

Les véhicules intelligents



Etudiants :

| | |
|-----------------------------|----------------------------|
| Jean-Baptiste GUYARD | Jean-Eudes ROUFFIAC |
| Chloé FAYET | Clara MARTINI |
| Gabriela CUCU | Cyril ANTOUN |

Enseignant-responsable du projet :

Aziz BENSRAIR

Date de remise du rapport : *13/06/2016*

Référence du projet : *STPI/P6/2016– n°6*

Intitulé du projet : *Les véhicules intelligents*

Type de projet : *Recherche d'informations approfondie*

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

Notre projet traite des véhicules intelligents. Nous allons nous concentrer sur les voitures autonomes. Il s'agira dans le cas présent d'effectuer des recherches approfondies sur les avancées actuelles mises en œuvre, et les projets déjà existants. Nous allons déterminer et expliciter les différents outils technologiques et scientifiques nécessaires à la réalisation de ces voitures, notamment les capteurs. Nous étudierons les possibilités d'amélioration des systèmes existants via la fusion de capteurs.

À travers ce projet, nous voulons montrer les progrès techniques nécessaires à l'aboutissement de ces véhicules tout en démontrant les enjeux des voitures autonomes.

Mots-clefs du projet (4 maxi) :

Autonome

Capteurs

Fusion

Véhicule intelligent

Sommaire

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION | 8 |
| Méthodologie / Organisation du travail | 9 |
| I. État de l'art | 10 |
| 1) L'évolution du véhicule intelligent de ses débuts à aujourd'hui | 10 |
| 2) La technologie existante aujourd'hui | 10 |
| 3) Législation | 11 |
| II. Le concept | 12 |
| 1) Communication | 12 |
| a) Communication Inter véhicules (V2V) | 12 |
| b) Communication véhicule-infrastructure (V2I) | 13 |
| 2) Cartographie | 13 |
| a) Global Positioning system (GPS) | 13 |
| b) Galileo | 16 |
| III. La perception | 17 |
| 1) Les caméras | 17 |
| a) Les caméras mono-vision | 17 |
| b) Les caméras stéréovision | 17 |
| 2) Les télémètres laser et lidars | 19 |
| 3) Les radars acoustiques | 20 |
| 4) La fusion de capteurs | 21 |
| a) Fusion par accumulation | 21 |
| b) Fusion par amélioration | 21 |
| c) Le calibrage | 21 |
| Conclusion | 23 |
| Conclusions personnelles | 24 |
| Bibliographie | 25 |

NOTATIONS ET ACRONYMES

GPS : Global Positioning System

SPS : Standart Positioning System

PPS : Precise Positioning System

DGPS : Differential Global Positioning System

IDGPS : Inversly Differential Global Positioning System

ERGS : l'Electronic Route Guidance System

STI : Système de Transport Intelligent

CACS: Comprehensive Automobile Traffic Control System

ALI : Autofahrer Leit and Information

PROMETHEUS : PROgramM for European Traffic with Highest Efficiency

l'IVHS America : Intelligent Vehicle Highway Society of America

ABS : Anti-Braking System

ESP : Electronic Stability Program

ADAS : Advanced Driving Assist System

V2V : Vehicle to vehicle

V2I : Vehicle to Infrastructure

IVC : Inter-Vehicle Communication

VANET : Vehicular Ad-Hoc Network

DSRC (Dedicated short-range communications)

3D : Trois Dimensions

Lidar : laser detection and ranging

INTRODUCTION

Les moyens de transport font partie intégrante de notre quotidien : nous les utilisons pour tous nos déplacements quotidiens, mais aussi pour les long trajet, et parmi eux, la voiture est de loin la plus sollicitée. Néanmoins les accidents de la route restent fréquents, et représentent environ 5000 morts par an. C'est pour réduire le nombre d'accidents, mais aussi pour le confort des utilisateurs et la réduction de la pollution que les laboratoires développent le véhicule intelligent.

Les véhicules de demain seront programmés pour se conduire seuls, et auront une conduite optimisée pour polluer le moins possible. Mais les voitures ne seront pas les seules concernées. Les infrastructures seront elles aussi améliorées, connectées, formant ainsi un gigantesque réseau favorisant l'évolution de ces véhicules autonomes. Grâce à un échange constant d'informations, le trafic sera constamment fluide, et le risque d'accident fortement amoindri. Il sera aussi possible de former des convois de voitures, qui suivent un véhicule de tête pour les mener jusqu'à une destination commune. Ce ne sont que des exemples de projets sur lesquels les laboratoires de recherches et les grandes entreprises travaillent aujourd'hui.

Si c'est un sujet qui touche tout le monde, nous l'affectionnons particulièrement en tant qu'élèves-ingénieurs. Il s'agit en effet d'un des sujets les plus prisés de notre époque, qui présente en plus la particularité d'apporter une solution à des sujets de société tel que l'écologie et la sécurité routière. Ce sujet a aussi l'avantage d'englober plusieurs domaines de compétences, tels que la mécanique et l'informatique, ce qui nous convenait parfaitement puisque dans notre groupe de 6 nous souhaitons nous spécialiser dans des domaines différents. Ainsi, chacun d'entre nous a pu aborder le sujet sous un angle qui l'intéresse.

