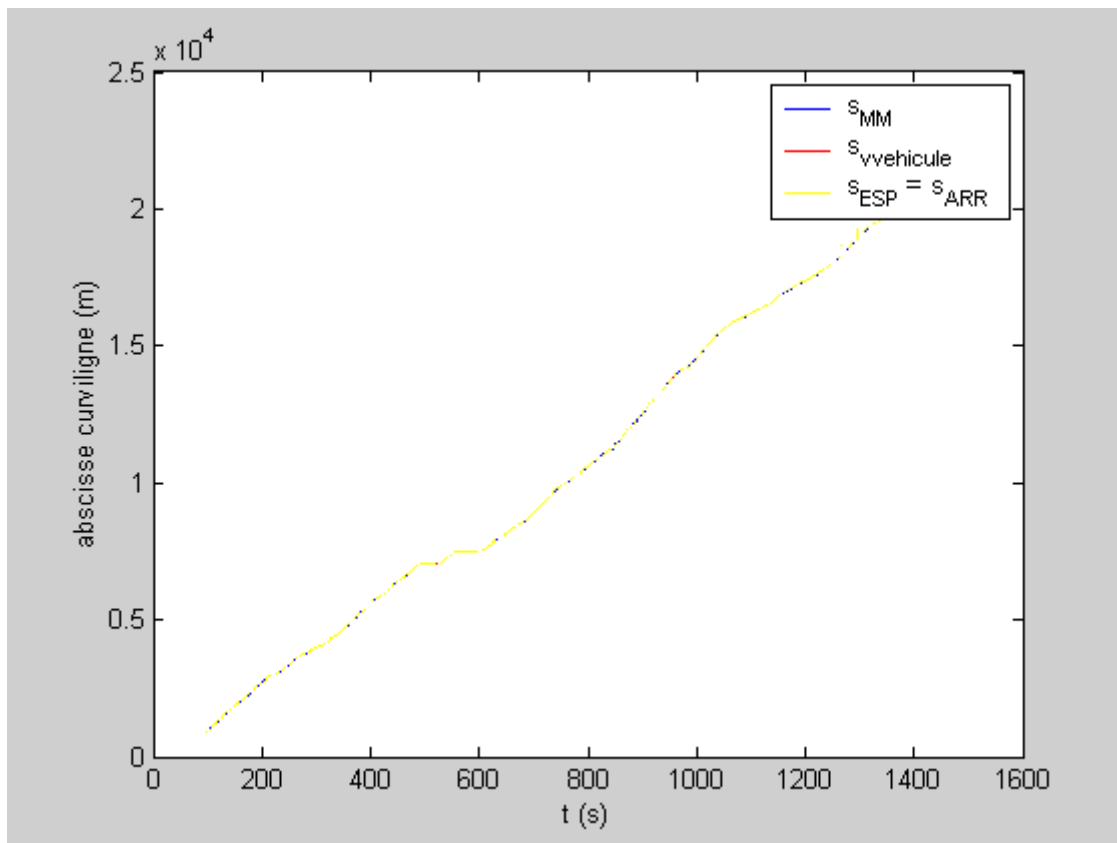
De cette manière nous avons enlevé tous les points pour lesquels le positionnement semblait « douteux ».



Connaissant $s_{vvehicule}$ il faut maintenant calculer $s_{wESP} = s_{\Delta vARR}$, abscisse curviligne aux instants $t_{wESP} = t_{\Delta vARR}$ (toutes les 40 ms). On rappelle que l'information $v_{vehicule}$ est envoyée dans la trame CAN FREINS_BASE_RAPIDE et les informations gyro ESP et Δv roues ARR sont envoyées dans la trames FREINS_ACC (soit à des instants différents).

La méthode est identique pour ces trois calculs d'abscisse curviligne. Pour calculer s_{truc} , abscisse curviligne à l'instant t_{truc} :

- on recherche les deux instants les plus proches de t_{truc} : $\{t_{vvehicule}(1) < t_{truc} < t_{vvehicule}(2)\}$
- on en déduit : $s_{truc} = s_{vvehicule}(t_{vvehicule}(1)) + s_{vvehicule}(t_{vvehicule}(2)) * [t_{truc} - t_{vvehicule}(1)] / [t_{vvehicule}(2) - t_{vvehicule}(1)]$



Les abscisse curvilignes ainsi définies sont bien proches les unes des autres.

3.6.2.5. Calcul des courbures ρ_{ESP} , ρ_{ARR}

- $\rho_{ESP} = v / w_{ESP}$
- $\rho_{ARR} = \Delta v_{ARR} / \text{voie} * v$

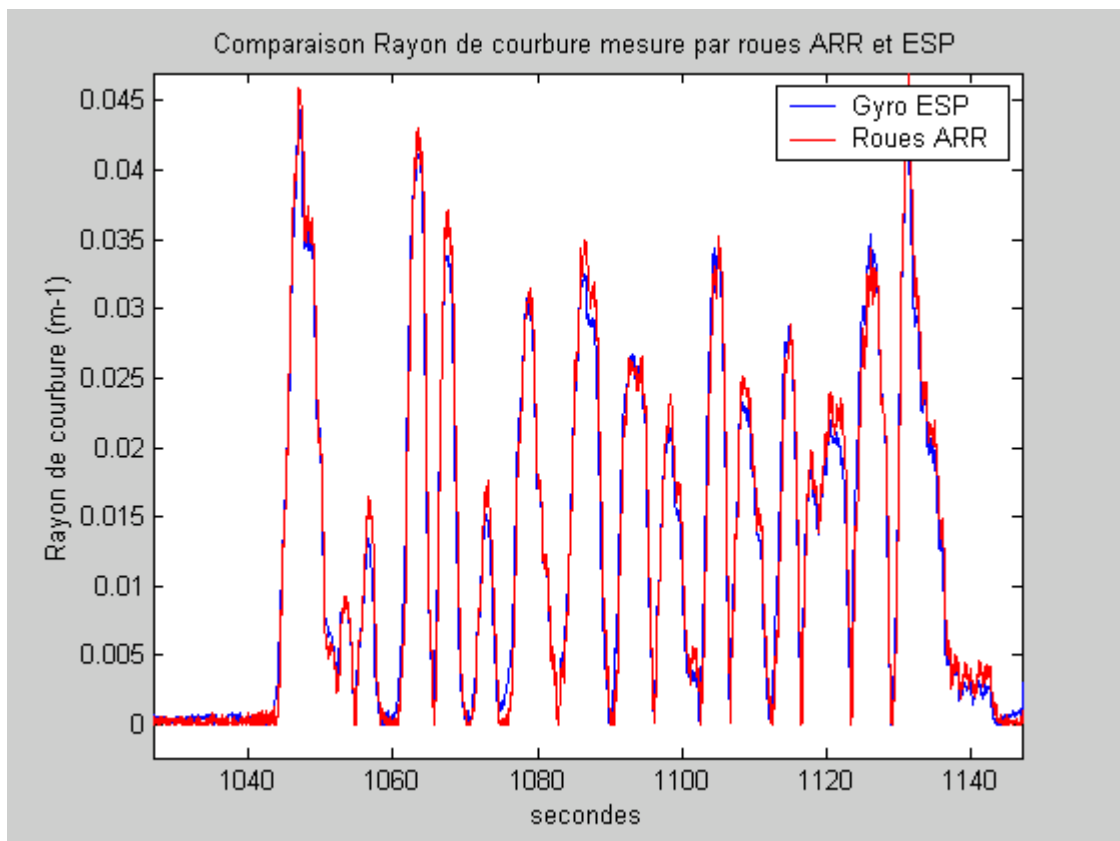
Nous choisissons de calculer ces courbures aux instants $t_{wESP} = t_{\Delta v_{ARR}}$, c'est à dire aux instants où l'on dispose des informations gyro et Δv_{ARR}

L'informations vitesse véhicule est disponible aux instants $t_{vvehicule}$.

On commence donc par calculer $v_{\rho_{ESP}} = v_{\rho_{ARR}}$, vitesse véhicule aux instants $t_{\Delta v_{ARR}} = t_{wESP}$.
Pour calculer la vitesse véhicule v_{truc} aux instants t_{truc} :

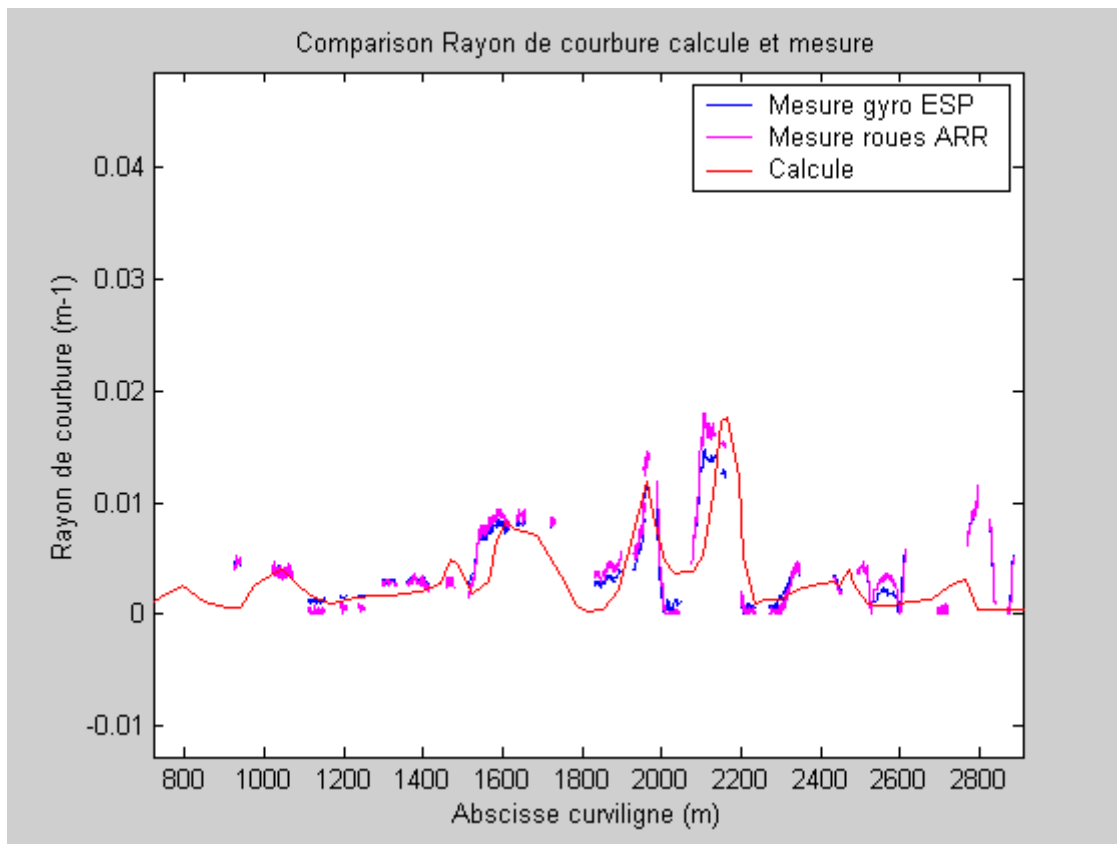
- on recherche les deux instants les plus proches de t_{truc} : $\{t_{vvehicule}(1) < t_{truc} < t_{vvehicule}(2)\}$
- on en déduit : $v_{truc} = v_{vehicule}(t_{vvehicule}(1)) + v_{vehicule}(t_{vvehicule}(2)) * [t_{vvehicule}(2) - t_{vvehicule}(1)] / [t_{truc} - t_{vvehicule}(1)]$

Mesure-t-on ainsi la courbure avec une bonne précision ? Oui « à vue de nez », comme le prouve la figure suivante :

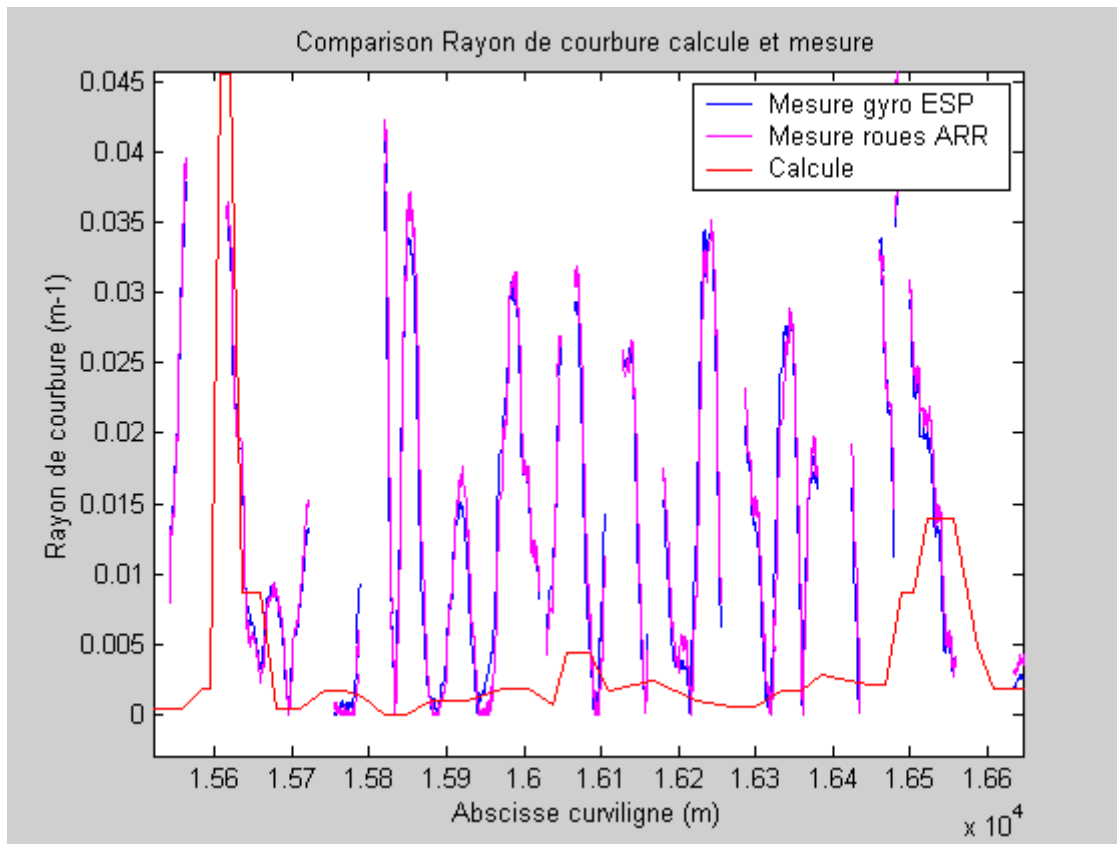


3.6.2.6. Comparaison rayon de courbure calculé et mesuré

On observe que si courbure calculée et mesurée sont parfois « du même ordre de grandeur »,



la plupart du temps, courbure calculée et mesurée sont très différentes :



Sans faire d'analyse statistique complexe, nous constatons que la courbure calculée est très différente de la courbure mesurée (dans un ordre de grandeur visiblement supérieur à l'imprécision de mesure). Nous en déduisons que la base de données cartographiques est imprécise et qu'il est illusoire de prétendre récupérer des informations de courbure via une base de données cartographique.

3.6.2.7. Enrichissement de la base de données cartographiques pour la MAP de la prestation « Curve Warning » - Réalisation technique de la prestation

ADASRP permet (via le mécanisme des « Look Aside Table ») d'enrichir une base de données sur un parcours pré défini.

Une LAT a donc été créée sur le trajet D91 de l'A86 à CERNAY. Cette LAT contient une information « v_{curve} » (paramètre K dans la figure ci dessous – remarque : $K = v_{\text{curve}} / 1000$).

```
</Segment>
<Segment DBID0="0x60380436" DBID1="0x647e1a10" Points="6">
<GeometryInformation>
<Point N="0" Lon="2.0715300" Lat="48.7624200" K="0.0535082" />
<Point N="1" Lon="2.0719800" Lat="48.7622200" K="0.0403265" />
<Point N="2" Lon="2.0721000" Lat="48.7622500" K="0.0365189" />
<Point N="3" Lon="2.0722400" Lat="48.7622600" K="0.0318216" />
<Point N="4" Lon="2.0723600" Lat="48.7622500" K="0.0317181" />
<Point N="5" Lon="2.0724900" Lat="48.7622200" K="0.0363313" />
</GeometryInformation>
```

figure : extrait de la LAT

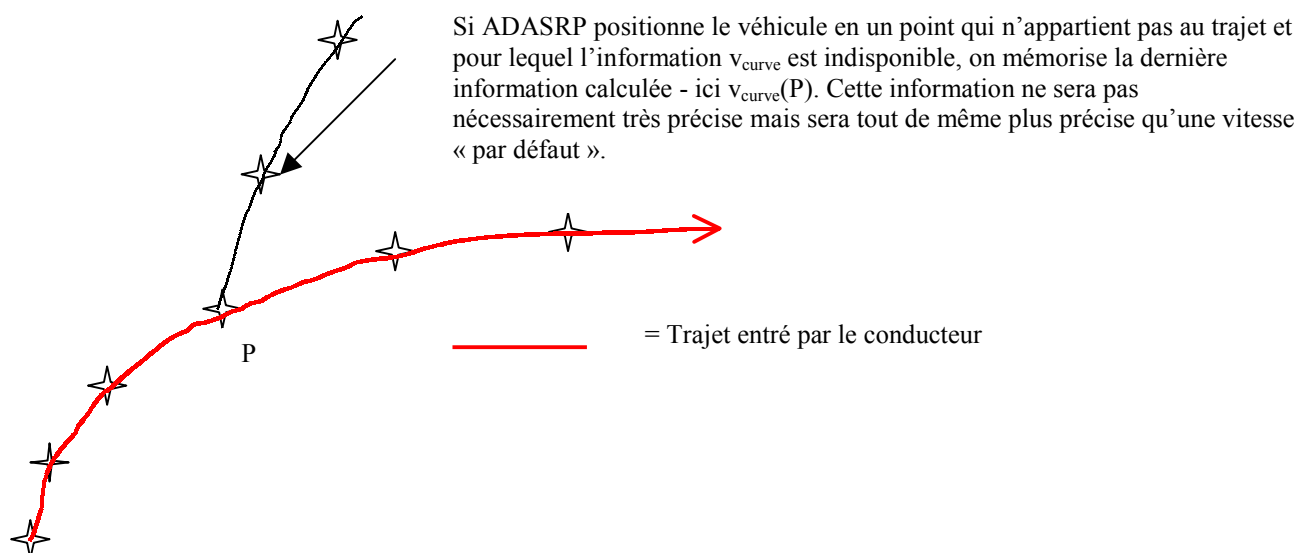
A partir des courbures mesures, nous avons calculé une vitesse v_{curve} « adaptée à la courbure ρ de la route » i.e. qui vérifie :

$$v_{\text{curve}}^2 / \rho < \gamma_{\text{lat}}$$

γ_{lat} , est l'accélération latérale maximale au dessus de laquelle on considère que la sensation de confort est négative (2 ms^{-2}).

Remarque :

- si le shape point fait partie de la LAT, l'information v_{curve} est retirée su fichier xml
- si le shape point ne fait pas partie de la LAT, est mémorisée l'information v_{curve} associée au dernier shape point calculé faisant partie de la LAT.