Dès le début de nos recherches il nous est apparu que le véhicule intelligent est un domaine extrêmement vaste, qu'il nous serait impossible de traiter dans son intégralité. Nous espérons ainsi pouvoir rendre compte du principe de transport intelligent sans pour autant traiter des sujets au-delà de notre compréhension, les applications possibles étant très nombreuses et demandant souvent des connaissances théoriques poussées pour appréhender entièrement le concept.

Nous avons eu la chance, grâce à M BENSRAHAI, de rencontrer M NASHASHIBI, chercheur de l'INRIA (Rocquencourt, 78), qui est venu nous présenter ses travaux. Ce fût pour nous l'opportunité de constater l'avancée des recherches effectuées dans le domaine, et cela nous a aussi permis d'approfondir nos connaissances sur le sujet.

Nos recherches ont principalement porté sur les différents types de capteurs, sur l'acquisition des données et les méthodes pour optimiser ces dernières. Nous voulions néanmoins faire un point sur l'évolution de l'automobile et des systèmes d'aide à la conduite jusqu'à aujourd'hui, avant de présenter les trois grands axes sur lesquels s'appuie le véhicule intelligent : la communication, la perception et la localisation. Afin de présenter les progrès réalisés, et ceux qui restent à faire, nous terminerons par la présentation d'une technique phare, la fusion de capteur.

Méthodologie / Organisation du travail

Ce projet s'est déroulé dans un cadre scolaire, chaque semaine, nous avions une séance d'une heure et demie avec un autre groupe sous la tutelle de M BENSRAHAI. Les séances se déroulaient dans la salle de conférence du groupe LITIS (bâtiment Bougainville).

Nous avons désigné lors de la première séance un chef de groupe (Jean-Baptiste GUYARD) afin de rester en contact avec notre professeur et restituer au début de chaque séance les évolutions du projet. Une fois la mise au point terminée, chacun travaillait avec son binôme à l'avancement du dossier, les tâches ayant été réparties au début du projet (rédaction du rapport, recherche bibliographique...).

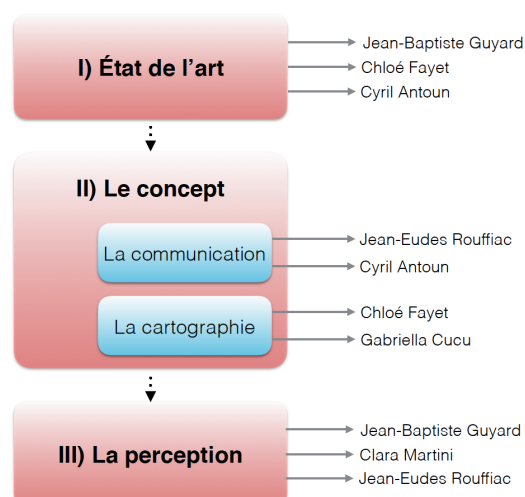
Pour réaliser ce projet nous avons prévu un calendrier qui a difficilement été maintenu. En effet, nos cursus respectifs nous prenant du temps, nous n'avons pas toujours été capable de maintenir le rythme que nous nous étions imposé. Mais une forte solidarité nous a permis de surmonter ce contre-temps. Lorsqu'un membre de l'équipe ne pouvait pas effectuer son travail, son binôme le remplaçait afin de combler le retard. Au besoin, nous mettions à profit notre séance hebdomadaire pour aider le binôme en difficulté, les remettant ainsi à jour.

Comme dit précédemment, nous nous sommes réparti les différentes parties de notre dossier, en faisant notre possible pour que chacun traite le sujet qui lui convenait le plus, non seulement par rapport à son orientation, mais aussi par rapport à ses intérêts personnels, de telle sorte que chacun prenne plaisir à apporter sa contribution.

Afin de nous plonger au coeur du sujet, M BENSRAHAI a invité M NASHASHIBI à venir nous présenter l'INRIA, ce qui nous a remotivé après plusieurs mois de recherches mais aussi ouvert de nouveaux horizons.

Pour rester en contact pendant ce travail, nous avons créé un groupe Facebook afin de partager nos progrès mais aussi de nous poser des questions et de s'entraider.

Concernant la rédaction du dossier, chacun s'est chargé d'effectuer les recherches liées à sa partie, mais aussi de résumer et de rédiger celle-ci dans un nombre de pages prédéfini.



I. État de l'art

1) L'évolution du véhicule intelligent de ses débuts à aujourd'hui

Les premiers programmes de systèmes de transport intelligent ou STI ont commencé à se développer dans les années 60, grâce aux avancées technologiques dans le domaine de l'informatique et à l'ERGS aux Etats-Unis. Leur objectif premier était l'aide à la conduite, sous forme d'un calcul d'itinéraire effectué à chaque intersection par un ordinateur central.

D'autres projets sont nés à la même époque tels que le programme CACS au Japon, ou bien le système ALI en Allemagne.