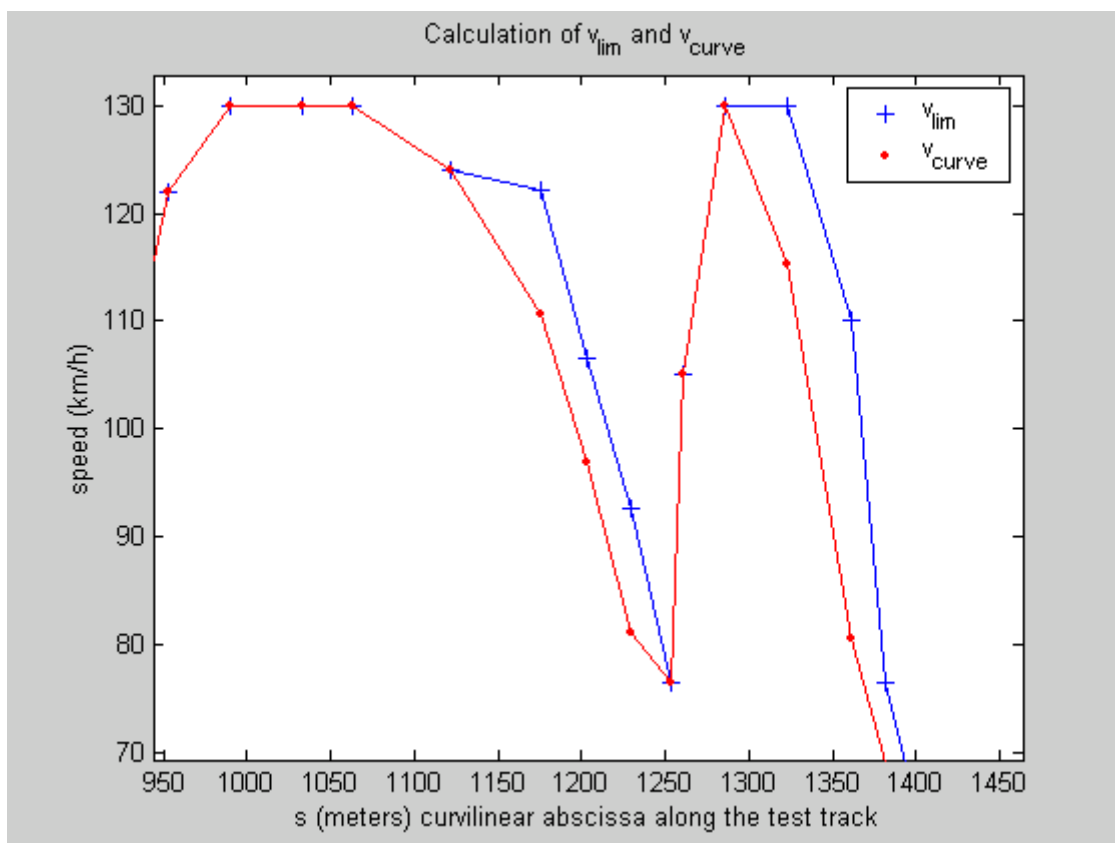
→ si le shape point ne fait pas partie de la LAT et qu'aucun des shape points précédemment calculés ne faisaient partie de la LAT, $v_{curve} = 0$

ADASRP calcule une position véhicule par seconde. Une nouvelle information v_{curve} est donc disponible toutes les secondes.

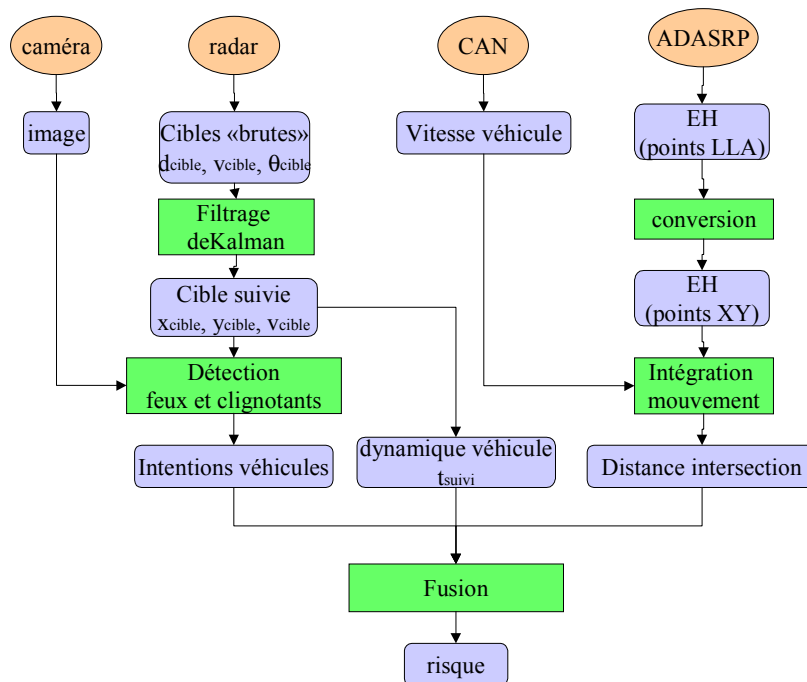
Le calcul de v_{curve} s'effectue en deux étapes. Nous calculons d'abord en chaque shape point

$P : v_{lim}(P) = \min \left(\sqrt{\frac{\gamma_{lateral}}{\rho_{mesure}(P)}}, v_{legale} \right)$. Puis, v_{curve} est calculé à partir de v_{lim} en prenant en

compte $\gamma_{deceleration}$ décélération maxi appliquée par les conducteur hors freinage d'urgence (3 ms^{-2}). Cette étape est essentielle étant donné que $v_{lim}(s)$ est une fonction d'allure plutôt « chaotique ». De plus l'objectif de la prestation étant de prévenir en cas d'arrivée trop rapide sur virage, il est essentiel d'avoir des vitesses de consignes faibles dans les lignes droites précédant les virages.



3.6.3. Arrivée sur véhicule s'appêtant à tourner (simulation)

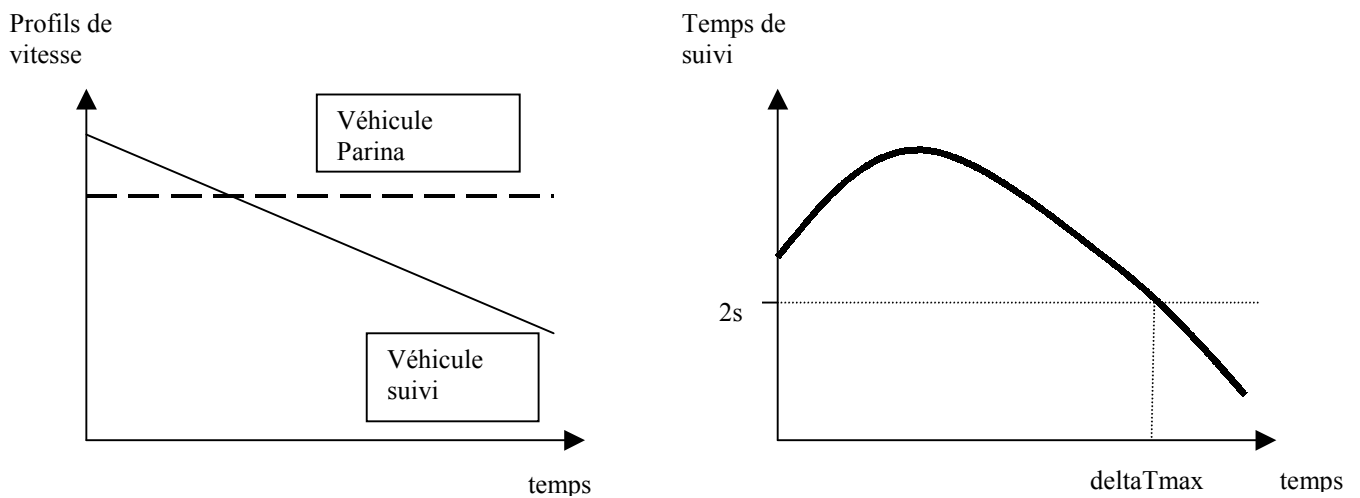


Nous cherchons dans ce scénario à détecter lors d'une approche d'intersection la présence d'un véhicule nous précédant, et ses intentions éventuelles de tourner à cette intersection.

La source de danger dans ce scénario repose sur le ralentissement possible du véhicule qui nous précède, augmentant le risque de collision si notre propre véhicule ne respecte pas les distances et vitesses de sécurité.

Grâce aux traitements décrits ci-dessus, nous disposons pour chaque image de la distance qui nous sépare de la prochaine intersection, de la présence des différents véhicules ainsi que leur position, leur vitesse et leurs éventuelles intentions de tourner.

La détection de situation dangereuse dépend ensuite des critères de suivi choisis. Une première solution simple consiste à considérer le seul temps de suivi instantané des véhicules, et de considérer comme dangereuse toute situation où ce temps de suivi devient inférieur à deux secondes (limite conseillée par la sécurité routière).



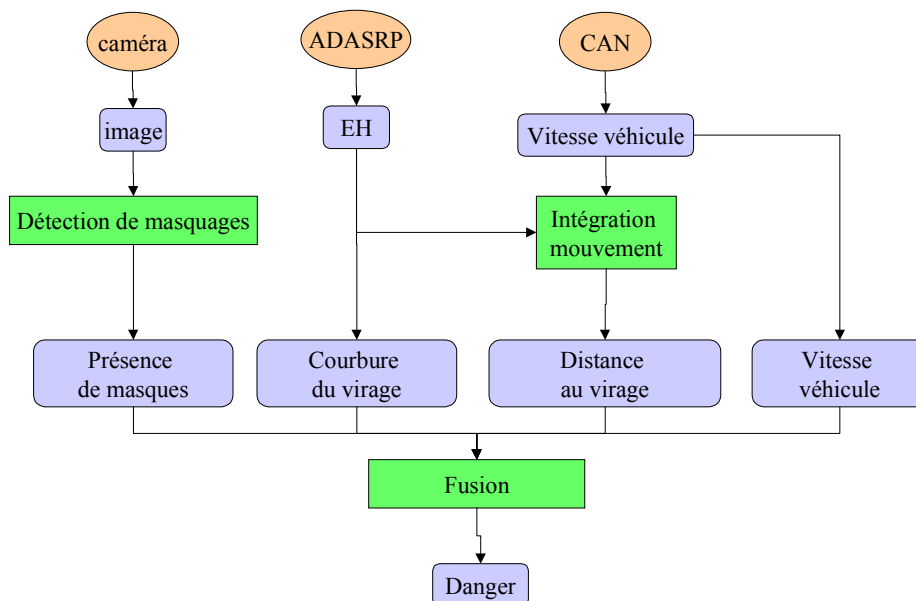
Si $\Delta T_{max} < \text{temps d'approche de l'intersection du véhicule suivi}$: critère de temps de suivi non respecté

Il est également possible d'évaluer le temps de suivi de notre véhicule sur toute l'approche de l'intersection, en simplifiant la stratégie de la voiture cible sous la forme d'une décélération constante de façon à s'arrêter sur l'intersection (cette hypothèse correspond au «pire cas » lors d'une approche d'intersection, la décélération la plus courante étant en général d'abord faible au cours de l'approche et plus forte en fin d'approche).

La sortie de l'évaluateur de risque a alors trois états possibles :

- état «sécurité » si le critère de temps de suivi est respecté
- état « doute » si le critère n'est pas respecté mais que le véhicule n'a pas manifesté d'intentions de tourner
- état « danger » si le critère n'est pas respecté et que l'on a détecté un clignotant et/ou des feux stop.

3.6.4. Arrivée trop rapide sur virage (simulation)



Le scénario d'arrivée sur virage est plus simple à traiter puisqu'il ne fait intervenir que l'infrastructure, et ne requiert donc pas d'analyser les intentions ou la dynamique d'autres véhicules.

Les deux critères de dangerosité sont donc la visibilité sur virage et le respect d'une vitesse de consigne définie par la courbure du virage (l'accélération transversale V^2/R ne devant pas dépasser les 3m/s^2 pour des raisons de confort et de sécurité).

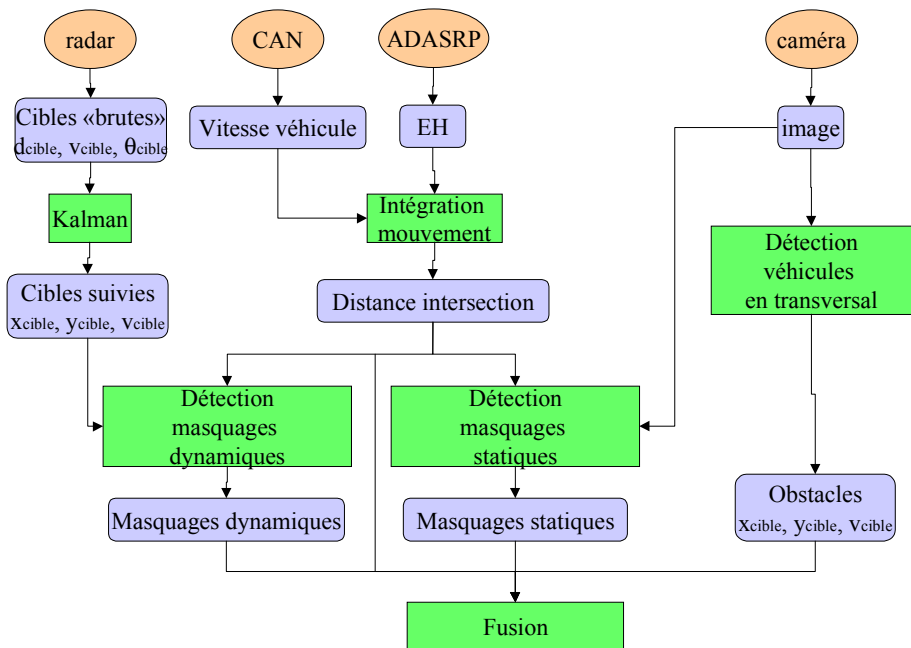
Encore une fois la sortie de l'évaluateur de danger a trois états possibles :

- état « sécurité » si la vitesse respecte les contraintes de sécurité ou si le virage est visible et suffisamment éloigné pour permettre une décélération confortable (inférieure à 3m/s^2) pour revenir dans les critères de sécurité.
- état « doute » si la vitesse ne respecte pas les contraintes de sécurité et que le virage semble masqué, mais que la distance au virage permette toujours une décélération raisonnable
- état « danger » si la vitesse ne respecte pas les contraintes de sécurité et que la décélération requise pour y remédier dépasse les 3m/s^2 . Et cela quelle que soit la visibilité sur le virage.

3.6.5. Arrivée sur intersection

Les trois états de sortie de l'évaluateur de danger sont :

- état « sécurité » si aucun véhicule n'est détecté et que la visibilité sur l'intersection est jugée bonne
- état « doute » si un véhicule est détecté mais que la distance à l'intersection permet un arrêt sur l'intersection dans des conditions confortables, ou si aucun véhicule n'est détecté mais que la visibilité sur intersection est jugée mauvaise.
- état « danger » si un véhicule est détecté sur l'intersection et exige une décélération d'urgence



4. EXPERIMENTATION ET VALIDATION

4.1. Acquisition de données de validation

4.1.1. Arrivée trop rapide sur véhicule s'appêtant à tourner

4.1.1.1. Scénario 1

L'objectif des ces scénarios est de :

- valider que la détection de feux stops et de clignotant est opérationnelle. C'est pourquoi nous travaillons avec des véhicules de couleurs différentes (afin de valider les algorithmes de détection feux stops) et sur des segments orientés différemment (afin de valider les algorithmes de détection clignotants pour des conditions d'éclairage différentes).
- valider que la détection clignotants droits et gauche fonctionne correctement
- valider que l'on sait détecter les clignotants droits et gauche en cas d'intersection dans un virage.

Lieux : cf segments en surbrillance. La flèche donne le sens de parcours du véhicule PARINA

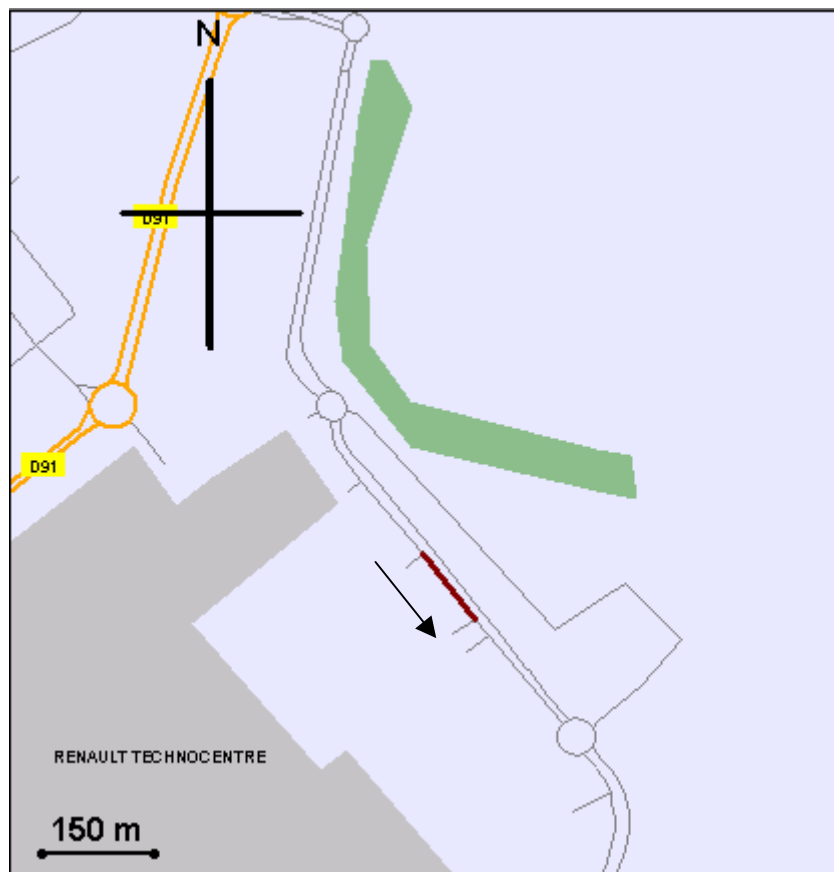


Fig 1A

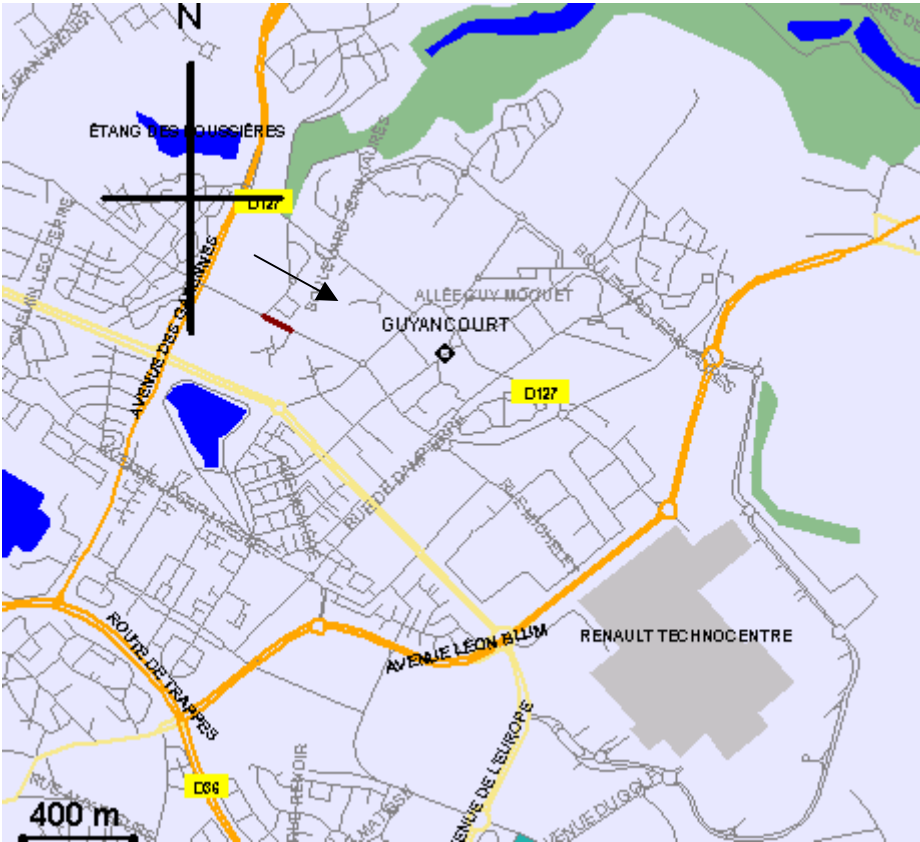


Fig 1B

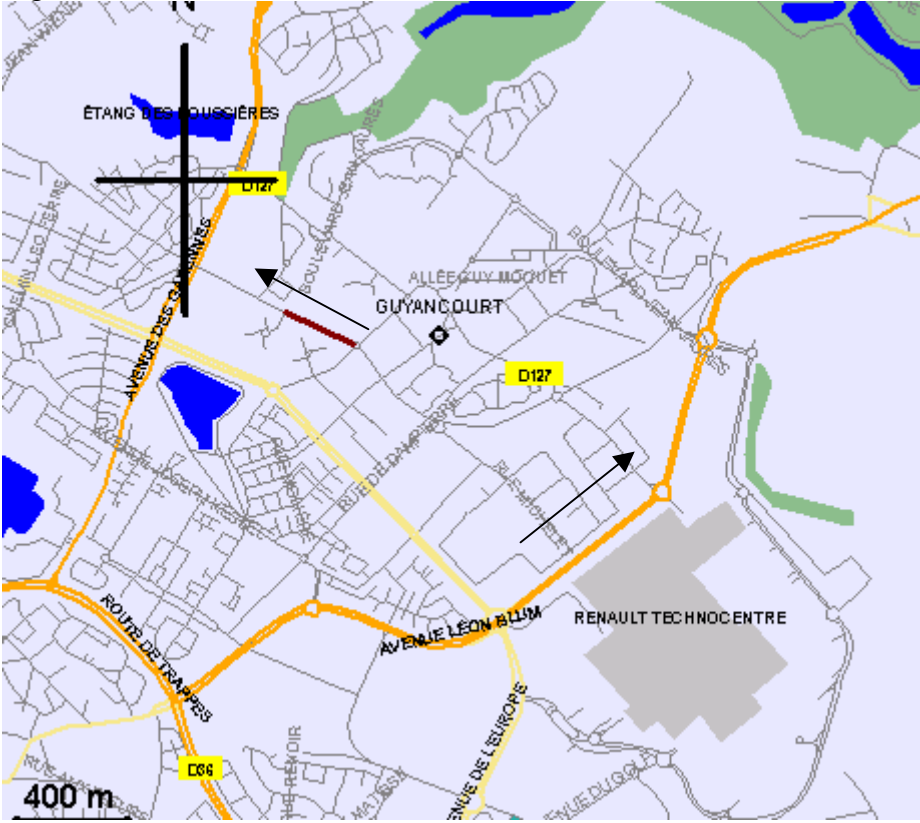


Fig 1C

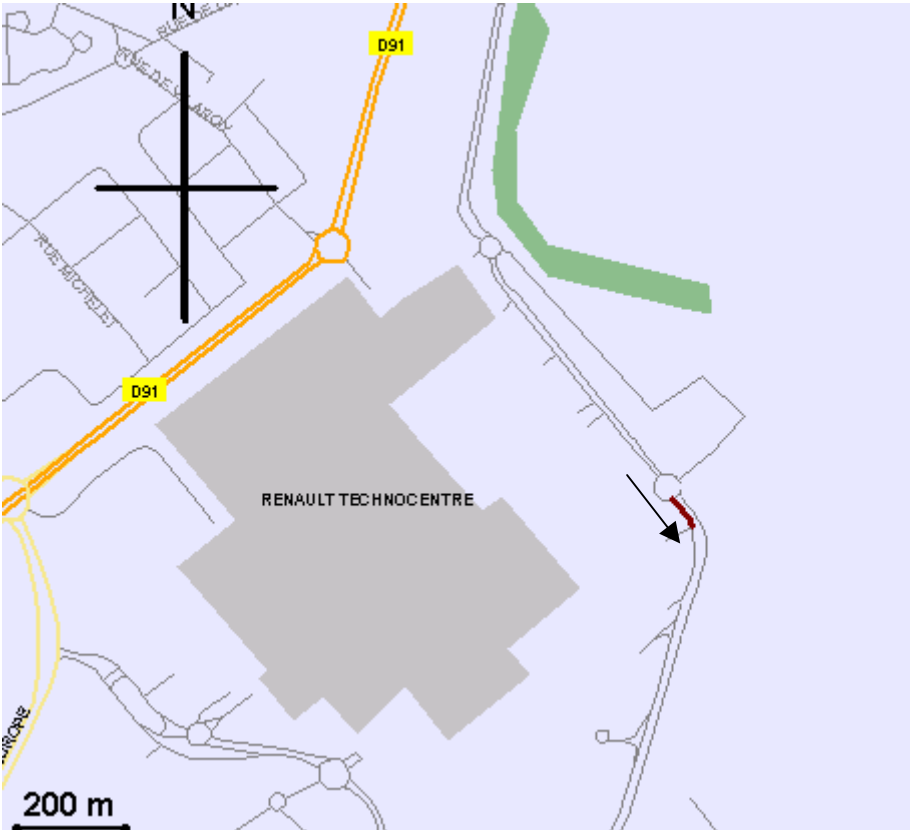


Fig 1D

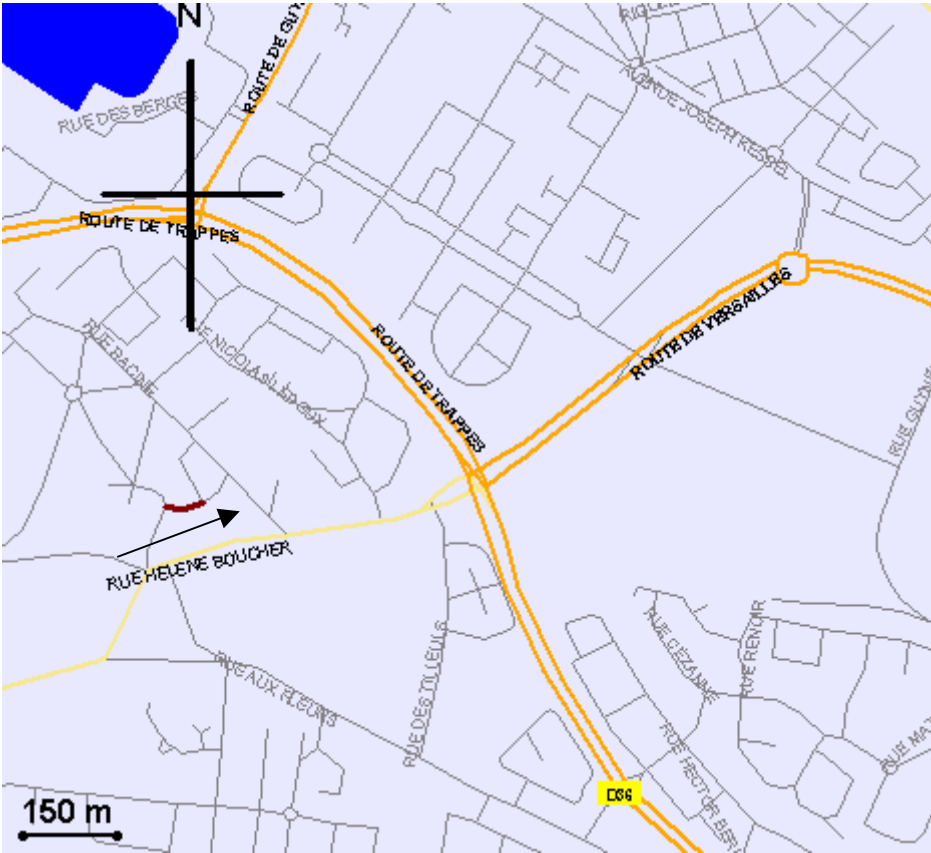
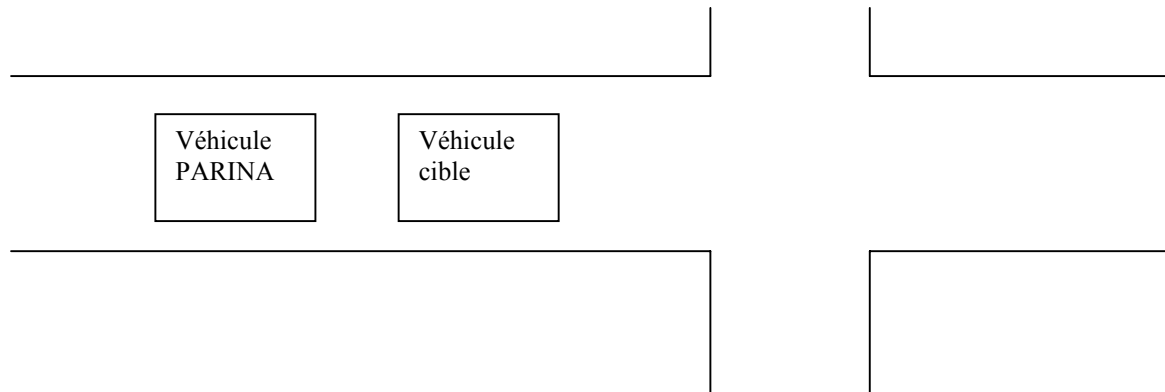


Fig 1E

Pour tous les scénarios **le véhicule cible est toujours dans la voie du véhicule PARINA.**



Objectif des scénarios pour la figure 1A : valider que la détection de feux stops fonctionne avec un véhicule de couleur rouge. Plusieurs passages seront effectués :

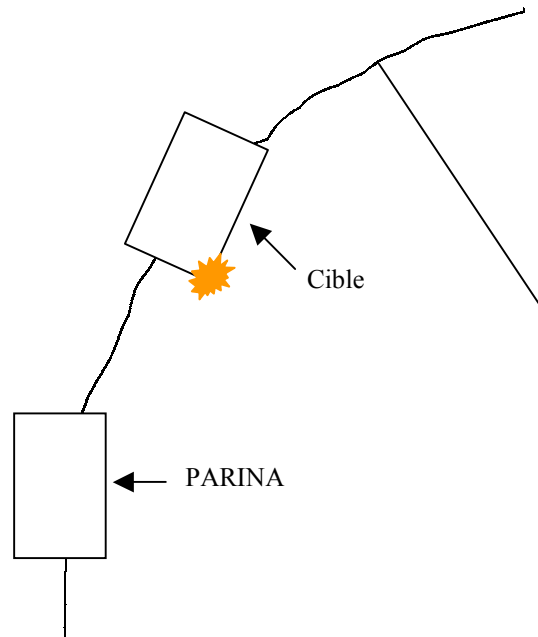
- a) le véhicule PARINA est loin du véhicule cible et ce dernier :
- tourne en mettant son clignotant et en freinant
 - tourne sans mettre de clignotant mais en freinant
 - tourne en mettant son clignotant mais sans freiner
 - ne tourne pas
- b) mêmes scénarios que ci dessus avec un véhicule cible proche du véhicule PARINA.

Pour tous les scénarios ci dessous on utilisera un véhicule qui n'est pas rouge.

Objectif des scénarios pour les figure 1B, 1C : profiter des deux orientations différentes pour valider que la détection clignotants est opérationnelle quelles que soit les conditions d'éclairage. Plusieurs passages seront effectués :

- a) le véhicule PARINA est loin du véhicule cible et ce dernier
- tourne en mettant son clignotant et en freinant
 - tourne sans mettre de clignotant mais en freinant
 - tourne en mettant son clignotant mais sans freiner
 - ne tourne pas
- b) mêmes scénarios que ci dessus avec un véhicule cible proche du véhicule PARINA.

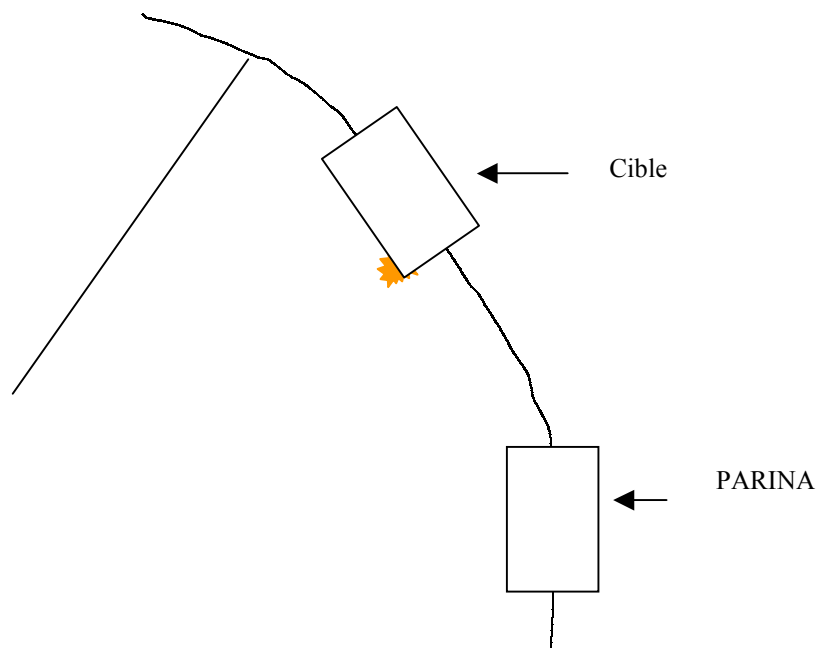
Objectif des scénarios pour la figure 1D : valider que l'on sait détecter un clignotant droit (et la présence feux stops) lorsque le véhicule tourne à droite dans un virage incurvé vers la droite.



Les feux stops et le clignotant du véhicule cible sont « ON ». Les algorithmes de détection sont testés dans 2 situations :

- véhicule cible loin du véhicule PARINA
- véhicule cible près du véhicule PARINA

Objectif des scénarios pour la figure 1E : valider que l'on sait détecter un clignotant gauche (et la présence feux stops) lorsque le véhicule tourne à gauche dans un virage incurvé vers la gauche.



Les feux stops et le clignotant du véhicule cible sont « ON ». Les algorithmes de détection sont testés dans 2 situations :

- véhicule cible loin du véhicule PARINA
- véhicule cible près du véhicule PARINA

4.1.1.2. Scénario 2

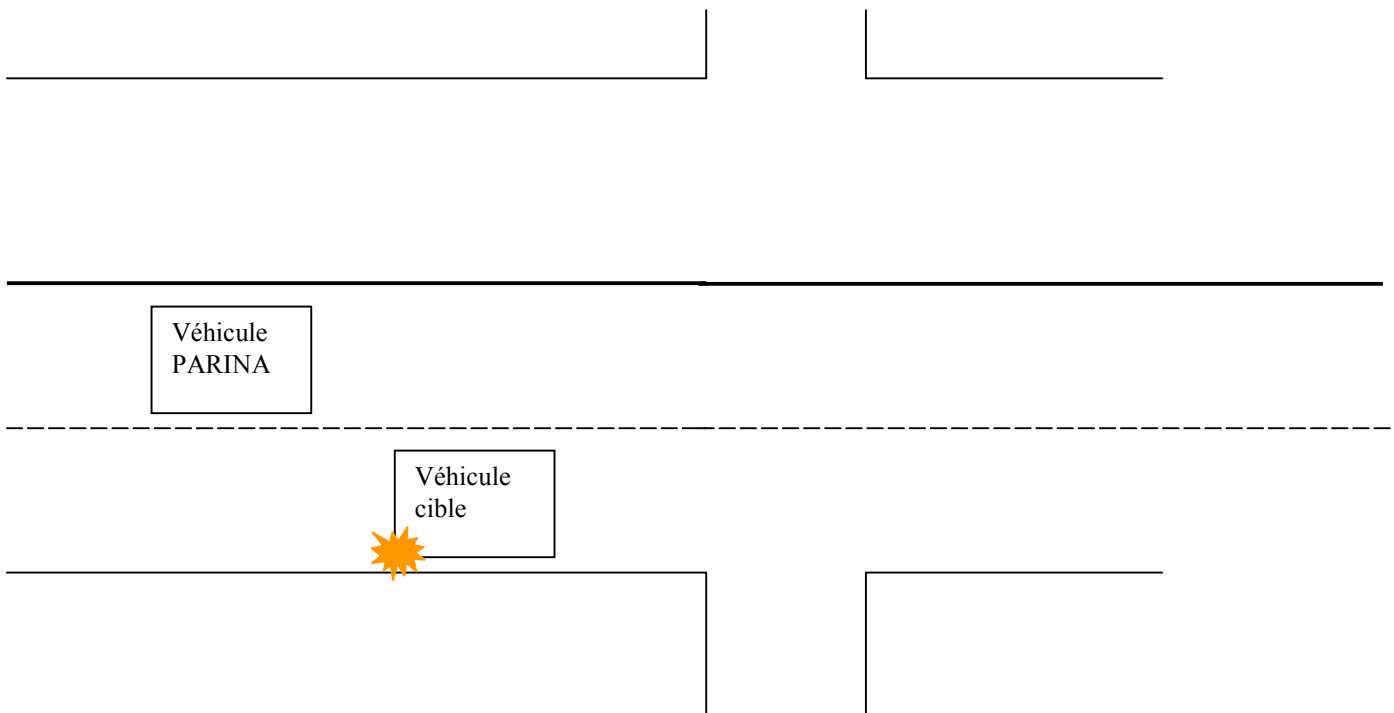
L'objectif de ces scénarios est de valider que la détection du véhicule dans la voie fonctionne correctement.

Lieu : cf Fig 1A et Fig 1D

Le véhicule cible tourne et le véhicule PARINA le dépasse au niveau de l'intersection. Plusieurs situations seront testées :

véhicule cible loin du véhicule PARINA
véhicule cible près du véhicule PARINA

Dans ces deux situations, le véhicule cible tourne effectivement



Ces scénarios seront joués aux lieux :

fig 1A : pour valider qu'en ligne droite la détection est opérationnelle
fig 1D : pour valider qu'en courbe également ...

4.1.2. Arrivée trop rapide sur virage

Le trajet sur lequel cette fonction doit être testée est la D91 de la sortie de l'A86 jusqu'à Cernay-La Ville.