Néanmoins tous ces projets ont rencontré le même problème : les infrastructures informatiques n'étaient pas encore assez développées pour fournir un service convenable et fluide.

Il a donc fallu patienter jusqu'aux années 80, et le développement des technologies pour voir apparaître de nouveaux projets. On remarque notamment le projet PROMETHEUS en 1986, et l'IVHS America en 1988. Ces deux projets partageaient une vision commune axée sur l'optimisation de la sécurité, un meilleur usage de l'énergie, une diminution de la pollution.

D'autres technologies ont aidé à mettre en place la notion de véhicule intelligent telles que le GPS, sur lequel se basent aujourd'hui les cybercars pour se diriger, les systèmes d'aide à la conduite, principalement des systèmes de sécurité active tels que l'ABS, l'ESP, un stabilisateur électronique de trajectoire évitant la perte de contrôle du véhicule lors de manoeuvres trop brusques. Et tous les secteurs de piétons, les contrôles de phares intelligents, les alertes de franchissement de ligne, les systèmes anti-collisions... Ces différentes innovations ont posé les fondations qui ont mené au véhicule intelligent que l'on connaît aujourd'hui.

2) La technologie existante aujourd'hui

De nos jours, les constructeurs automobiles ont déjà mis en place des voitures intelligentes. Ces véhicules ne sont pas encore autonomes mais ils proposent déjà aux utilisateurs de nombreux services. Ainsi on trouve notamment Tesla avec son model S récemment équipé de technologie permettant un pilotage automatique. La voiture possède un radar à l'avant, 12 capteurs ultrasons, une caméra orientée vers l'avant, un système électrique d'aide au freinage haute précision contrôlé numériquement, un GPS et des cartes numériques. Le véhicule peut alors continuer son trajet tout en restant dans sa voie, changer de voie lorsque le conducteur actionne le clignotant et gérer sa vitesse selon son environnement. De plus, la voiture évite les collisions frontales et latérales grâce à un contrôle numérique.

Cependant, les voitures Tesla restent des véhicules coûteux et par conséquent inaccessibles à la majorité des acheteurs. Les conducteurs de la classe moyenne peuvent tout de même profiter de petites avancées technologiques disponibles sur les tout nouveaux modèles de voitures. On note par exemple les limiteurs et régulateurs de vitesse. Encore plus avancés, il existe les radars anti-collisions et le freinage automatique. Honda a mis au point le système ADAS. Il adapte la vitesse de la voiture en fonction de la distance qui la sépare de l'objet devant elle. De plus, on remarque les systèmes de détection de panneaux de signalisation et de franchissement de lignes blanches, les correcteurs de trajectoire, ou encore le Park Assist qui fonctionne grâce aux ondes sonores et qui prend le contrôle de la voiture pendant le stationnement. L'ensemble de ces dispositifs révèle la volonté des constructeurs automobiles de développer des voitures qui à terme seront autonomes.

D'ailleurs, certains se rapprochent déjà de leur but. En effet, le 5 octobre 2015, le groupe PSA a effectué en France son premier test de voiture autonome. Le groupe a mis au point une C4 Picasso et a parcouru de façon totalement autonome un trajet Bordeaux-Paris, soit environ 580km.

3) Législation

Jusqu'à présent la Convention de Vienne n'autorise pas la circulation sur route publique de ces véhicules. Selon l'article 8 : « Tout conducteur doit constamment avoir le contrôle de son véhicule ou pouvoir guider ses animaux ».

De plus d'après l'Article R412 modifié le 30 juillet 2008 : « Tout véhicule en mouvement ou tout ensemble de véhicules en mouvement doit avoir un conducteur. Celui-ci doit, à tout moment, adopter un comportement prudent et respectueux envers les autres usagers des voies ouvertes à la circulation. Il doit notamment faire preuve d'une prudence accrue à l'égard des usagers les plus vulnérables. »

Mais des progrès sont observables à ce niveau, la loi énergétique adoptée le 22 juillet 2015 prévoit les conditions suivante : « Dans les conditions prévues à l'article 38 de la Constitution, le Gouvernement est autorisé à prendre par ordonnance toute mesure relevant du domaine de la loi afin de permettre la circulation sur la voie publique de véhicules à délégation partielle ou totale de conduite, qu'il s'agisse de voitures particulières, de véhicules de transport de marchandises ou de véhicules de transport de personnes, à des fins expérimentales, dans des conditions assurant la sécurité de tous les usagers et en prévoyant, le cas échéant, un régime de responsabilité approprié. La circulation des véhicules à délégation partielle ou totale de conduite ne peut être autorisée sur les voies réservées aux transports collectifs, sauf s'il s'agit de véhicules affectés à un transport public de personnes. Cette ordonnance est prise dans un délai d'un an à compter de la promulgation de la présente loi. Un projet de loi de ratification est déposé devant le Parlement dans un délai de six mois à compter de la publication de l'ordonnance ».

Viens par la suite le problème des assurances. À qui la faute si un bug ou un accident survient lors du fonctionnement de ces voitures qui ne sont que des machines donc en proie à des problèmes informatiques ou tout simplement à des accidents extérieurs à la voiture ? C'est la question que de nombreux ingénieurs et assureurs se posent aujourd'hui.