4.1.3. Arrivée trop rapide sur intersection

L'objectif des scénarios est de valider :

- que l'on sait détecter les masquages statiques (i.e. déterminer si toutes les voies de l'intersection sont visibles)
- que l'on sait détecter les masquages dynamiques (i.e. qu'un véhicule nous précédant dans la voie masque l'intersection). Cette validation n'aura lieu qu'aux lieux 3A1 et 3A2.
- que l'on sait détecter qu'un véhicule rentre dans la voie
- que l'on sait détecter les marquages au sol

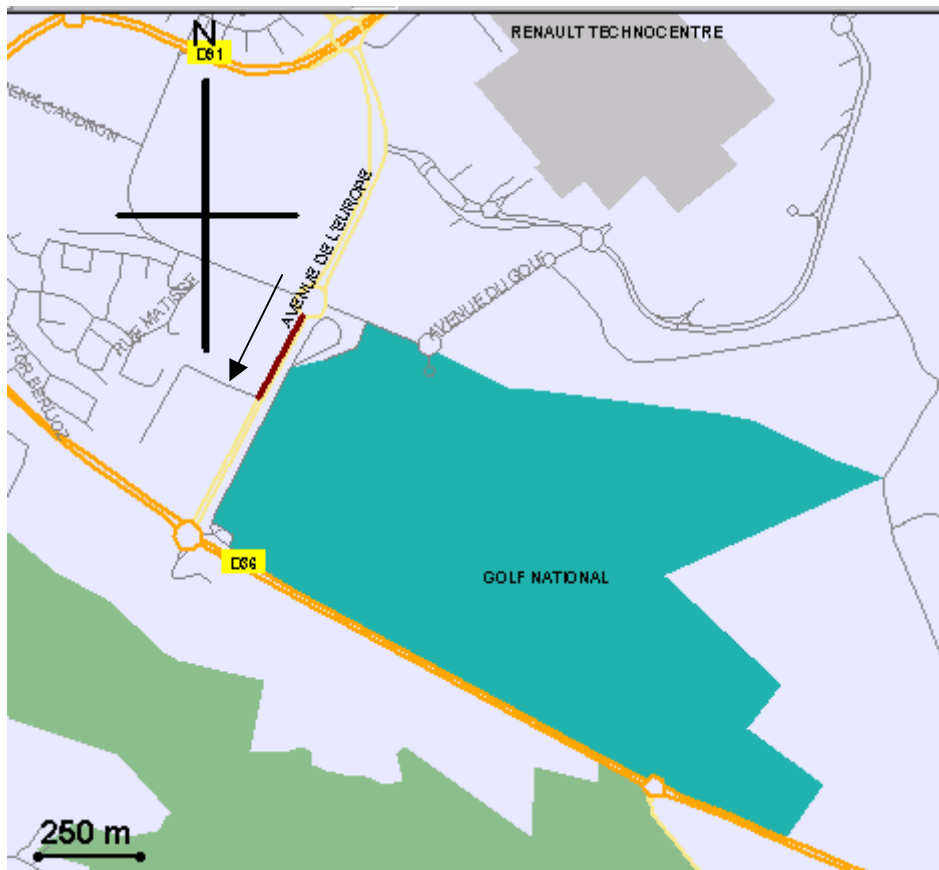
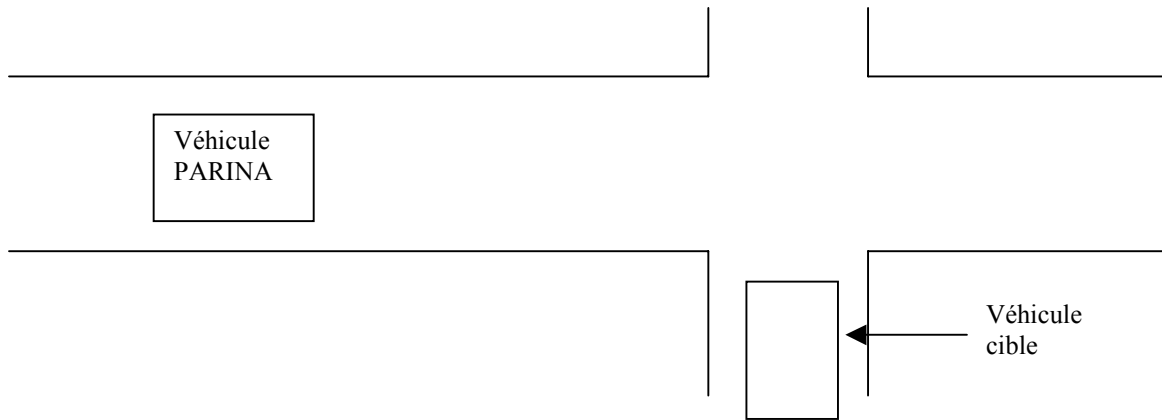


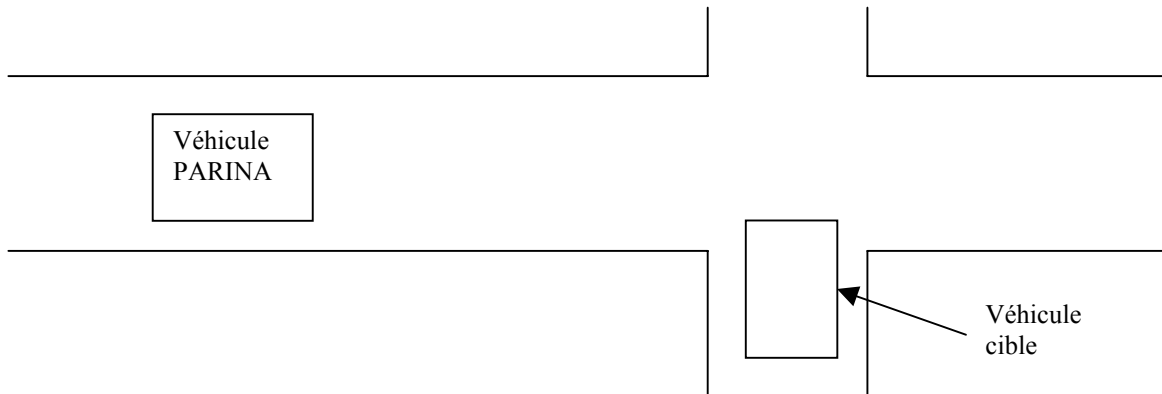
Figure 3A1

Scénarios pour les situations 3A et 3B

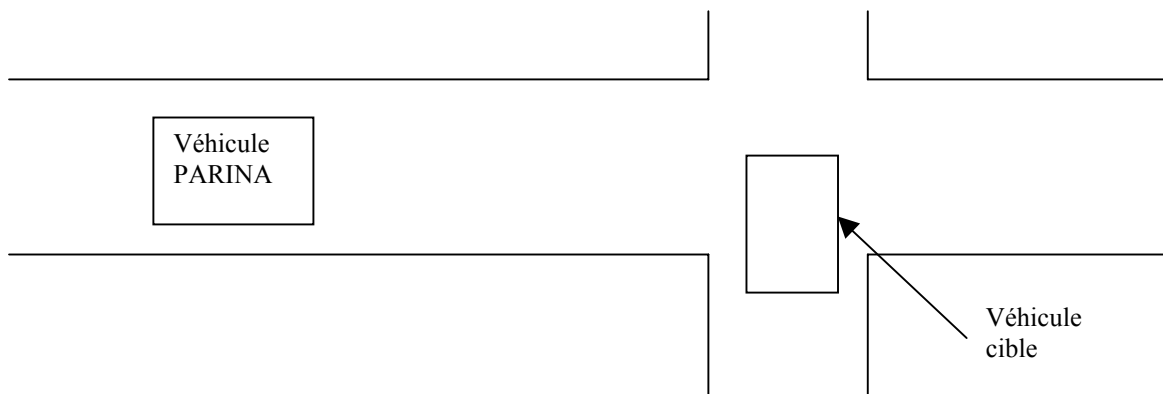
Le véhicule cible ne rentre pas dans la voie :



Le véhicule cible rentre « un peu » dans la voie



Le véhicule cible rentre dans la voie

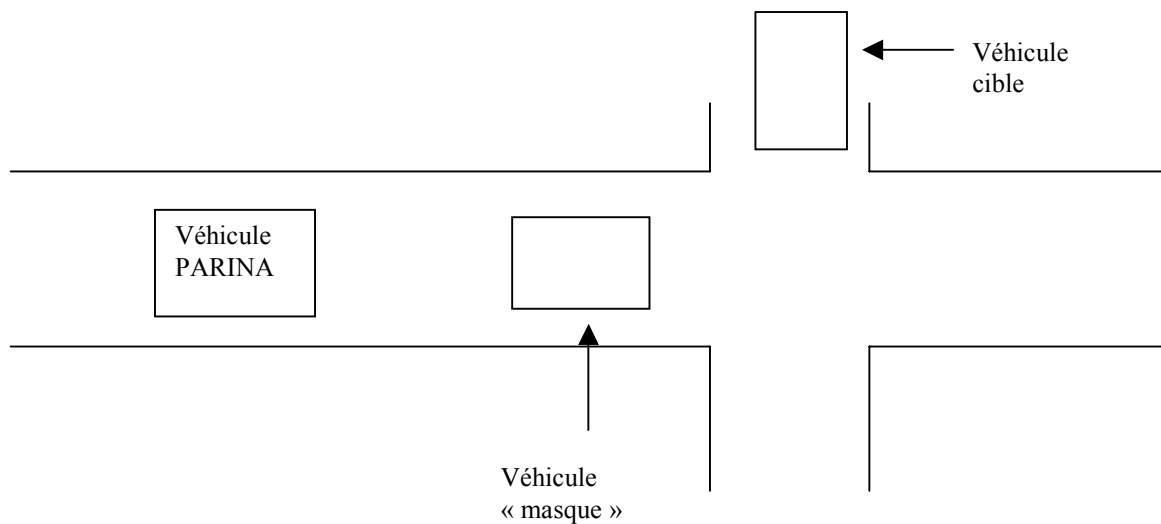


Résultat attendu des traitements de l'image :

- Le véhicule est dans la voie : OUI/NON
- Le véhicule cible est immobile : OUI/NON
- Marquages au sol

Scénarios pour les situations 3A1 et 3A2

Objectif : détection des masquages dynamiques.



Un véhicule « masque » nous précédant dans la voie obstrue notre visibilité sur l'intersection.

Résultat attendu des algos de traitement de l'image : l'intersection est elle visible ? Peut on encore détecter un éventuel véhicule cible ?

4.1.4. Déroulement des essais

Acqui n°	Lieu	Commentaire
Arrivée sur véhicules s'apprêtant à tourner		
1	1A	Véhicule rouge Suivi de près Tourne Met son clignotant Freine
2	1A	Véhicule rouge Suivi de près Tourne Ne met pas son clignotant Freine
3	1A	Véhicule rouge Suivi de près Tourne Met son clignotant Ne freine pas
4	1A	Véhicule rouge Suivi de près Ne tourne pas
5	1A	Véhicule rouge Suivi de loin Tourne Met son clignotant Freine
6	1A	Véhicule rouge Suivi de loin Tourne Ne met pas son clignotant Freine
7	1A	Véhicule rouge Suivi de loin Tourne Met son clignotant Ne freine pas
8	1A	Véhicule rouge Suivi de loin Ne tourne pas
Changement de véhicule		
Arrivée sur véhicules s'apprêtant à tourner		
9	1D	Véhicule non rouge Suivi de près Met son clignotant Freine
10	1D	Véhicule non rouge Suivi de loin Met son clignotant

		Freine
Dépassement de véhicules s'apprêtant à tourner		
11	1D	Véhicule non rouge Suivi de près, sur voie de droite (dépassement) Tourne Met son clignotant Freine
12	1D	Véhicule non rouge Suivi de loin, sur voie de droite (dépassement) Tourne Met son clignotant Freine
Changement de site		
Arrivée sur intersection		
13	3B	Véhicule non rouge Ne s'engage pas sur l'intersection
14	3B	Véhicule non rouge Dépasse sur l'intersection
15	3B	Véhicule non rouge S'engage sur l'intersection
Changement de site		
Arrivée sur véhicules s'apprêtant à tourner		
16	1C	Véhicule non rouge Suivi de près Tourne Met son clignotant Freine
17	1C	Véhicule non rouge Suivi de près Tourne Ne met pas son clignotant Freine
18	1C	Véhicule non rouge Suivi de près Tourne Met son clignotant Ne freine pas
19	1C	Véhicule non rouge Suivi de près Ne tourne pas
20	1C	Véhicule non rouge Suivi de loin Tourne Met son clignotant Freine
21	1C	Véhicule non rouge Suivi de loin Tourne Ne met pas son clignotant Freine
22	1C	Véhicule non rouge

		Suivi de loin Tourne Met son clignotant Ne freine pas
23	1C	Véhicule non rouge Suivi de loin Ne tourne pas
Changement de site		
Arrivée sur véhicules s'appêtant à tourner		
24	1B	Véhicule non rouge Suivi de près Tourne Met son clignotant Freine
25	1B	Véhicule non rouge Suivi de près Tourne Ne met pas son clignotant Freine
26	1B	Véhicule non rouge Suivi de près Tourne Met son clignotant Ne freine pas
27	1B	Véhicule non rouge Suivi de près Ne tourne pas
28	1B	Véhicule non rouge Suivi de loin Tourne Met son clignotant Freine
29	1B	Véhicule non rouge Suivi de loin Tourne Ne met pas son clignotant Freine
30	1B	Véhicule non rouge Suivi de loin Tourne Met son clignotant Ne freine pas
31	1B	Véhicule non rouge Suivi de loin Ne tourne pas
Changement de site		
Arrivée sur véhicules s'appêtant à tourner		
32	1E	Véhicule non rouge Suivi de près Tourne Met son clignotant

		Freine
33	1E	Véhicule non rouge Suivi de loin Tourne Met son clignotant Freine
Changement de site		
Arrivée sur intersection		
34	3A1	Véhicule non rouge Ne s'engage pas sur l'intersection
35	3A1	Véhicule non rouge Dépasse sur l'intersection
36	3A1	Véhicule non rouge S'engage sur l'intersection
37	3A1	Véhicule non rouge Suivi, masque l'intersection
Arrivée sur intersection		
38	3A2	Véhicule non rouge Ne s'engage pas sur l'intersection
39	3A2	Véhicule non rouge Dépasse sur l'intersection
40	3A2	Véhicule non rouge S'engage sur l'intersection
41	3A2	Véhicule non rouge Suivi, masque l'intersection
Changement de site		
Arrivée sur virage		
42	A86 - Cernay	Nil

4.2. Résultat des traitements

4.2.1. Arrivée sur véhicule s'apprêtant à tourner



La détection du scénario «véhicule s'apprêtant à tourner » repose essentiellement sur la localisation du véhicule nous précédant et l'estimation de ses intentions.

Le premier point ne pose pas de problème majeur, puisque cette configuration correspond à une utilisation optimale des données radar. Tout repose donc sur la détection et l'interprétation des feux de signalisation.

Pour les cas de véhicules éloignés, on a pu constater que la détection de ces feux était difficile, voire impossible. Cependant un véhicule éloigné est par la même peu susceptible de provoquer une collision, et dans ce cas les consignes habituelles d'ACC suffisent à déterminer le niveau de dangerosité de la situation, si besoin est (dans tous les scénarios enregistrés avec véhicule éloigné, le véhicule suivi est à une distance telle qu'il ne présente aucun danger, même lors de ses manœuvres sur intersection).

Dans les cas où le véhicule est suffisamment proche pour que ses feux soient perceptibles à l'image, les feux et clignotants sont détectés (avec d'éventuelles perturbations en cas de fortes luminosités). Le modèle de raisonnement décrit dans le paragraphe IV.C permet alors d'identifier les situations de danger lorsqu'elles se présentent. Dans les cas évoqués précédemment où des reflets ou une forte luminosité viennent perturber la détection, celle-ci est alors plus tardive.

4.2.2. Arrivée sur virages (simulation)

Le scénario « arrivée sur virages » est le scénario traité avec le plus de fiabilité. En effet ils comportent deux éléments distincts et indépendants, le premier étant un critère de dynamique de véhicule (rapportée à la géométrie de l'infrastructure), et le second un critère de perception de l'environnement.

La vitesse du véhicule et la géométrie de la route sont obtenus grâce aux informations circulant sur le bus CAN et aux données cartographiques, le premier point est parfaitement mesurable.

Le second point, consistant en la détection de masques à la visibilité, est détecté avec une fiabilité très satisfaisante. La détection de masquages « francs » par de la végétation ou des bâtiments est efficace et rapide. La principale source d'erreur provient des profils de route s'éloignant trop du modèle de route plane, auquel cas de faux masquages sont très souvent détectés.

Les arrivées dangereuses sur virages (suivant les critères choisis) sont donc détectées, mais il arrive également que le système émette de fausses alarme pour les raisons citées ci-dessus.



4.2.3. Arrivée sur intersection

L'arrivée sur intersection est le scénario le plus problématique parmi les trois cas considérés. Le modèle de raisonnement choisi prend en compte trois critères, deux de détection de masques à la perception, et l'un de détection de véhicules.

Singulièrement, ce sont les critères les moins déterministes qui sont les plus simples à extraire. En effet ceux-ci sont mesurables par l'utilisation de la détection de véhicules proches et la détection de routes éloignées, qui sont deux traitements utilisés et validés par les scénarios précédents. Il est donc possible de reconnaître avec une assez bonne fiabilité les situations où la présence de véhicules arrivant par la voie secondaire est incertaine.

En contrepartie, la détection même de ces véhicules en absence de masquages est assez problématique. Elle est possible dans certaines conditions favorables, notamment lorsque l'infrastructure ne comporte pas d'éléments rendant la scène confuse, mais elle est dans son ensemble peu fiable.

On peut donc considérer que le système n'est pas suffisamment robuste pour détecter de façon catégorique les situations de danger ou de sécurité, sauf dans des conditions particulièrement favorables, mais qu'il est capable de reconnaître les cas où l'approche de l'intersection est incertaine.



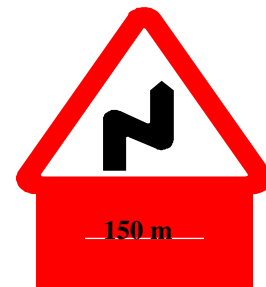
4.2.4. Démonstrateur arrivée trop rapide en virage (Curve Warning)

Nous avons fait essayer le véhicule « arrivée trop rapide sur virage » par une dizaine de participants. Les points appréciés et critiqués sont résumés dans le tableau suivant :

Points positifs	Critiques
<ul style="list-style-type: none"> • L'information sur l'écran de navigation est claire et facilement interprétable par le conducteur 	<ul style="list-style-type: none"> • Les informations (messages sur l'écran de navigation ou force sur la pédale d'accélérateur) délivrées au conducteur arrivent parfois un peu tard⁽¹⁾
<ul style="list-style-type: none"> • L'interface haptique délivre également un message clair et facilement interprétable par le conducteur 	<ul style="list-style-type: none"> • Lors d'une série de virages, il serait préférable d'avertir une seule fois le conducteur (lors de l'arrivée dans la série de virage) plutôt qu'à chaque virage⁽²⁾
<ul style="list-style-type: none"> • Les IHM choisies ne perturbent pas le conducteur dans sa tâche de conduite 	

Critique 1 : ce défaut est dû à l'imprécision du positionnement GPS. Nous avons pu observer notamment que lorsque nous traversons une forêt le positionnement était très imprécis. La seule façon de remédier à ce problème serait d'utiliser un DGPS.

Critique 2 : une nouvelle IHM a été créée pour avertir le conducteur lors d'une arrivée sur une série de virages :



5. CONCLUSIONS

On peut classer les travaux menés dans le cadre PARINA dans le domaine des recherches amonts sur les systèmes de sécurité informatiques.

Il est nécessaire de rappeler que le caractère informatif signifie que c'est le conducteur, qui décide ou non d'agir selon les "conseils" qui lui auront été donné par le système.

On montre, en se basant sur le modèle séquentiel qui décompose l'accident en phases de conduite, de rupture, d'urgence et de choc qu'il est illusoire de vouloir traiter par l'informatif des situations d'urgence à moins de une ou deux secondes d'un choc certain.

Les travaux menés dans cette étude se sont donc centrés sur la sécurité informative appliquée aux phases de conduite nominales et de rupture.

Les résultats obtenus ont permis de préciser les connaissances sur les points suivants:

5.1. Utilisation de l'accidentologie pour la conception de systèmes de sécurité informatiques.

L'objectif de départ était d'utiliser l'accidentologie (par exemple les bases d'Etude Détaillées Accidents) pour en déduire le niveau de risque de la situation routière rencontrée.

L'accidentologie ne disposant pas à ce jour d'outils permettant de quantifier de façon systématique chaque situation routière, le problème a été abordé de façon empirique. L'expertise des accidentologues et une analyse des cas recensés dans les bases EDA (Etudes Détaillées d'accidents) ont permis de recenser des grandes classes d'accidents et de les caractériser ceux ci à l'aide de marqueurs (virage en dévers, priorité à droite...). Cette classification ne permet d'estimer qu'une augmentation relative du risque sans la quantifier par rapport à une situation de conduite "nominale".

5.2. Faisabilité d'un système d'anticipation de l'infrastructure rencontrée pour les systèmes de sécurité informatiques

Un démonstrateur d'alerte sur arrivée trop rapide en virage à été développé et testé sur un parcours pré défini.

Ce démonstrateur utilise un système de navigation pour anticiper la configuration de la route et avertir le conducteur si sa vitesse n'est pas adaptée au virage rencontré.

Les résultats des essais mettent en évidence des verrous technologiques qui devront être levés avant d'envisager l'intégration de ce type de systèmes en série.

Bases de données cartographiques: La précision de géométrie des bases de données qui équipent les véhicules de série ne permet pas d'envisager la réalisation de tels systèmes à court terme.

L'ajout d'attributs (informations) supplémentaires aux bases de données actuelles ou bien l'amélioration de leur précision pourraient permettre d'obtenir des performances acceptables à moyen terme (5 ans-10ans).

La question de la mise à jour de ces bases à une périodicité suffisante pour garantir une bonne fiabilité du système reste cependant ouverte.

Système de positionnement:

La précision du positionnement détermine l'instant d'apparition de l'alerte qui est délivrée au conducteur lors d'une approche sur virage. La viabilité de cette prestation est dépendante des décalages entre l'environnement et la réponse du système qui sera constatée par le conducteur. Des décalages répétés trop importants ou incohérents provoqueront inévitablement une perte de la confiance du conducteur envers le système. Les travaux relatifs au choix du système de positionnement montrent que la recherche de la fiabilité et de la précision ne se résument pas à l'alternative GPS / DGPS. Si le DGPS est intrinsèquement plus précis, il souffre des mêmes limitations que le GPS classique sur le plan de la sensibilité aux masquages et perturbations atmosphériques.

La précision et la fiabilité de positionnement ne sont envisageables qu'à la condition de fusionner des données telles que la vitesse véhicule, vitesse de lacet et la base de données cartographique. Cette fusion est déjà effectuée dans les systèmes de navigation de série et permet d'obtenir des performances de positionnement intéressantes.

L'extrapolation de ces performances permet d'envisager la faisabilité de systèmes tels que le "curve warning" à l'arrivée des futures générations de bases de données cartographiques.

5.3. Apport de la vision pour les systèmes de sécurité informatifs

Les systèmes de détection par mono, ou stéréo vision éventuellement couplés à d'autres capteurs (radar..) font leur apparition sur le marché des véhicules de série pour assurer des fonctions simples telles que l'alerte sur sortie de voie.

La richesse de l'information disponible dans l'image d'une scène routière permet de prédire une augmentation du nombre et de la complexité des fonctions qui seront assurées par les systèmes de vision à moyen terme.

Cette étude a notamment permis d'apprécier la maturité de traitements de détection par vision. Les traitements qui ont été développés et testés dans l'étude PARINA sur un nombre limité de scénarios sont classés dans les deux grandes catégories suivantes :

Résultats prometteurs sur la base limitée de scénarios traités

- Détection et suivi de véhicules dans le sens longitudinal
- Détection de clignotants
- Détection de feux stop
- Détection de véhicules arrêté dans le sens transversal par suivi de contour
- Détection de masquages statiques sur virages

Des recherches doivent être poursuivies pour obtenir des résultats significatifs

- Détection de masquages statiques sur virages
- Détection de masquages statiques sur intersections
- Détection de véhicules dans le sens transversal par flot optique
- Détection de véhicules dans le sens transversal par suivi de contour

6. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Sécurité des routes et des rues, SETRA, 1992
- [2] A. Damville, C. Mautuit, T. Perron, C. Thomas, *Défaillance des conducteurs en fonction de l'infrastructure routière au travers des Etudes Détaillées d'Accidents*, Assises Européennes de Psychologie Appliquée aux Transports, juin 1999
- [3] *Typologies d'accidents en intersections sur routes interurbaines*, SETRA, janvier 2001
- [4] Yerpez, Fernandez, *Caractéristiques routières et sécurité : reconnaissance de la contribution des facteurs route dans la genèse des accidents*, INRETS, 1998
- [5] *Accidents par sortie de chaussée*, rapport d'étude SETRA, 1999
- [6] A. Vogt, J.G. Bared, *Accident models for two-lane rural roads : segments and intersections*, Tuner Fairbank Highway Research Center, Georgetown, 1998
- [7] J-E Michel et al, *Accidents en virage*, rapport interne LAB CEESAR INRETS, avril 1999
- [8] *Transformation entre systèmes géodésiques*, IGN, 1999
- [9] B. Steux, *rtMaps, a software framework for prototyping real-time embedded systems, application to the automatic detection of vehicles by Radar and Vision data fusion*, PhD thesis, ENSMP, 2001
- [10] J.L. Barron, D.J. Fleet, S.S. Beauchemin, *Performance in Optical Flow Techniques*, *International Journal of Computer Vision*, 1994
- [11] P. V. C. Hough, *Methods and means for recognizing complex patterns*, U.S. Patent 3 069 654, Dec 1962.

7. GLOSSAIRE ET ABBREVIATIONS

ACC : Adaptive Cruise Control, dispositif de confort consistant à adapter automatiquement la vitesse d'un véhicule en fonction d'une vitesse de consigne et (éventuellement) de celle des autres véhicules circulant dans la même voie.

ADASRP : Advanced Driver Assistance Systems Research Platform, logiciel d'accès à des bases de données cartographiques en temps réel ou différé, incluant des outils de positionnement, de navigation et d'extraction d'informations.

CEESAR : Centre Européen d'Etudes de Sécurité et d'Analyse des Risques

Cisaillement : collision à angle droit

Dévers : différence de niveau entre les deux bordures d'une chaussée

EDA : Etude Détaillée d'Accident

EH : Electronic Horizon, coordonnées GPS et propriétés de la route en avant du véhicule, sur une distance donnée.

Hough (Transformée de) : méthode de traitement d'image permettant la recherche de formes paramétrées dans une image. Notamment utilisée pour la détection de lignes droites (voir Annexe).

Kalman (Filtrage de) : méthode de traitement du signal utilisant un modèle d'évolution du système observé, un modèle du système de mesure et une représentation gaussienne des erreurs de ces modèles pour effectuer des prédictions sur l'évolution de l'état du système. (voir annexe).

LAB : Laboratoire d'Accidentologie et de Biomécanique

LLA : longitude, latitude, altitude , système de représentation du positionnement absolu en coordonnées polaires.

Marqueurs : éléments détectables caractéristiques d'une situation de danger.

Profil en long : profil de la route dans le sens longitudinal (montées/descentes)

Rayon mini : on considère qu'il existe un rayon mini si, sur une longueur d'au moins 30m, on a un « rayon moyen partiel » inférieur d'au moins 30% au rayon moyen du virage

RD : Route Départementale

RN : Route Nationale

Rt-M@ps : Real Time Mines Automotive Prototyping System, environnement de développement servant à dater et synchroniser différents flux de données pour des applications temps réel.

SIG : Système d'Information Géographique

TAD : Tourne A Droite

TAG : Tourne A Gauche

YUV : espace de représentation des couleurs suivant les composantes luminance, chrominance rouge et chrominance bleue.

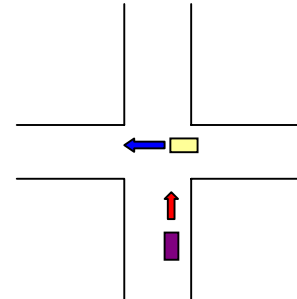
8. ANNEXE I: Scenarii et marqueurs

Intersections

I-4-S1

Configuration géométrique :

Intersection à 4 branches sans voie de TAG



Scénario

Cisaillement premier axe

Le véhicule prioritaire percute un véhicule provenant de la voie non prioritaire et souhaitant traverser l'intersection. Le véhicule non prioritaire arrivant par la droite, la collision s'effectue sur la première voie qu'il tente de traverser.

Marqueurs :

Position et déplacement du véhicule B sur la route secondaire
engagement du véhicule B ou arrivée trop rapide : comparaison de sa vitesse et du temps nécessaire à son arrêt

vitesse excessive du véhicule A : la visibilité sur intersection doit être au minimum de 8 secondes.

Marqueurs potentiels/aggravants

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : véhicules arrivant en sens inverse sur la route principale : le conducteur du véhicule B peut avoir son attention attirée par un véhicule arrivant sur sa droite, de sorte qu'une fois celui-ci passé il décide de s'engager sans effectuer de contrôle visuel suffisant sur sa gauche.

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : route principale en courbe (concavité tournée vers le véhicule B). Si la route principale est en courbe, la tâche de contrôle visuelle est plus difficile de par l'augmentation de l'angle à surveiller. L'estimation des vitesses est de plus rendue plus difficile.

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

Exemple :

EDA 626

L'accident a lieu à 4 h 45, sur la commune de C., à l'intersection entre une RN et une RD, réglementée par un « cédez le passage ». La chaussée est humide.

Mme C. 29 ans, se rend à son travail à bord de sa Ford Fiesta. Alors qu'elle aborde l'intersection, elle contrôle à droite puis à gauche et s'engage sur la RN pour tourner à gauche.

Au même moment, arrive sur sa gauche Mme H. 42 ans, au volant de sa Renault Super 5. Lorsqu'elle voit la Ford Fiesta s'engager, elle réagit par un freinage d'urgence laissant 19 mètres de traces sur la chaussée.

Malgré cela, elle ne peut éviter la collision fronto-latérale.

I-4-S2

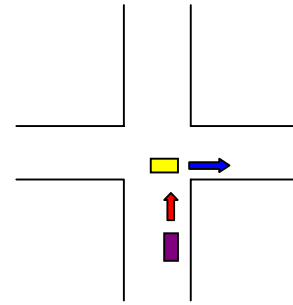
Configuration géométrique

Intersection 4 branches sans voie de TAG

Scénario

Cisaillement 2è axe

Le véhicule prioritaire percute un véhicule provenant de la voie non prioritaire et souhaitant traverser l'intersection. Le véhicule non prioritaire arrivant par la gauche, la collision s'effectue après qu'il ait déjà traversé une des voies.



Marqueurs

Position et déplacement du véhicule B sur la route secondaire
engagement du véhicule B ou arrivée trop rapide : comparaison de sa vitesse et du temps nécessaire à son arrêt
vitesse excessive du véhicule A : la visibilité sur intersection doit être au minimum de 8 secondes.

Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : véhicules précédant le véhicule A. Le conducteur du véhicule B ayant laissé passer un véhicule venant de sa droite peut être tenté de s'engager sans effectuer de contrôle visuel supplémentaire.

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : route principale en courbe (concavité tournée vers le véhicule B). Si la route principale est en courbe, la tâche de contrôle visuelle est plus difficile de par l'augmentation de l'angle à surveiller. L'estimation des vitesses est de plus rendue plus difficile.

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

Exemple :

EDA 362

Le mardi 1er avril 1997, vers 18h20, le conducteur du VL 11732 et son épouse, tous deux retraités et âgés de 69 ans, quittent le domicile de leurs enfants, à Creuse, pour rendre une visite imprévue à des amis qui résident à F. . Le conducteur n'a jamais emprunté cet itinéraire auparavant. Il ne connaît la RN 29 que pour l'avoir empruntée pour se rendre à Rouen lorsqu'il était encore en activité. Ils empruntent la départementale 162 jusqu'au cédez-le passage (Carrefour de R.). Le conducteur ne se souvient pas de ce qui s'est passé.

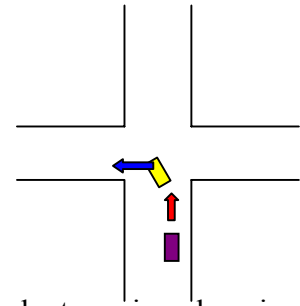
Le conducteur du VL 11733, quitte A. vers 18h05, pour rentrer chez lui et déposer les deux copains de son fils qui habitent également Q. . Il n'y a aucun trafic sur la RN 29, un seul véhicule qui le suit à environ 50 mètres. En raison des travaux l, la circulation est bloquée temporairement suite au passage des deux véhicules pour laisser manœuvrer un poids lourd sortant du chantier. Il n'effectue aucun dépassement sur la quatre voies et s'approche du carrefour de R. à 110 km/h environ. Il voit le véhicule 11732 arrêté au cédez-le passage qui

gêne le passage d'un véhicule venant de R. et se dirigeant vers A. . Il le laisse passer et redémarre, sans reprendre l'information apparemment. Le conducteur du VL 11733 se rend compte que le VL 11732 démarre et va traverser lorsque ce dernier dépasse la ligne du cédez-le passage d'environ un mètre. Il freine et à l'intention de tourner à droite à l'intersection, en direction de Revelles, pour tenter d'éviter la collision. Les roues se bloquent et il heurte le VL 11732 sur le flanc droit, au niveau des deux portières.

I-4-S3

Configuration géométrique

Intersection 4 branches sans voie de TAG



Scénario

TAG sur ralentissement

Le véhicule A percute le véhicule B par l'arrière alors que celui-ci, circulant aussi sur la voie principale, s'apprête à tourner vers la voie secondaire.

Marqueurs

vitesse excessive du véhicule A :

Position et déplacement du B

clignotant gauche

Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

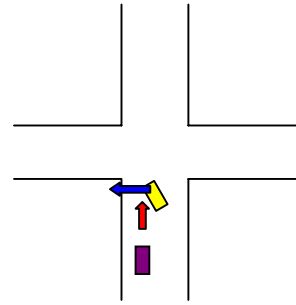
Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

I-4-S4

Configuration géométrique

Intersection 4 branches sans voie de TAG



Scénario

TAG sur dépassement

Marqueurs :

ralentissement du véhicule B

clignotant gauche du véhicule B

vitesse/distance de dépassement du véhicule A : il y a danger si cette distance implique que le dépassement ne sera pas achevé avant l'arrivée sur l'intersection.

Marqueurs potentiels :

Présence d'un troisième véhicule entre le véhicule A et le véhicule B : dans un grand nombre de cas, le véhicule A tente de dépasser les deux véhicules situés devant lui, le premier véhicule lui masquant les intentions de tourner du second.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

I-4-S5

Configuration géométrique

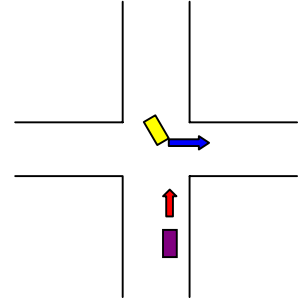
Intersection 4 branches sans voie de TAG

Scénario

TAG frontal

Marqueurs

Position et déplacement du véhicule B
vitesse excessive du véhicule A



Marqueurs potentiels :

perturbation de la perception du véhicule B : luminosité, contraste du véhicule par rapport au fond de la scène.

perturbation du contrôle visuel du véhicule B : présence d'un véhicule précédant le véhicule A. L'attention du conducteur B est focalisée par ce premier véhicule, de sorte qu'il prête moins d'attention aux véhicules qui le suivent.

perturbation de la perception du véhicule B : présence d'un véhicule précédant le véhicule B, mais restant sur la route principale. Ce véhicule peut masquer la visibilité de la voie principale au conducteur B (surtout s'il est imposant : camion, bus, tracteur...)

perturbation de la prise de décision du conducteur B : présence d'un véhicule précédant le véhicule B et tournant également vers la route secondaire.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

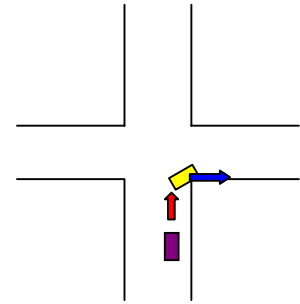
Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

I-4-S6

Configuration géométrique

Intersection 4 branches sans voie de TAG



Scénario

TAD

Marqueurs

Position et déplacement du véhicule B
clignotant droit du véhicule B
vitesse excessive du véhicule A

Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

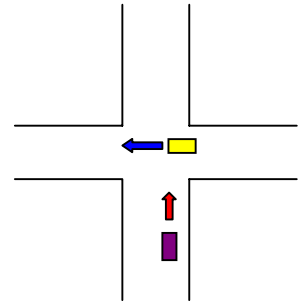
Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

I-4-A1

Configuration géométrique

Intersection 4 branches avec voie de TAG



Scénario

Cisaillement 1^{er} axe

Le véhicule prioritaire percute un véhicule provenant de la voie non prioritaire et souhaitant traverser l'intersection. Le véhicule non prioritaire arrivant par la droite, la collision s'effectue sur la première voie qu'il tente de traverser.

Marqueurs

Position et déplacement du véhicule B sur la route secondaire

engagement du véhicule B ou arrivée trop rapide : comparaison de sa vitesse et du temps nécessaire à son arrêt

vitesse excessive du véhicule A : la visibilité sur intersection doit être au minimum de 8 secondes.

Marqueurs potentiels/aggravants

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : véhicules arrivant en sens inverse sur la route principale.

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : route principale en courbe (concavité tournée vers le véhicule B).

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

Exemple :

EDA 705

L'accident a lieu le lundi 7 février 2000, vers 17h15, en agglomération de V. L'accident se produit à l'intersection des rues Marcel Delmotte et du quatre septembre. Ce petit carrefour est réglementé par la priorité à droite. Cet fin d'après-midi, le temps est couvert, il fait sombre et il tombe une pluie fine sur une chaussée déjà humide.

Mme X., âgée de 33 ans, professeur des écoles, rentre chez elle en compagnie de sa fille aînée qu'elle vient de passer prendre à l'école maternelle. Mme X. ralentit, lisse « mourir » la troisième vitesse tout en vérifiant la visibilité sur sa droite. Ne voyant rien, elle décide de traverser toujours en troisième. Alors qu'elle se trouve au milieu du carrefour, elle voit dans son angle de vue droit, une masse arriver sur elle. Mme X. n'a pas le temps de tenter quoi que ce soit pour éviter la collision contre la portière arrière droite de son Opel Zaphira, la faisant pivoter et s'immobiliser contre une clôture grillagée sur le trottoir de gauche après avoir fait demi-tour.

Mr Y. vient d'Amiens et se dirige vers la poste de Villers-Bretonneux. Il emprunte la rue du quatre septembre. A l'approche de l'intersection avec la rue Marcel Delmotte, Mr Y. ralentit pour laisser la priorité à droite. Lorsqu'il entre dans le carrefour il voit l'Opel Zaphira de Mme X. occupant tout le carrefour, devant lui. Mr Y. n'a pas le temps de freiner ni de tenter

quoi que ce soit : l'avant de sa Renault 25 entre en collision avec le flanc droit de l'Opel Zaphira.