II. Le concept

1) Communication

a) Communication Inter véhicules (V2V)

A l'heure actuelle, la sécurité routière est une préoccupation majeure des développements des véhicules. Le défi est de tout mettre en œuvre pour que l'accident ne survienne jamais. Afin d'améliorer la sécurité des déplacements et faire face aux accidents routiers, les IVC (inter-vehicle communication) offrent la possibilité de prévenir les collisions et les travaux sur les routes, de détecter les obstacles (fixes ou mobiles) et de distribuer les informations météorologiques. Mais les IVC peuvent aussi être appliqués pour l'aide à la conduite (aider le conducteur dans certaines situations : aide aux dépassements de véhicules, prévention des sorties de voies en ligne ou en virage, etc.) et le confort (les services de communication et d'informations des utilisateurs comme l'accès mobile à l'Internet, la messagerie, le chat inter-véhicules, les jeux en réseaux, etc.).

Les réseaux Ad-Hoc sont des réseaux sans fil capables de s'organiser sans infrastructures. Au lieu de communiquer via un point d'accès centralisé, ils forment des nœuds sans fil communicants entre eux pour échanger des informations. Dans un contexte de mobilité, ils sont appelés MANET. Les réseaux de communication Ad-Hoc inter véhicules sont appelés des réseaux VANET. Dans ces réseaux les nœuds sont fortement dynamiques. On distingue alors V2V et V2I.

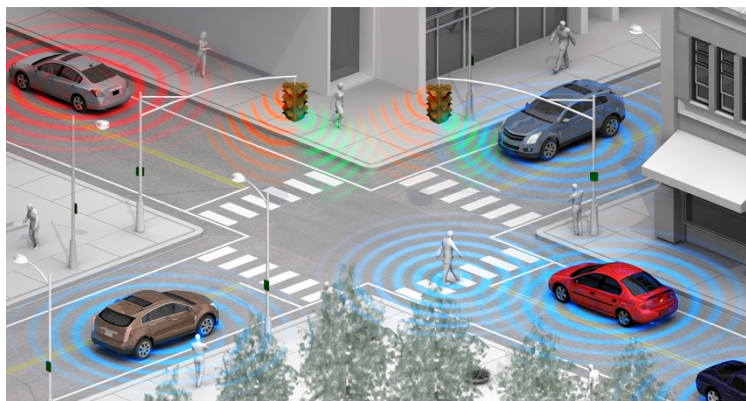


IMAGE 1: LE V2V PERMET AUX ORDINATEURS DES VOITURES ET CAMIONS DE SE CONNECTER ET D'ÉCHANGER DES INFORMATIONS.

Ce type d'architecture s'appuie sur un système distribué et autonome et est formé par les véhicules eux même sans l'appui d'une infrastructure fixe pour le relayage des données et des messages. Il s'appuie sur les technologies et disciplines suivantes : collecte d'information et perception de l'environnement proche (avec les capteurs et les caméras), le traitement (doté d'intelligence), le stockage (pour disposer de différentes informations qui sont alimentées ou mises à jour en fonction des événements), le routage et communication (permet d'échanger des informations dans le réseau afin d'avoir une plus grande perception de l'environnement et ainsi pouvoir anticiper les difficultés lors du trajet).

Cependant il existe plusieurs contraintes à l'utilisation des réseaux Ad-Hoc. Notamment avec les interférences car à l'heure actuelle il y a de nombreux objets connectés partout on l'on va et il y a donc sans cesse des ondes émises ce provoque beaucoup d'interférence. Mais il y a aussi des contraintes liées à une bande passante limitée, à la consommation d'énergie ou encore liées aux erreurs de transmission.

b) Communication véhicule-infrastructure (V2I)

Le V2I est une révolution importante pour le véhicule intelligent. Nous allons essayer de présenter dans quel contexte le V2I est utilisé et les différentes technologies mises en jeu.

Le V2I permet un grand nombre de choses. Grâce au V2I nous pouvons observer une diminution de 50 % d'accidents entre piétons et véhicules, de plus il améliore grandement la mobilité pour les piétons et les véhicules. Comme la mobilité est améliorée, il y a forcément une réduction des émissions de gaz à effet de serre (diminution de 20%) qui sont engendrées dans les embouteillages, réduits d'à peu près 30 %. De plus les véhicules appartenant à l'état agissent comme des sondes de trafic, dans lesquels on a intégré les données de sondes du secteur privé.

Le V2I permet notamment une meilleure information des voyageurs concernant les zones de travail. Cela mène donc à une diminution de 30% de temps de voyage. Par ailleurs les voyageurs peuvent ajuster leurs habitudes de déplacement en fonction de l'information que les voyageurs les plus fiables ont enregistré. Il y a donc moins de véhicules circulant à travers des zones de travail donc il y a réduction de la congestion et amélioration de la sécurité des utilisateurs.

Pour que le V2I soit mis en place, plusieurs technologies sont nécessaires, telles que la DSRC, le Bluetooth, le WIFI, le réseau mobile et la radio.