I-4-A2

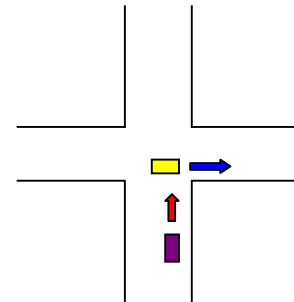
Configuration géométrique

Intersection 4 branches avec voie de TAG

Scénario

Cisaillement 2è axe

Le véhicule prioritaire percute un véhicule provenant de la voie non prioritaire et souhaitant traverser l'intersection. Le véhicule non prioritaire arrivant par la gauche, la collision s'effectue après qu'il ait déjà traversé une des voies.



Marqueurs

Position et déplacement du véhicule B

vitesse excessive du véhicule A

Perturbation de la visibilité des véhicules par la présence de panneaux de signalisation sur les infrastructures de la voie de TAG.

Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : véhicules précédant le véhicule A. Le conducteur du véhicule B ayant laissé passer un véhicule venant de sa droite peut être tenté de s'engager sans effectuer de contrôle visuel supplémentaire.

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : route principale en courbe (concavité tournée vers le véhicule B). Si la route principale est en courbe, la tâche de contrôle visuelle est plus difficile de par l'augmentation de l'angle à surveiller. L'estimation des vitesses est de plus rendue plus difficile.

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

Exemple :

EDA 664

L'accident a lieu le Jeudi 04 Novembre 1999 vers 13 h 55 à l'intersection entre la RD830 et la RD840 réglementée par un stop ;

Mr B., 18 ans, circule au volant de sa Ford Fiesta. Alors qu'il arrive à l'intersection, il dit s'arrêter, contrôler la circulation et franchir la première partie de la chaussée puis reconstrôler à nouveau tout en s'engageant dans l'autre partie. Gêné par le soleil, le conducteur déclare ne pas voir arriver à sa droite la Peugeot Partner de Mr M., 64 ans. Celui-ci déclare circuler à 70 km/h lorsqu'il voit la Ford Fiesta s'engager sur sa voie de circulation. Il freine mais ne peut éviter la collision.

I-4-A3

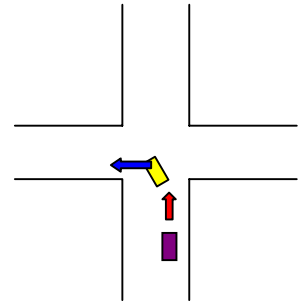
Configuration géométrique

Intersection 4 branches avec voie de TAG

Scénario

TAG sur ralentissement

Le véhicule A percute le véhicule B par l'arrière alors que celui-ci, circulant aussi sur la voie principale, s'apprête à tourner vers la voie secondaire.



Marqueurs

vitesse excessive du véhicule A :

Position et déplacement du véhicule B

clignotant gauche

Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

I-4-A5

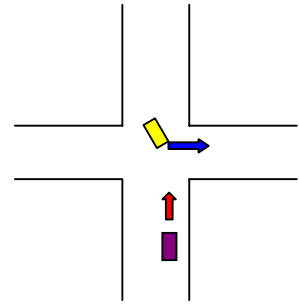
Configuration géométrique

Intersection 4 branches avec voie de TAG

Scénario

TAG frontal

Le véhicule A percute le véhicule B provenant de la voie prioritaire en sens inverse et voulant tourner sur sa gauche dans la voie non prioritaire.



Marqueurs

Position et déplacement du véhicule B

vitesse excessive du véhicule A

Perturbation de la visibilité des véhicules par la présence de panneaux de signalisation sur les infrastructures de la voie de TAG.

Marqueurs potentiels

perturbation de la perception du véhicule B : luminosité, contraste du véhicule par rapport au fond

perturbation du contrôle visuel du véhicule B : présence d'un véhicule précédant le véhicule A. L'attention du conducteur B est focalisée par ce premier véhicule, de sorte qu'il prête moins d'attention aux véhicules qui le suivent.

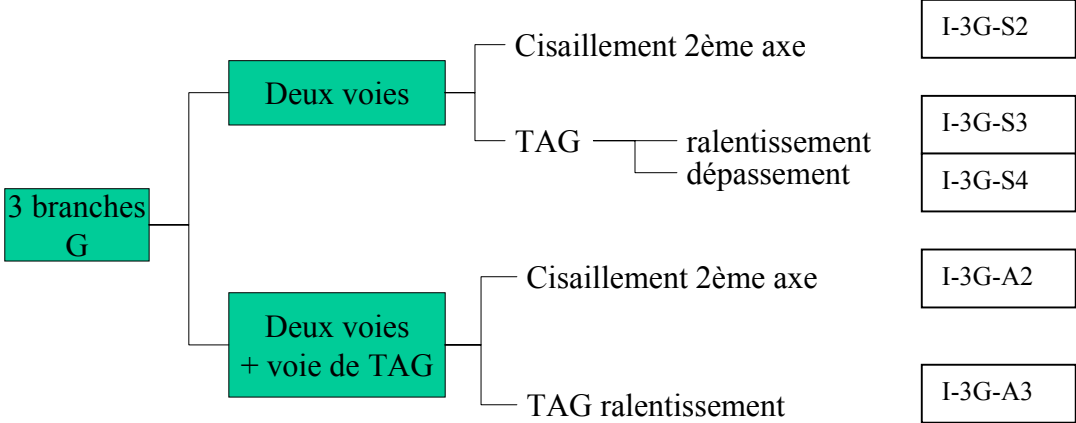
perturbation de la perception du véhicule B : présence d'un véhicule précédant le véhicule B, mais restant sur la route principale. Ce véhicule peut masquer la visibilité de la voie principale au conducteur B (surtout s'il est imposant : camion, bus, tracteur...)

perturbation de la prise de décision du conducteur B : présence d'un véhicule précédant le véhicule B et tournant également vers la route secondaire.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation



I-3G-S2

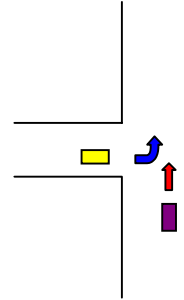
Configuration géométrique

Intersection 3 branches sans voie de TAG

Scénario

Cisaillement 2è axe

Le véhicule prioritaire percute un véhicule provenant de la voie non prioritaire.



Marqueurs

Position et déplacement du véhicule B sur la route secondaire

engagement du véhicule B ou arrivée trop rapide : comparaison de sa vitesse et du temps nécessaire à son arrêt

vitesse excessive du véhicule A : la visibilité sur intersection doit être au minimum de 8 secondes.

Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : véhicules précédant le véhicule A. Le conducteur du véhicule B ayant laissé passer un véhicule venant de sa droite peut être tenté de s'engager sans effectuer de contrôle visuel supplémentaire.

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : route principale en courbe (concavité tournée vers le véhicule B). Si la route principale est en courbe, la tâche de contrôle visuelle est plus difficile de par l'augmentation de l'angle à surveiller. L'estimation des vitesses est de plus rendue plus difficile.

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.
signalisation

I-3G-S3

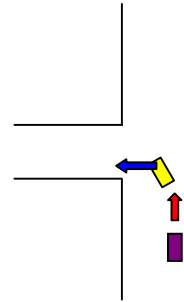
Configuration géométrique

Intersection 3 branches sans voie de TAG

Scénario

TAG sur ralentissement

Le véhicule A percute le véhicule B par l'arrière alors que celui-ci, circulant aussi sur la voie principale, s'apprête à tourner vers la voie secondaire.



Marqueurs

vitesse excessive du véhicule A :

Position et déplacement du véhicule B

clignotant gauche

Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

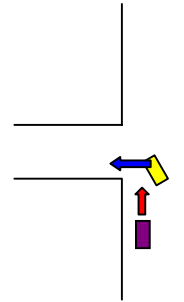
Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

I-3G-S4

Configuration géométrique
Intersection 3 branches sans voie de TAG

Scénario
TAG sur dépassement



Marqueurs

ralentissement du véhicule B
clignotant gauche du véhicule B
vitesse/distance de dépassement du véhicule A : il y a danger si cette distance implique que le dépassement ne sera pas achevé avant l'arrivée sur l'intersection.

Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.
Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.
Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.
signalisation

I-3G-A2

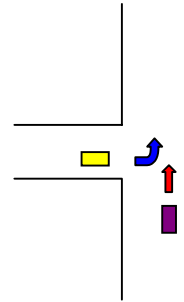
Configuration géométrique

Intersection 3 branches avec voie de TAG

Scénario

Cisaillement 2è axe

Le véhicule prioritaire percute un véhicule provenant de la voie non prioritaire.



Marqueurs

Position et déplacement du véhicule B

vitesse excessive du véhicule A

Perturbation de la visibilité des véhicules par la présence de panneaux de signalisation sur les infrastructures de la voie de TAG.

Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : véhicules précédant le véhicule A. Le conducteur du véhicule B ayant laissé passer un véhicule venant de sa droite peut être tenté de s'engager sans effectuer de contrôle visuel supplémentaire.

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : route principale en courbe (concavité tournée vers le véhicule B). Si la route principale est en courbe, la tâche de contrôle visuelle est plus difficile de par l'augmentation de l'angle à surveiller. L'estimation des vitesses est de plus rendue plus difficile.

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

I-3G-A3

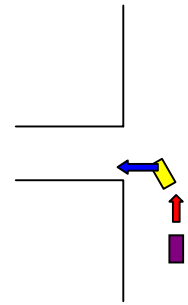
Configuration géométrique

Intersection 3 branches avec voie de TAG

Scénario

TAG sur ralentissement

Le véhicule A percute le véhicule B par l'arrière alors que celui-ci, circulant aussi sur la voie principale, s'apprête à tourner vers la voie secondaire.



Marqueurs

vitesse excessive du véhicule A

Position et déplacement du véhicule B

clignotant gauche

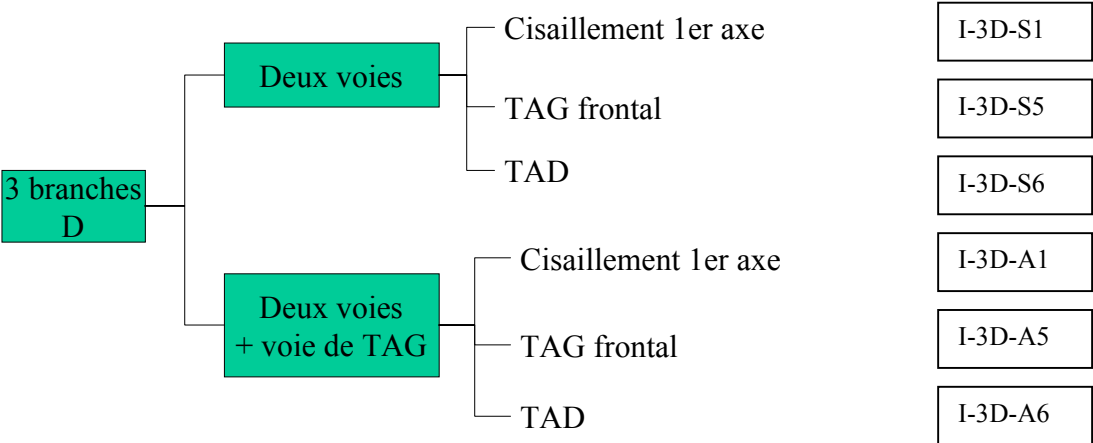
Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation



I-3D-S1

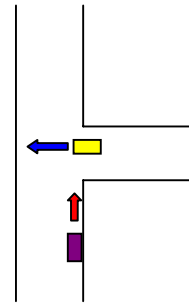
Configuration géométrique

Intersection 3 branches sans voie de TAG

Scénario

Cisaillement 1er axe

Le véhicule prioritaire percute un véhicule provenant de la voie secondaire.



Marqueurs

Position et déplacement du véhicule B sur la route secondaire

engagement du véhicule B ou arrivée trop rapide : comparaison de sa vitesse et du temps nécessaire à son arrêt

vitesse excessive du véhicule A : la visibilité sur intersection doit être au minimum de 8 secondes.

Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : véhicules précédant le véhicule A. Le conducteur du véhicule B ayant laissé passer un véhicule venant de sa droite peut être tenté de s'engager sans effectuer de contrôle visuel supplémentaire.

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : route principale en courbe (concavité tournée vers le véhicule B). Si la route principale est en courbe, la tâche de contrôle visuelle est plus difficile de par l'augmentation de l'angle à surveiller. L'estimation des vitesses est de plus rendue plus difficile.

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

Exemple :

EDA 716

L'accident a lieu le mardi 16 mai 2000, vers 15 h 45, en agglomération d'Amiens, à l'intersection des rues du Faubourg du Hem et Jacquart. Ce carrefour en « T » est réglementé par priorités à droite, la Peugeot 205, véhicule prioritaire, vient de la droite. Au moment des faits, il tombe une pluie abondante. La chaussée est mouillée.

Mme X., âgée de ans, gérante de bar-tabac, regagne son domicile et lieu de travail en empruntant la rue du Faubourg du Hem. Mme X. déclare passer à cet endroit pour la seconde fois depuis un an et demi, date de son arrivée sur Amiens. Elle estime justifier ainsi sa méconnaissance du régime de priorité du carrefour. Alors qu'elle approche de l'angle de la rue Jacquart, Mme X. voit la Peugeot 205 de Mme Y. Elle la voit arrêtée et croit pouvoir passer, réalisant une erreur d'interprétation puisqu'il s'agissait pour Mme Y. de contrôler sur sa droite si aucun véhicule ne survenait. Alors que Mme X. passe devant la Peugeot 205, celle-ci démarre heurtant avec l'avant gauche, l'arrière droit de la Mercedes. Suite au choc, Mme X. ne parvient plus à contrôler sa trajectoire. Sa Mercedes se dirige vers le trottoir où elle passe sur un scooter qu'elle entraîne avec elle dans la vitrine d'un coiffeur. La Mercedes s'immobilise dans la boutique, seul le coffre se trouve encore à l'extérieur.

Mme Y., âgée de 31 ans, dessinatrice en architecture, en compagnie de son fils de 20 mois, quitte son stationnement devant la halte-garderie, rue Jacquart, vers 15 h 45. Elle s'arrête 30 mètres plus loin pour effectuer les contrôles à l'intersection de la rue du Faubourg de Hem. Mme Y. regarde à gauche, voit la voiture de Mme X. arriver sur sa gauche, ce qui ne l'inquiète pas : elle est encore loin, elle a encore une priorité à droite à marquer juste avant. Puis, Mme Y. regarde à droite où elle voit au loin une voiture blanche, qui ne représente aucun danger immédiat. Mme Y. s'engage dans le carrefour, en première et déjà bien tournée vers la gauche. Elle n'a pas recontrôlé sur sa gauche et n'a pu voir la Mercedes, qui passe devant elle : au choc, Mme Y. freine, sa Peugeot 205 stoppe. Elle voit alors la Mercedes continuer de rouler, en perdition et entrer dans la vitrine du coiffeur situé rue du Faubourg de Hem, à droite de la rue Jacquart, jouxtant la pharmacie qui fait l'angle. Mme Y. voyant qu'elle risque un sur-accident, redémarre son véhicule et va stationner sur le trottoir d'en face.

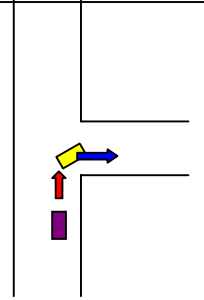
I-3G-S5

Configuration géométrique

Intersection 3 branches sans voie de TAG

Scénario

TAD



Le véhicule A percute le véhicule B par l'arrière alors que celui-ci, circulant aussi sur la voie principale, s'apprête à tourner vers la voie secondaire.

Marqueurs

Position et déplacement du véhicule B

clignotant droit du véhicule B

vitesse excessive du véhicule A

Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

I-3G-S6

Configuration géométrique

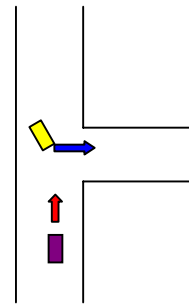
Intersection à 3 branches sans voie de TAG

Scénario

TAG frontal

Marqueurs

Position et déplacement du véhicule B
vitesse excessive du véhicule A



Marqueurs potentiels :

perturbation de la perception du véhicule B : luminosité, contraste du véhicule par rapport au fond de la scène.

perturbation du contrôle visuel du véhicule B : présence d'un véhicule précédant le véhicule A. L'attention du conducteur B est focalisée par ce premier véhicule, de sorte qu'il prête moins d'attention aux véhicules qui le suivent.

perturbation de la perception du véhicule B : présence d'un véhicule précédant le véhicule B, mais restant sur la route principale. Ce véhicule peut masquer la visibilité de la voie principale au conducteur B (surtout s'il est imposant : camion, bus, tracteur...)

perturbation de la prise de décision du conducteur B : présence d'un véhicule précédant le véhicule B et tournant également vers la route secondaire.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

Exemple :

EDA 571

L'accident a lieu le lundi 22 février 1999, vers 10h 10, en agglomération d'Amiens, à l'intersection des rues E. de Fouilloy et St Fuscien. Il fait jour, le temps est couvert. La chaussée est sèche.

Mme G., âgée de 40 ans, conjoint collaborateur commerçante, se rend rue E. de Fouilloy, comme tous les lundis. Comme chaque semaine, elle descend la rue St Fuscien, met le clignotant gauche, ralentit et s'arrête pour laisser passer un véhicule qui monte la rue en sens inverse. Elle redémarre et commence à tourner à gauche lorsqu'elle voit la R11 de M L. qui monte la rue St Fuscien. Elle ne peut rien tenter pour éviter la collision fronto-frontale.

M L., âgé de 34 ans, mécanicien auto, monte la rue St Fuscien et approche de l'intersection avec la rue E. de Fouilloy, quand il voit la Golf de Mme G. arrêtée sur la voie inverse. Alors qu'il aborde l'intersection, M L. voit soudain la Golf lui couper la route. M L. freine fort, les roues se bloquent. Il ne peut éviter le choc.

I-3G-A1

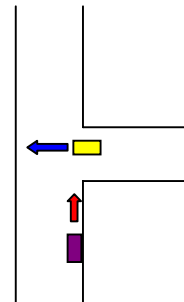
Configuration géométrique

Intersection 3 branches avec voie de TAG

Scénario

Cisaillement 1er axe

Le véhicule prioritaire percute un véhicule provenant de la voie non prioritaire.



Marqueurs

Position et déplacement du véhicule B

vitesse excessive du véhicule A

Perturbation de la visibilité des véhicules par la présence de panneaux de signalisation sur les infrastructures de la voie de TAG.

Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : véhicules précédant le véhicule A. Le conducteur du véhicule B ayant laissé passer un véhicule venant de sa droite peut être tenté de s'engager sans effectuer de contrôle visuel supplémentaire.

Perturbation du contrôle visuel du véhicule B : route principale en courbe (concavité tournée vers le véhicule B). Si la route principale est en courbe, la tâche de contrôle visuelle est plus difficile de par l'augmentation de l'angle à surveiller. L'estimation des vitesses est de plus rendue plus difficile.

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

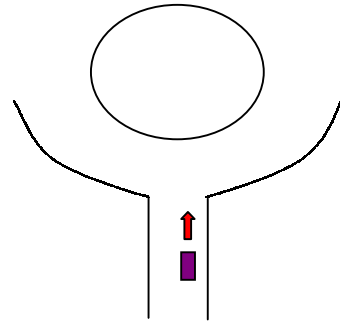
Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

I-RP

Configuration géométrique

Arrivée sur rond-point



Scénario

Le véhicule A perd le contrôle en voulant s'engager sur un rond-point

Marqueurs

vitesse excessive du véhicule A

mauvaise orientation de la trajectoire (chicane)

Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

Signalisation

Position et déplacement d'un véhicule B sur l'anneau

I-3G-A5

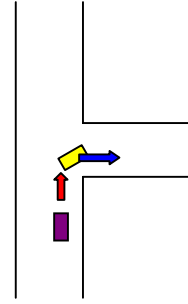
Configuration géométrique

Intersection 3 branches avec voie de TAG

Scénario

TAD

Le véhicule A percute le véhicule B par l'arrière alors que celui-ci, circulant aussi sur la voie principale, s'apprête à tourner vers la voie secondaire.



Marqueurs

Position et déplacement du véhicule B

clignotant droit du véhicule B

vitesse excessive du véhicule A

Marqueurs potentiels/aggravants :

Perturbation de la perception par la luminosité : éblouissement, scène nocturne.

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

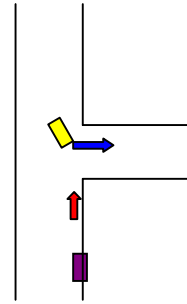
I-3G-A6

Configuration géométrique

Intersection 3 branches avec voie de TAG

Scénario

TAG frontal



Le véhicule A percute le véhicule B provenant de la voie prioritaire en sens inverse et voulant tourner sur sa gauche dans la voie non prioritaire.

Marqueurs

Position et déplacement du véhicule B

vitesse excessive du véhicule A

Perturbation de la visibilité des véhicules par la présence de panneaux de signalisation sur les infrastructures de la voie de TAG.

Marqueurs potentiels

perturbation de la perception du véhicule B : luminosité, contraste du véhicule par rapport au fond

perturbation du contrôle visuel du véhicule B : présence d'un véhicule précédant le véhicule A. L'attention du conducteur B est focalisée par ce premier véhicule, de sorte qu'il prête moins d'attention aux véhicules qui le suivent.

perturbation de la perception du véhicule B : présence d'un véhicule précédant le véhicule B, mais restant sur la route principale. Ce véhicule peut masquer la visibilité de la voie principale au conducteur B (surtout s'il est imposant : camion, bus, tracteur...)

perturbation de la prise de décision du conducteur B : présence d'un véhicule précédant le véhicule B et tournant également vers la route secondaire

Perturbation de la visibilité sur intersection : profil en long. Un profil en montée peut rendre la perception des voies secondaires plus difficile.

Perturbation de la visibilité en intersection : masques à la visibilité, situés aux abords de la route.

signalisation

Virages

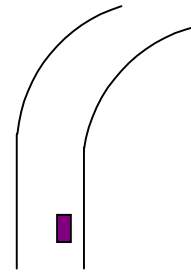
V-1

Configuration géométrique

Courbe isolée

Scénario

Perte de contrôle dû à une arrivée trop rapide sur un virage de courbure prononcée.



Marqueurs

accélération radiale

voie roulante précédant le virage : l'expérience montre que pour une courbure donnée, le danger augmente avec la longueur des lignes droites (ou assimilées) précédant ces virages. Ainsi un virage de courbure inférieure à 200m devient dangereux s'il est précédé d'une ligne droite de longueur supérieure à 500m (cette valeur passe à 1km pour une courbure de 300m)
visibilité sur virage : la perception du virage doit permettre une décélération du véhicule de façon à permettre une arrivée sur virage dans des conditions normales de sécurité.

Marqueurs potentiels

défauts de dévers mineurs

adhérence

Perturbation de la visibilité sur virage : profil en long. On estime qu'une bonne visibilité est de l'ordre de 300m.

Perturbation de la visibilité en virage : masques à la visibilité

Présence/absence de marquages au sol

V-2

Configuration géométrique

Série de courbes successives

Scénario

Perte de contrôle dû à une mauvaise récupération en sortie du virage précédent.

Marqueurs

courbures rapportées des virages : il y a danger lorsque le rapport des courbures de deux virages successifs est compris entre $2/3$ et $3/2$
accélération radiale

Marqueurs potentiels

Adhérence

défauts de dévers mineurs

Perturbation de la visibilité sur virage : profil en long.

Perturbation de la visibilité en virage : masques à la visibilité

Présence/absence de marquages au sol

Exemple :

N° 95025 Salon

Le mercredi 14 juin 1995 vers 21h15, par temps clair le conducteur d'une Ford Fiesta manifestement alcoolisé circule sur la RD 569. A hauteur du PR 6,4, alors qu'il entame une série de virages, il mord légèrement l'accotement droit de la chaussée, percute le talus opposé et revient s'immobiliser sur la partie droite de la chaussée après avoir effectué un tête à queue. Le conducteur sera légèrement blessé.

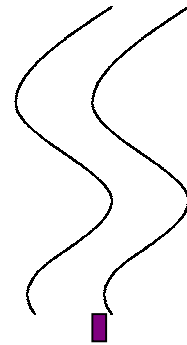
Géométrie : 1^{er} virage = courbe droite ; lg=70m, Rmoy=295m

50m de ligne droite (en montée à 2%) entre les 2 courbes

2^{ème} virage = courbe gauche ; lg=100m, R moy=167m + R mini = 106m sur 50m

dévers 2^{ème} virage = 5% au centre et 2% en sortie.

Revêtement traditionnel de bonne qualité.



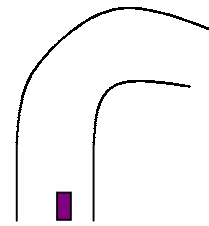
V-3

Configuration géométrique

Virage avec défaut de courbure

Scénario

Perte de contrôle en raison d'une irrégularité de la courbure d'un virage.



Marqueurs

Rayon mini : on considère qu'il existe un rayon mini si, sur une longueur d'au moins 30m, on a un « rayon moyen partiel » inférieur d'au moins 30% au rayon moyen du virage.

Accélération radiale : la vitesse du véhicule doit tenir compte du rayon mini et non du rayon moyen du virage, afin que le véhicule n'entre pas en zone de risque en pénétrant dans la partie du virage présentant une discontinuité de courbure.

Marqueurs potentiels

Adhérence

Perturbation de la visibilité sur virage : profil en long.

défauts de dévers mineurs

Perturbation de la visibilité en virage : masques à la visibilité

Présence/absence de marquages au sol

Exemple :

N° 94021 Salon

Le dimanche 10 avril, à 8h du matin, par beau temps, une jeune fille de 20 ans rentre chez elle au volant d'une 205 après avoir passé la soirée chez des amis. Arrivée au pont surplombant la voie ferrée sur la RD17, suite à un assoupissement très bref durant lequel le véhicule dérive vers la gauche, elle perd le contrôle de son véhicule qui va percuter le trottoir de gauche, traverser la route, taper la barrière à droite et s'immobiliser enfin 13 mètres plus loin en plein centre de la chaussée. La conductrice, non ceinturée, sera légèrement blessée. Géométrie : RM = 158m sur 140m ; Rm = 109m sur 50m, situé dans la 2^{ème} partie de la courbe ; dévers = 4% en début de Rm et 1.5% en fin ; profil en montée : 3% en début de courbe et plat en fin. Cette configuration géométrique « anormale » (rayon mini en fin de courbe + relèvement de dévers) rend ce virage « piègeux », notamment à des vitesses élevées (>90 km/h).

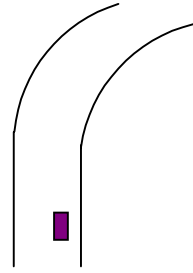
Le revêtement (récent) est en TBE.

V-4

Configuration géométrique
Virage avec dévers inversé

Scénario
Perte de contrôle

Marqueurs
dévers inversé



Marqueurs potentiels

Adhérence
Perturbation de la visibilité en virage : masques à la visibilité
Présence/absence de marquages au sol

Exemple :

N° 97014 Salon

Mercredi 26 mars 1997, vers 16h00, Mr X au volant d'une Porsche 944 cabriolet prêtée par son garagiste, circule à vitesse élevée sur le RD17d, petite route au profil légèrement vallonné et au tracé sinueux, dans un virage à gauche. Le véhicule mord l'accotement droit en sortie de virage, traverse la chaussée percute un talus à gauche et finit sa course contre le talus du côté opposé.

Non ceinturés les trois occupants de la Porsche sont indemnes.

Géométrie : RM = 215m sur 32m, dévers inversé = 2%, profil en descente = 2%.

Cette configuration géométrique anormale rend ce virage « piègeux », notamment à des vitesses supérieures à la limitation.

Revêtement médiocre, rugueux, en enduit superficiel, sol sec.

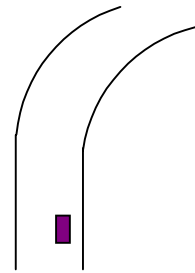
V-5

Configuration géométrique
Virage avec basculement de dévers et accumulation d'eau

Scénario
Perte de contrôle

Marqueurs
basculement de dévers
accumulation d'eau (perte d'adhérence)

Marqueurs potentiels
Présence/absence de marquages au sol



9. ANNEXE II description d'outils

9.1. Conversion de systèmes de coordonnées

Le positionnement GPS a pour particularité de fournir un positionnement absolu sur un ellipsoïde de référence représentant le globe terrestre. Or pour nos applications une position en longitude/latitude est peu exploitable, et l'on serait plus intéressé par un positionnement relatif en mètres, sur un monde considéré comme localement plan.

La formule de conversion est la suivante :

Soient λ , ϕ les longitudes et latitudes initiales

$$\ell = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} - \frac{e}{2} \ln \frac{1 + e \sin \phi}{1 - e \sin \phi}$$

$$R = C \exp(-n\ell)$$

$$\gamma = n(\lambda - \lambda_0)$$

$$X = X_s + R \sin \gamma$$

$$Y = Y_s - R \cos \gamma$$

Où

n , C , X_s , Y_s sont des constantes de la projection

λ_0 est la longitude du méridien central

e est l'excentricité de l'ellipsoïde

	LAMBERT I	LAMBERT II	LAMBERT III	LAMBERT IV	LAMBERT 93
N	0,7604059656	0,7289686274	0,6959127966	0,6712679322	0,7256077650
C	11603796,98	11745793,39	11947992,52	12136281,99	11754255,426
Xs	600000,000	600000,000	600000,000	234,358	700000,000
Ys	5657616,674	6199695,768	6791905,085	7239161,542	12655612,050

$\lambda_0 = 0$ grades Paris (= 2° 20' 14,025" E Greenwich)

$e = 0,08248325676$

9.2. Filtrage de Kalman

Le filtrage de Kalman linéaire consiste à représenter un modèle d'évolution du vecteur d'état que l'on souhaite estimer, ainsi qu'un modèle de mesure représentant le lien entre le vecteur d'état et les données effectivement mesurées. Les erreurs et incertitudes, sur la mesure ou sur l'évolution de l'état, sont représentées par un bruit blanc.

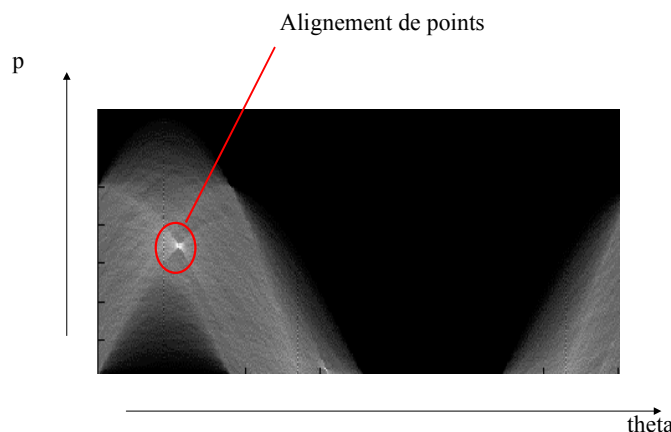
Le vecteur d'état utilisé pour notre application contient comme paramètres la position, vitesse et accélération des cibles radar sur la route, considérée comme un plan (donc un vecteur de taille 6). Le vecteur de mesure ne contient lui que la position et vitesse des cibles, qui sont les seules données mesurées par le radar ; leur accélération sera donc assimilée à un bruit blanc.

$$\begin{aligned}
 X &= (x, \dot{x}, \ddot{x}, y, \dot{y}, \ddot{y}) \\
 Y &= (x, \dot{x}, y, \dot{y}) \\
 X_{n+1} &= \Phi X_n + Q1 \\
 X_n &= CX_n + Q2
 \end{aligned}
 \quad
 \Phi = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},
 \quad
 C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

9.3. Transformée de Hough

L'algorithme de Hough a pour but de rechercher des formes paramétrées en effectuant une transformation (dite transformée de Hough, voir [11]) de l'espace image vers un espace basé sur les paramètres des formes recherchées. L'utilisation la plus courante est la recherche de lignes droites dans une image, ce qui est justement ce qui nous intéresse.

Les droites possibles dans un repère peuvent être paramétrées par deux valeurs, p et θ , correspondant respectivement à la distance de la droite à l'origine et à son inclinaison par rapport à l'axe horizontal. Considérons maintenant une image binaire dans laquelle on souhaiterait trouver des alignements de points. En chaque point (x,y) peut passer une infinité de droites, devant respecter une contrainte $p=f(\theta)$. Chaque point va donc « voter » pour les droites lui correspondant, en ajoutant 1 à chacune des coordonnées $\{(p, \theta) / p=f(\theta)\}$ de l'espace des droites. A la fin des votes, les maxima dans l'espace (p, θ) correspondront aux droites pour lesquelles le plus de points de l'image auront voté, donc aux alignements principaux dans l'image.



9.4. Flot Optique

la méthode de flot optique consiste à déterminer à partir de deux images ou plus le champ de vitesse de chaque pixel. Son principe repose sur l'observation de la luminosité des pixels au fil du temps, en faisant l'hypothèse que la luminosité d'un objet mobile ne varie pas au cours du temps.

Le traitement consiste à considérer la fonction d'intensité $I(x,y,t)$ dans une séquence d'images, et notamment ses dérivées partielles par rapport à x , y et t (x et y étant les coordonnées dans l'image, t le temps).

Les hypothèses faites quant à l'évolution de la luminosité dans l'image nous amènent à l'équation de contrainte :

$$-\frac{\partial I}{\partial t} = \frac{\partial I}{\partial x}u + \frac{\partial I}{\partial y}v$$

Où u et v sont les composantes du champ de vitesse au point (x,y) .

Il est ensuite nécessaire de définir une contrainte supplémentaire pour pouvoir isoler une solution (u,v) unique ; il existe pour cela plusieurs techniques, les plus courantes étant les techniques différentielles (Lucas et Kanade, Horn et Schunk, ...).

La méthode de Lucas et Kanade consiste en une minimisation aux moindres carrés sur un groupe de pixels adjacents. Cela revient en solution approchée à résoudre le système :

$$\begin{aligned} \sum_{x,y} W(x,y)I_x I_y u + \sum_{x,y} W(x,y)I_y^2 v &= -\sum_{x,y} W(x,y)I_y I_t \\ \sum_{x,y} W(x,y)I_x^2 u + \sum_{x,y} W(x,y)I_x I_y v &= -\sum_{x,y} W(x,y)I_x I_t \end{aligned}$$

Où $W(x,y)$ est une fenêtre gaussienne sur le voisinage considéré.

10. ANNEXE III calibration de la caméra PARINA

Les paramètres intrinsèques des deux caméras ainsi que leur position relative par rapport à leur support commun sont déterminés (les deux caméras utilisées pour effectuer les tests). La procédure de calibration utilise la détection automatique d'indices visuels connus sur une mire. La recherche des paramètres s'appuie sur les correspondances trouvées entre les indices détectés dans l'image et les indices réels sur la mire. La méthode employée est inspirée des travaux de Tsai¹ à laquelle nous avons ajouté la détermination de deux paramètres intrinsèques supplémentaires. Elle évalue donc, en deux étapes, les paramètres extrinsèques puis les paramètres intrinsèques. La détermination des paramètres est basée sur la minimisation de deux fonctions non linéaires reliant les couples d'indices correspondants (entre le monde réel et leur image à travers la caméra). La méthode d'optimisation non linéaire employée repose sur la linéarisation locale et l'itération.

10.1. Le modèle de caméra utilisé

Le modèle de caméra utilisé est un modèle de sténopé avec distorsion radiale du premier ordre. Le schéma de la Figure_1 illustre ce modèle.

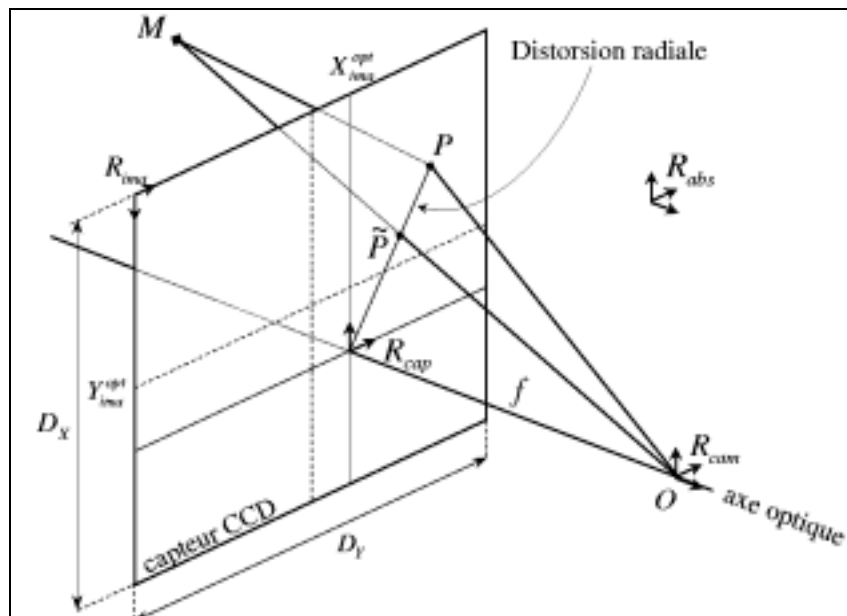


Figure 1 : Modèle de sténopé distorsion radiale.

Dans cette figure, M est un point de l'espace et P représente son image sur le capteur CCD. Le point O représente le centre du repère caméra. Le plan du capteur est perpendiculaire à l'axe optique. Le point P' est le projeté de M si on n'avait pas de distorsion, obtenu par projection centrale de centre O . Si le modèle utilisé ne prenait pas en compte la distorsion radiale (sténopé simple), le point P coïnciderait avec P' . L'intersection entre l'axe optique et le capteur n'est pas nécessairement placée au centre de ce dernier.

Nous allons par la suite considérer quatre repères distincts. Le premier est le repère "absolu" dans lequel sont exprimés les points de l'espace. Le second correspond au repère spatial R_{cam} , lié à la caméra. Il est centré sur O , ses deux premiers axes suivent les directions principales de la trame du CCD et son troisième axe est dans la direction de l'axe optique (dans le sens inverse de l'observation). Les deux autres repères sont des repères plans, liés au capteur et dont les axes suivent les directions principales de la trame du CCD. Un premier repère "capteur" R_{cap} est centré sur l'intersection entre l'axe optique et le CCD. Le second est le repère image R_{ima} dont le deuxième axe est inversé comme le montre la Figure_1. Son centre est placé dans le coin supérieur gauche du capteur. D'autre part, ses vecteurs de base ne sont pas normés de la même façon que ceux des autres repères et permettent de passer à des coordonnées exprimées en "pixels". En d'autres termes :

¹ "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses", IEEE Journal of Robotics and Automation, volume 3, N°4, pages 323-344, 1987.

$$\begin{aligned} \|\vec{i}_{cap}\| &= dx \cdot \|\vec{i}_{ima}\| \\ \|\vec{j}_{cap}\| &= dy \cdot \|\vec{j}_{ima}\| \end{aligned}$$

où dx et dy sont les dimensions d'une cellule du capteur CCD. Sur le schéma, D_x et D_y sont les dimensions du capteur. Si on note N_x et N_y les résolutions en largeur et en hauteur du capteur, on a : $dx = D_x/N_x$ et $dy = D_y/N_y$.