2) Cartographie

La cartographie occupe une place très importante dans le développement des voitures autonomes. Ces dernières sont dépendantes d'informations sur leur localisation. Les données doivent être de plus en plus précises car le véhicule doit connaître sa position exacte afin de prendre les bonnes décisions.

a) Global Positioning system (GPS)

Le terme cartographie représente principalement le GPS. Cette technologie, aujourd'hui très répandue et couramment utilisée dans les pays développés, permet à l'utilisateur de se rendre à un endroit précis, sans utiliser manuellement de carte. Le GPS guide le conducteur tout au long du trajet. La meilleure précision disponible aux utilisateurs est d'environ 3 mètres, mais est plus généralement de l'ordre de la dizaine de mètres.

Comme le système est utilisé dans le domaine civil et le domaine militaire, il existe deux types de GPS : le SPS (Standart Positioning System) et le PPS (Precise Positioning System). Les deux fonctionnent avec des fréquences différentes et la précision des informations du second système est plus grande.

Fonctionnement de base

Le GPS se base sur le principe de triangulation. Ainsi dans la théorie, on peut connaître dans un espace en trois dimensions, une position précise à partir de 3 satellites.

Chaque satellite envoie un signal reçu par un récepteur. Appelons D la distance entre le satellite et le récepteur. Pour obtenir la valeur de cette distance, on utilise la vitesse du signal qui est proche de celle de la lumière, et la durée du signal, c'est-à-dire le temps qu'a mis le signal pour aller du satellite au récepteur. On effectue ensuite le produit $D = \text{vitesse} \times \text{durée}$.

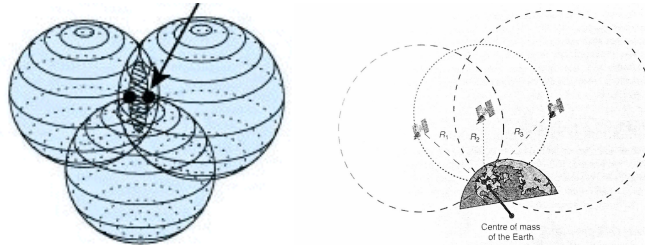


Image 2 : Principe de la triangulation

Les satellites étant suffisamment proches, on obtient 2 points d'intersections entre les sphères de rayon D formées autour des satellites.

Seul l'un des deux points se trouve sur la Terre. On peut donc déterminer où se situe le récepteur.

Cependant, dans la réalité, la moindre petite erreur provoque de grandes imprécisions, or une erreur est commise entre le temps calculé sur Terre et le temps atomique. Pour éviter ce phénomène, les satellites sont équipés d'horloges atomiques au Césium extrêmement précises. De plus, on utilise un quatrième satellite. En effet, en cas d'erreur, la localisation est erronée, cependant cet autre satellite permet de définir une zone où se trouve le positionnement exact du récepteur. En évaluant les erreurs on peut alors trouver où se trouve le point d'intersection des sphères.

La relation entre le capteur et la position de chaque satellite peut être mieux écrite en faisant une extension du Théorème de Pythagore :

$$R_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} - b$$

i : numéro du satellite détecté ;

$x(i)$, $y(i)$, $z(i)$: les positions connues de chaque satellite i;

$R(i)$: la mesure de la pseudo-distance pour chaque satellite i ;

b : l'erreur horaire du récepteur.

On appelle pseudo-distances, les distances qui comprennent encore les imprécisions dues à l'erreur horaire.

Si le calcul en trois dimensions de PVT peut être effectué à l'aide des informations transmises à partir de 4 satellites, on peut obtenir un positionnement encore plus précis avec au minimum 5 satellites.

Techniques de positionnement

GPS positionnement autonome :

Il s'agit de l'utilisation d'un seul GPS récepteur pour recevoir et suivre les satellites GPS visibles et calculer la solution de PVT.

DGPS : positionnement différentiel :

L'utilisation du GPS différentiel est devenue populaire grâce à la nécessité d'avoir une information plus précise concernant le positionnement d'une voiture. Le DGPS a réduit les erreurs constantes et les erreurs qui apparaissaient quand le signal passait par l'ionosphère et la troposphère.

Le DGPS utilise deux récepteurs pour calculer les PVT, l'un est placé sur un point fixe avec des coordonnées connues (appelé aussi Master Site), et l'autre est localisé sur un point mobile, dans notre cas une voiture, dans le voisinage du Master Site où la position est demandée.

Par exemple, le Master Site peut être localisé sur une colline ou sur un littoral, ce qui lui permet d'accéder au plus grand nombre possible de satellites, en s'assurant que la correction des pseudo-distances soit disponible pour les voitures. Le Master Site analyse cette information pour obtenir la différence entre la position calculée basée sur les données des satellites et la position connue du Master Site. Cette erreur est traduite dans les erreurs des pseudo-distances de chaque satellite, afin que la correction soit effectuée.