Les coordonnées d'un point M de l'espace exprimées dans le repère absolu seront notées $(X_{abs}, Y_{abs}, Z_{abs})$. Lorsqu'elles seront exprimées dans le repère caméra, nous les appellerons $(X_{cam}, Y_{cam}, Z_{cam})$. Les coordonnées de son projeté P sur le plan capteur et par rapport à O seront notées (X_{cap}, Y_{cap}) . (X_{dis}, Y_{dis}) représenteront les coordonnées (toujours dans R_{cap}) du point P qui est le correspondant "distordu" du point P . Pour finir, ce même point P aura pour coordonnées (X_{ima}, Y_{ima}) dans le repère image.

Les paramètres extrinsèques que nous cherchons à établir expriment la transformation qui permet de passer du repère absolu R_{abs} au repère caméra R_{cam} . Ils sont au nombre de six : (ψ, φ, θ) correspondent aux trois angles de Bryant à appliquer au repère absolu pour qu'il vienne se placer sur le repère caméra ; (T_x, T_y, T_z) est la position du centre du repère absolu exprimée dans le repère caméra.

Les paramètres intrinsèques comprennent la distance focale f , la position $(X_{ima}^{opt}, Y_{ima}^{opt})$ du centre du repère capteur R_{cap} exprimée dans le repère image R_{ima} et le coefficient de distorsion radiale au deuxième ordre k . Dans notre modèle, nous considérons également que le rapport de la hauteur dx d'un pixel sur sa largeur dy , que nous appellerons d_{yx} , est indéterminé et fait partie des paramètres intrinsèques à retrouver. En effet, dans une première implémentation de cet algorithme de calibration, qui ne prenait pas en compte ce paramètre, il s'est avéré qu'une composante importante de l'erreur de calibration provenait de la mauvaise estimation de ce rapport. Les données du constructeur ne sont visiblement pas suffisamment précises pour être utilisées directement. Dans cette deuxième implémentation, les données du constructeur concernant ce rapport ne sont utilisées que pour initialiser la valeur du paramètre qui sera plus précisément déterminé par optimisation. Si nous n'avons pas considéré séparément dx et dy , c'est parce que parmi les trois paramètres dx , dy et f , seuls deux sont indépendants.

Les équations qui permettent de passer des coordonnées d'un point "distordu" exprimées dans le repère image aux coordonnées de ce même point exprimées dans le repère capteur sont les suivantes :

$$\begin{aligned} X_{dis} &= dx (X_{ima} - X_{ima}^{opt}) \\ Y_{dis} &= dy (Y_{ima} - Y_{ima}^{opt}) \end{aligned}$$

Les équations qui relient les coordonnées d'un point "distordu" avec celles de son correspondant "non distordu" dans le repère capteur sont les suivantes :

$$\begin{aligned} X_{cap} &= X_{dis} (1 + k (X_{dis}^2 + Y_{dis}^2)) \\ Y_{cap} &= Y_{dis} (1 + k (X_{dis}^2 + Y_{dis}^2)) \end{aligned}$$

10.2. La procédure de calibration et le mode opératoire

Le dispositif de calibration:

Le dispositif qui nous a permis d'effectuer les calibrations de la caméra est une mire "en damier" composée de 20 x 14 carrés. La taille de chaque carré est de 4cm x 4cm (cf. [Figure 2](#)).

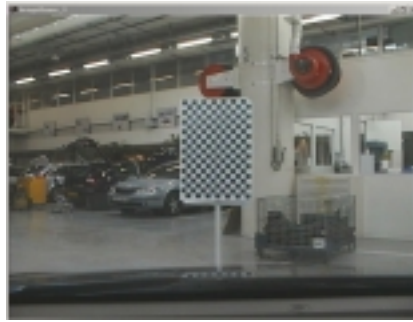


Figure 2 : La mire de calibration.

Principe de calibration et mode opératoire:

A l'heure actuelle, la calibration s'effectue "off-line" mais la procédure peut être intégrée au sein d'un module $RTMAPS$ de façon à ce qu'elle soit utilisée en temps réel ou pas à la manière de $RTMAPS$.

La calibration de la caméra repose sur un principe simple:

1. l'extraction d'indices visuels dans l'image (ici, les coins des carrés),
2. le repérage de ces indices et leur positionnement (dans le repère image puis dans le repère caméra),
3. mise en correspondance de ces indices avec les amers 3D réels appartenant à la mire,
4. l'association des ces positions 3D avec les positions 2D des indices visuels extraits et ce, à travers les paramètres intrinsèques et extrinsèques; et enfin:
5. l'estimation des paramètres de calibration.

Nous allons décrire rapidement chacune de ces 5 étapes dans l'Annexe dédiée à la calibration.

10.3. Les résultats de la calibration

La calibration a fourni les paramètres suivants pour la caméra utilisée pour les séquences de tests:

Paramètres intrinsèques :

- Focale : $f = 1.9 \text{ mm}$
- Position du centre optique dans le repère image normalisé : $X^{opt}_{ima} = 144 \text{ pixels}, Y^{opt}_{ima} = 192 \text{ pixels}$
- Taille du pixel CCD : $d_x = d_y = 73.31 \text{ pixels}$ → 1 mm CCD donne 73.31 pixels en X et en Y (le pixel est supposé carré)
- Distorsion radiale du 1^{er} ordre : négligeable ! → $k = 0$

Paramètres extrinsèques :

- Hauteur de la caméra par rapport au repère odométrique (milieu de l'essieu arrière): $T_z = 1.1 \text{ mètres}$
- Tangage de la caméra : $\psi = -2.3^\circ$
- Inclinaison de la caméra : $\phi = -1.22^\circ$
- Lacet de la caméra (cap) : $\theta = 0^\circ$

Translation du repère caméra par rapport au repère odométrique (exprimée dans le repère du véhicule, le repère odométrique) :

$$T_x = 1.80 \text{ m} \quad T_y = 0.13 \text{ m} \quad T_z = 1.10 \text{ m}$$

Dans ce qui suit, nous allons exposer brièvement les 5 étapes de calibration de la caméra. Cette annexe complète la partie du rapport dédié à la description de la calibration; cependant, nous ne nous intéresserons dans cette annexe qu'aux côtés algorithmiques et théoriques.

A1. Extraction des indices dans la mire

Les traitements d'images nécessaires à l'extraction des indices utilisés ne seront pas expliqués en détail. Ce sont des algorithmes classiques fréquemment employés en vision par ordinateur. Nous nous contenterons donc de donner le principe de chacun ainsi que leur enchaînement. Les informations que nous allons extraire sont les coins des carrés de la mire apparaissant dans l'image. Ces coins seront obtenus en calculant les intersections des droites extraites dans l'image plutôt que d'utiliser un détecteur de coins classique. La mesure qu'on en fera sera donc très stable et précise.

La mire présente des carrés noirs sur fond blanc. La première opération consiste donc à supprimer de l'image l'information colorimétrique en la transformant en image d'intensité, puis en image binaire. Ce traitement permet de réduire la quantité de données à traiter et de faire ressortir l'information pertinente en supprimant les données superflues. L'algorithme utilisé attribue à chaque pixel une valeur d'intensité correspondant à la moyenne des trois composantes de couleur contenues dans l'image initiale.

Cette image d'intensité est ensuite transformée en image binaire par seuillage global adaptatif. La valeur du seuil utilisé est obtenue en faisant l'hypothèse que l'image analysée est intrinsèquement bimodale, c'est à dire uniquement composée d'un fond et d'une forme (ce qui est le cas d'une grande partie de notre image, occupée par la mire).

Il existe de nombreux algorithmes de détermination automatique d'un seuil global permettant de "binariser" une image de niveaux de gris. Les plus répandus s'appuient sur une étude, plus ou moins complexe, de l'histogramme de l'image initiale (nombre de pixels pour chaque niveau de gris). Si l'image est bimodale, l'histogramme doit présenter deux pôles distincts répartis autour des deux valeurs moyennes des niveaux de gris correspondant au fond et à la forme. Le seuil optimal est alors le niveau de gris permettant de séparer au mieux ces deux composantes de l'image, c'est-à-dire le seuil minimisant le nombre de pixels assignés à la mauvaise catégorie.

On utilise ici l'algorithme de Ridler et Trussel que les auteurs utilisent en première étape d'une méthode itérative plus performante mais plus complexe.

L'algorithme complet a été implémenté, mais seule la première étape est utilisée ([Figure 3](#)). En effet, étant donné la nature des images à seuiller (principalement noir et blanc), la deuxième étape, relativement coûteuse, n'améliorait pas de manière significative les résultats obtenus.

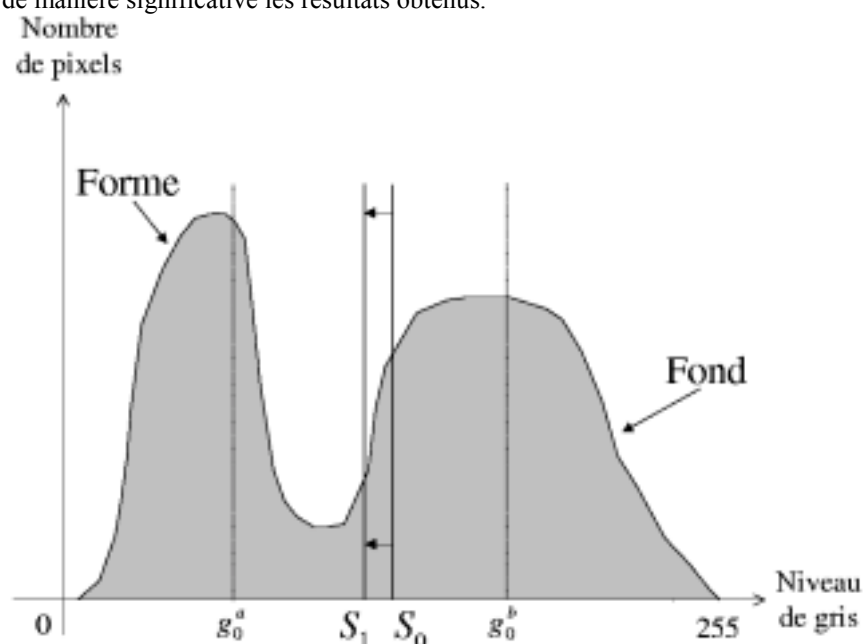


Figure 3 : Seuillage d'une image bimodale

Au départ, on choisit arbitrairement un seuil s_i pour diviser l'histogramme en deux (par exemple le milieu de l'intervalle des niveaux de gris). On calcule alors le niveau de gris moyen de chacune des deux parties, que l'on notera g_i^a et g_i^b . La moyenne entre ces deux valeurs $(g_i^a + g_i^b)/2$ sera ensuite utilisée comme seuil de séparation de l'histogramme pour l'itération suivante (s_{i+1}). On réitère ce processus jusqu'à ce qu'une solution stable soit obtenue. Cette valeur constitue alors le seuil retenu. Pour information, le principe du reste de la méthode est de rechercher une valeur de niveau de gris minimisant le recouvrement de deux distributions normales approximant les "sous-histogrammes" qui apparaissent de part et d'autre du seuil actuel. Ceci est aussi répété jusqu'à stabilisation.

L'image binaire obtenue va être utilisée pour rechercher les composantes connexes noires susceptibles de correspondre aux carrés de la mire. Un algorithme classique d'étiquetage permet de séparer ces composantes connexes dans l'image binaire. Son principe est de parcourir l'image une première fois pour attribuer aux pixels noirs directement connexes (du point de vu du parcours) un label particulier. Au cours du parcours, il peut arriver que deux régions de pixels connexes de labels différents s'avèrent, finalement, appartenir à la même composante connexe. Dans ce cas, on garde simplement une trace des différents labels correspondants à une même composante connexe. A la fin du parcours, on attribue alors à chaque groupe de labels (associés à une même composante connexe) une étiquette définitive. Il ne reste plus qu'à effectuer un deuxième passage pour remplacer chaque numéro de label par le numéro d'étiquette qui lui correspond.

A2. Le repérage de ces indices et leur positionnement

On calcule ensuite la position de tous les coins des carrés par intersection des segments issus de la segmentation de l'image binaire.

Pour finir, il faut être capable d'associer à chaque coin trouvé, le carré correspondant dans la mire. La détection du placement, dans la mire, de chaque disque extrait est automatisée. Elle se base sur la connaissance des positions relatives des carrés les uns par rapport aux autres de et sur l'hypothèse que les lignes joignant les coins détectés de la mire présentent un angle inférieur à 45° par rapport à la caméra. Sur la base d'une hypothèse d'alignement et d'espacement régulier pour les coins des carrés, il est facile d'identifier ceux qui correspondent effectivement à un carré de la mire et quelles sont leurs positions relatives par rapport au "coin de référence"; les autres seront rejetés. Ceci, constitue donc une dernière discrimination des composantes connexes indésirables. Les sommets retenus sont donc finalement associés à une position spatiale connue (celle d'un coin du carré correspondant sur la mire, que l'on vient d'identifier).

A3. Mise en correspondance de ces indices avec les amers 3D réels

En fin de cette phase complètement automatisée (mis à part les placements de la mire à différentes positions sur le banc de calibration), on dispose donc d'un ensemble de correspondances C_p , chacune associant une position spatiale à un point extrait de l'image. La détermination des paramètres de la caméra sera basée sur cet ensemble de correspondances.

A4. L'estimation des paramètres de calibration

A4.1 Détermination des paramètres extrinsèques (sauf T_z)

Dans cette première phase de l'algorithme, nous allons déterminer les paramètres extrinsèques de la caméra sauf T_z , c'est-à-dire $(\psi, \varphi, \theta, T_x, T_y)$, en supposant les autres fixes. C'est la raison pour laquelle la méthode nécessite la donnée de valeurs initiales approximatives pour f , $X_{\text{ima}}^{\text{opt}}$ et $Y_{\text{ima}}^{\text{opt}}$. Ces deux dernières seront simplement initialisées aux demies résolutions de l'image, en largeur et en hauteur respectivement. La détermination des paramètres extrinsèques va être réalisée en utilisant une relation issue du théorème de Thalès, établie pour les triangles semblables représentés dans la Figure_4.

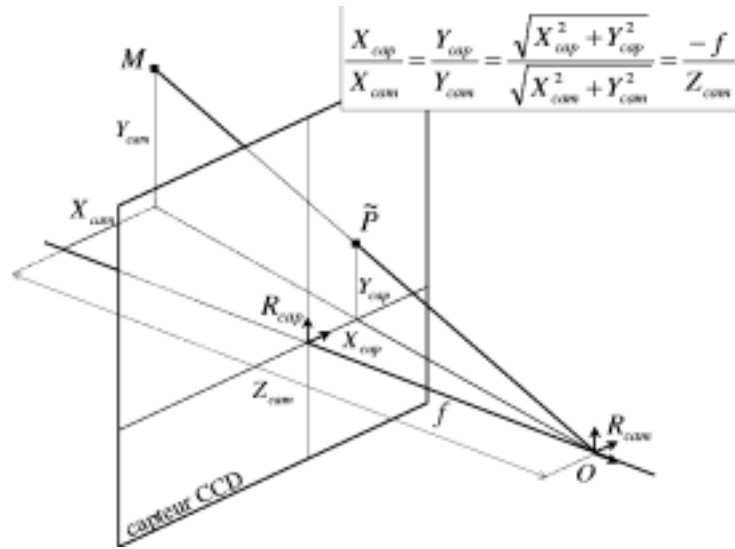


Figure 4 : Relation entre les coordonnées réelles et les coordonnées projectives.

Cette relation doit être vérifiée par le modèle de caméra que l'on cherche à établir, et cela pour chaque correspondance entre un point réel (centre de disque de la mire) et son image. Pour une telle correspondance : $C_i = \{(X_{abs}^i, Y_{abs}^i, Z_{abs}^i), (X_{ima}^i, Y_{ima}^i)\}$, la relation s'écrit :

$$\frac{X_{cap}^i}{X_{cam}^i} = \frac{Y_{cap}^i}{Y_{cam}^i}$$

ou de manière équivalente :

$$F_{ext}^i = X_{cap}^i \cdot Y_{cam}^i - Y_{cap}^i \cdot X_{cam}^i$$

Afin de trouver les paramètres du modèle qui seront capables de vérifier au mieux l'ensemble de ces équations, nous définissons une fonction de mérite χ^2 qui est la somme quadratique des F_{ext}^i . Nous allons donc minimiser, au sens des moindres carrés, l'ensemble de ces différences. La fonction χ^2 est non linéaire dans les paramètres sur lesquels nous cherchons à la minimiser. Nous n'allons pas détailler la méthode d'optimisation utilisée; cependant, pour la mettre en oeuvre, il est nécessaire de connaître la valeur des F_{ext}^i ainsi que leurs dérivées partielles par rapport aux paramètres considérés, et cela pour chaque configuration de paramètres.

En partant d'un sommet de carré extrait de l'image (X_{ima}^i, Y_{ima}^i) , nous pouvons remonter à ses coordonnées dans R_{cap} puis calculer les coordonnées de son correspondant "non distordu" (X_{cap}^i, Y_{cap}^i) en utilisant les relations établies dans le paragraphe 1.2.3.

A4.2 Détermination des paramètres intrinsèques (plus T_Z)

Une fois que les paramètres extrinsèques (sauf T_Z) ont été estimés par minimisation de la somme quadratique des F_{ext}^i , nous pouvons procéder à la détermination des paramètres restants du modèle de la caméra. Il s'agit donc des paramètres $T_Z, f, X_{opt_{ima}}, Y_{opt_{ima}}, d_{yx}$ et k , les autres paramètres étant considérés fixes. Selon le même principe que pour la première étape, nous allons utiliser une autre relation issue des propriétés des triangles semblables (cf. Figure_4) :

$$\frac{\sqrt{(X_{cap}^i)^2 + (Y_{cap}^i)^2}}{\sqrt{(X_{cam}^i)^2 + (Y_{cam}^i)^2}} = \frac{-f}{Z_{cam}^i}$$

Cette équation, qui fait intervenir les paramètres en question, doit être vérifiée pour toutes les correspondances C_i . On peut donc la réécrire, autant de fois que l'on a détecté de sommets de carrés au cours des acquisitions, de la façon suivante :

$$F^i_{\text{int}} = f \cdot \sqrt{(X^i_{\text{cam}})^2 + (Y^i_{\text{cam}})^2} + Z^i_{\text{cam}} \cdot \sqrt{(X^i_{\text{cap}})^2 + (Y^i_{\text{cap}})^2} = 0$$

En utilisant une fois de plus la même méthode d'optimisation, les paramètres optimaux, au sens des moindres carrés appliqués aux fonctions F^i_{int} , vont être recherchés.

A4.3 Bouclage sur les deux étapes

Les paramètres extrinsèques recherchés dans la première étape de l'algorithme ont été estimés en utilisant des valeurs approchées des paramètres intrinsèques. Pour cette raison, la précision obtenue n'est pas optimale. D'autre part, ces paramètres "mal" estimés sont utilisés par la suite dans la deuxième étape de l'algorithme et servent à leur tour à estimer les paramètres restants. Afin de contourner ce problème, la double minimisation décrite dans cette annexe est en fait exécutée en boucle. De cette façon, les paramètres servant de base aux calculs des paramètres complémentaires sont de plus en plus précis et la qualité de la calibration obtenue se stabilise très rapidement. En général, deux doubles minimisations sont suffisantes.