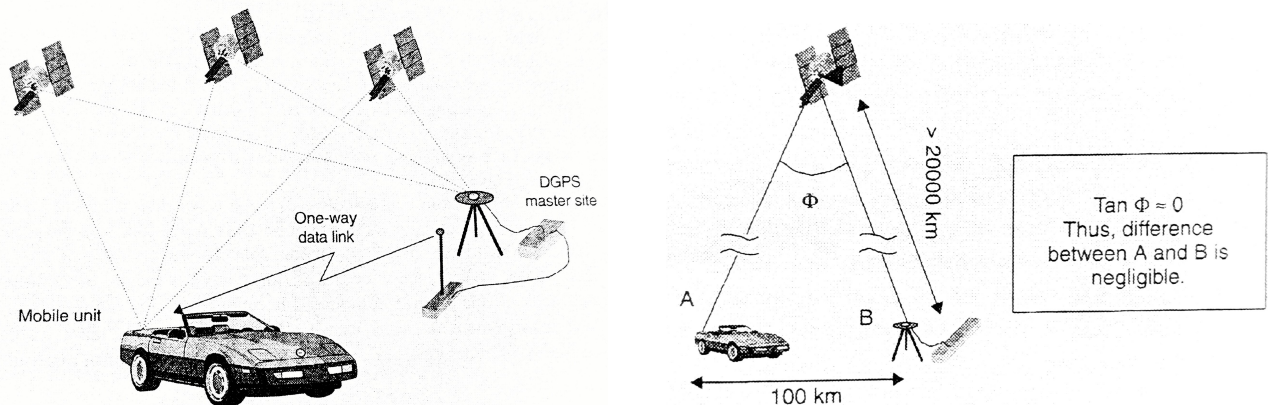


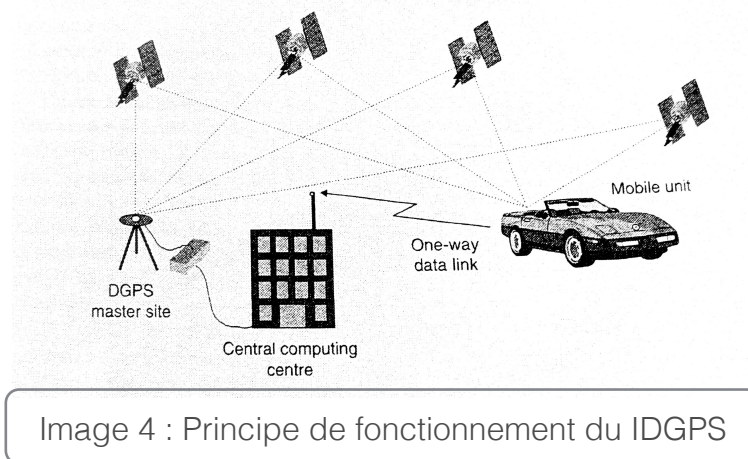
Image 3 : Principe du fonctionnement du DGPS

Ces corrections peuvent alors être appliquées pour les pseudo-distances mesurées par le mobile. En effet, sachant que les satellites se trouvent à une distance de plus de 20000 km de la Terre, on estime que la correction applicable à la voiture est identique de celle appliquée au Master Site car la distance entre la voiture et le Master Site est de moins de 100km, donc négligeable.

IDGPS : Le GPS positionnement inversement différentiel :

Cette technique utilisée est une variante de DGPS. Une centrale collecte les informations du positionnement GPS à partir d'un ou plusieurs mobiles, elle affine ensuite ces informations, en utilisant les technique DGPS. L'IDGPS fonctionne de la façon suivante : l'unité centrale de calcul applique la correction DGPS aux positionnements transmis de chaque récepteur ; chaque mobile est suivi avec une grande précision, même s'il a juste accès à l'information concernant son positionnement grâce à son récepteur GPS standard.

Cette technique est moins chère car chaque mobile ne doit pas forcément être muni d'un DGPS,



cependant il est obligatoire d'avoir un moyen de communication avec l'unité centrale de calcul, pour avoir accès à l'amélioration des données.

b) Galileo

L'Union Européenne tente de lancer son propre système de géolocalisation appelé Galileo, afin de ne plus dépendre du GPS américain. Le projet prévoit 30 satellites pour obtenir toutes les données nécessaires. La précision attendue est de 4 mètres à l'horizontale et 8 mètres à la verticale. Le coût initial était estimé à 5 milliards d'euros ; il s'agira finalement de plus de 13 milliards d'après la Cour des comptes.

Cependant le projet a été fortement ralenti suite à des rivalités entre divers États et une insuffisance de budget. Il faudra donc attendre 2021 pour une exploitation de Galileo.

III. La perception

L'une des principales caractéristiques de la cybercar est qu'elle doit constamment scruter son environnement pour repérer les dangers potentiels, suivre la route, effectuer des manœuvres... Elle doit être capable d'analyser toutes les données en provenance de toutes directions, et à distance variable selon le cas dans lequel elle se trouve. C'est pour cela qu'elle est équipée de différents outils de perception qui, bien qu'utilisant tous le même principe, c'est à dire le calcul de la distance à un obstacle grâce à une onde, ne sont pas tous utilisés dans le même cas, chacun ayant son utilité propre.

1) Les caméras

a) Les caméras mono-vision

La première chose qui vient à l'esprit lorsqu'on pense perception est bien sûr la caméra. Les cybercars en possèdent généralement une, située à l'avant. Elle est utilisée pour la détection de la route. En effet, l'ordinateur embarqué dans la voiture utilise les images obtenues par la caméra pour créer une vue du dessus selon le procédé de l'Inverse Projection Mapping. Toutes les images sont alors projetées selon le plan absolu. Ce sont les paramètres de la caméra qui permettent de faire la relation géométrique entre l'image plan et le plan absolu. La méthode est plus répandue que celle utilisant un GPS, car elle est moins coûteuse.

Le traitement d'image est alors appliqué sur la vue du dessus. Cela revient à utiliser une méthode de détection des contours, afin de détecter les bords des voies, les intersections... Une des méthodes les plus efficaces reste celle du filtre de Canny, qui est un extracteur de contours et assure une bonne localisation des objets.

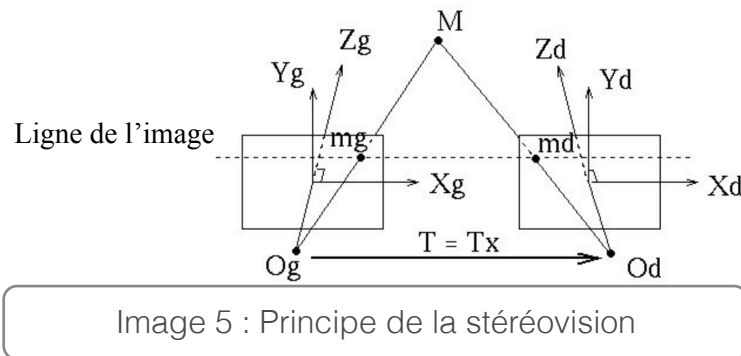
Pour terminer, l'ordinateur va comparer le résultat obtenu dans le plan absolu avec les données de route hypothétiques déjà stockées en mémoire. Si les données correspondent, la route est validée et la voiture pourra l'utiliser pour son itinéraire.

Néanmoins, cette méthode reste imparfaite puisqu'elle ne permet pas de restituer la profondeur de la scène observée. Pour pouvoir traiter une image en trois dimensions, on utilisera le principe de la stéréovision.

b) Les caméras stéréovision

Le principe de la stéréovision est de combiner deux caméras afin d'avoir une approche tridimensionnelle de l'environnement. Il s'agit de combiner deux images optiques prises de deux points de vue différents. La stéréovision se déroule en trois étapes : calibrage, appariement, triangulation.

L'étape de l'appariement est la plus délicate. Il s'agit de reconstruire la profondeur du champ à partir de deux images de la même scène.



On peut schématiser le principe de la stéréoscopie comme sur la figure :
où Og et Od sont les centres des deux caméras
et xg et xd les abscisses du même point m, point correspondant à M sur l'image de gauche (respectivement de droite).

Son fonctionnement est le suivant : deux images sont acquises en Og et Od avec des angles différents, ce qui crée une disparité géométrique entre elles. Cette disparité est égale à $(xg - xd)$ et est proportionnelle à la distance entre les centres des caméras T_x , à F la focale des caméras ainsi qu'à la profondeur du point M Z_M . Ces grandeurs sont liées par la formule suivante :

$$(xg - xd) \cdot Z_M = F \cdot T_x$$

d'où : $Z_M = F \cdot T_x / (xg - xd)$

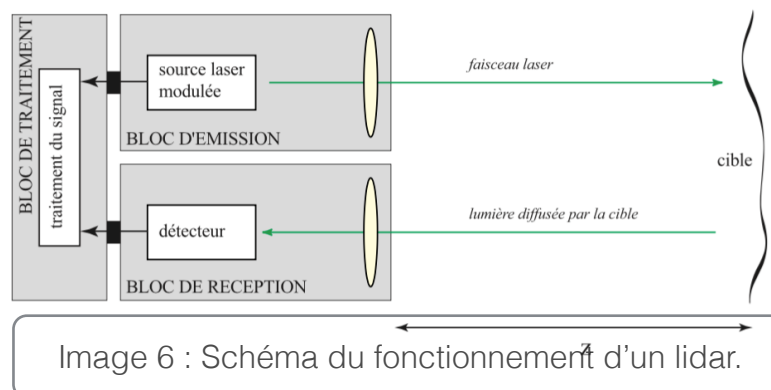
L'erreur sur Z_M dépend donc de la même manière de ces grandeurs.

Le choix de l'espacement des caméras T_x est donc primordial puisque choisir un espacement trop petit entraînerait une erreur plus importante. Mais une grande différence $(xg - xd)$ signifie aussi qu'il y a beaucoup de changements entre les deux images de la paire stéréoscopique, ce qui implique plus de difficultés dans le processus d'appariement. Il faut donc faire un compromis entre une erreur de profondeur petite et une erreur de disparité petite, c'est à dire un processus d'appariement fiable.

Les caméras stéréovision semblent donc être un moyen fiable d'analyser l'environnement en 3 dimensions. De plus, les caméras sont un moyen d'avoir une bonne vision sans modifier l'environnement à cause d'ondes quelconques et représentent également une solution peu coûteuse et facile à embarquer sur tout type de véhicule. Néanmoins, l'inconvénient majeur de cet outil est sa limitation d'utilisation, notamment liée aux conditions climatiques (pluie, brouillard...) et aux conditions d'illumination. C'est pourquoi les systèmes de type télémètres laser et lidars vont être privilégiés.

2) Les télémètres laser et lidars

Le Radar est un système composé principalement d'une antenne émettrice/réceptrice d'une onde. Il émet des ondes radios ou des radiations microondes à partir de l'antenne en une série de pulsions et reçoit la partie d'énergie qui est réfléchiée par tout obstacle. Le Radar peut déterminer la distance et la vitesse (dans le cas de plusieurs émissions) de l'objet par un simple calcul relatif au temps de parcours de l'onde depuis son émission jusqu'à sa réception. Le principal avantage du Radar est qu'il fonctionne quelle que soit la saison, la luminosité ou le temps. De plus, sa portée très élevée lui permet de détecter des objets à de grandes distances. Néanmoins, le Radar a pour inconvénient de n'avoir une résolution spatiale faible, notamment dans le sens latéral, ce qui ne lui permet pas de détecter tous les obstacles, en particulier les plus petits. De plus, si l'obstacle présente une forte réflexion, due à une partie métallique par exemple, la détection sera faussée car les autres réflexions seront atténuées. Enfin, un inconvénient non négligeable de ce système est le phénomène d'interférences avec les Radars placés sur certaines voitures dans le trafic, conduisant à des résultats dégradés voire même faussés.



Une solution alternative au Radar serait le télémètre radar, ou plus simplement lidar, qui est un capteur essentiel à la détection d'obstacles. Comme tous les capteurs, c'est un système qui transforme un stimuli de nature physique en un signal électrique, image de la réponse au stimulus :

Son principe est des plus simple : il envoie un faisceau laser rotatif permettant de scanner un plan horizontal et ainsi de détecter les possibles obstacles sur ce plan. Ces lasers sont efficaces jusqu'à 50 mètres et offrent une bonne précision avec toute fois un bémol, ils sont sensibles aux conditions atmosphériques. Ainsi par temps de pluie ou de brouillard, le faisceau peut être perturbé, tout simplement à cause du principe de réfraction : lorsque le rayon traverse un milieu différent (comme une goutte d'eau), la vitesse de l'onde change, et ainsi la superposition de différente couche de différents milieux rends approximatif l'évaluation de la distance. Un exemple simple pour illustrer cette situation est de considérer notre œil, en train d'observer un objet plongé dans l'eau. Il nous apparaît déformé, et plus lointain qu'il ne l'est réellement. De plus, le coût, l'encombrement et la consommation d'énergie élevés limitent son utilisation sur un véhicule pour aujourd'hui.

Toutefois, il existe autre type de télémètres, bien que moins utilisés comme les radars, qui ont une plus grande portée mais une précision plus faible. Ils ont par contre l'avantage d'être moins sensibles aux conditions atmosphériques, et peuvent utiliser l'effet Doppler afin de calculer la vitesse des obstacles.

3) Les radars acoustiques

Aussi appelés télémètre ultrasonores, leur utilisation la plus répandue est le « Park Assist ». La voiture envoie un signal sonore modulé qui « ricoche » sur les obstacles par phénomène d'écho. Les données sont récupérées par un calculateur, qui transmet des données aux roues et à la direction, donnant l'angle de braquage idéal. Cette technique n'est néanmoins efficace qu'à une portée de quelques mètres, et est sujette à de très nombreuses perturbations tel que l'absorption du son ou la réverbération, mais a l'avantage d'être peu onéreux.

Voici un tableau ainsi qu'un diagramme récapitulatifs des différents capteurs et de leurs caractéristiques :

| | Caméra | Lidar | Radar | Ultrason |
|---|-----------------------|-----------|-----------------------|---------------------------|
| Longueur d'onde (m) | 10^{-7} à 10^{-6} | 10^{-6} | 10^{-3} à 10^{-2} | 10^{-4} à 10^{-3} |
| Dépendance des conditions climatiques | Sensible | Sensible | Insensible | Très sensible |
| Détection des mauvaises conditions climatiques | Oui | Oui | Non | Dans certaines situations |
| Résolution Horizontale | ++ | ++ | + | - |
| Résolution Verticale | ++ | + | - | - |
| Position | + | + | + | + |
| Vitesse | - | - | ++ | ++ |
| Détection des obstacles | + | + | + | + |
| Classification des obstacles | + | + | - | - |
| Reconnaissance des piétons | + | - | - | - |
| Détection du marquage | + | - | - | - |
| Reconnaissance de la signalisation | + | - | - | - |

4) La fusion de capteurs

Comme vu précédemment, de nombreux capteurs sont utilisés sur les véhicules intelligents afin de rendre la conduite entièrement autonome. Néanmoins, chaque capteur a ses limites et aucun capteur pris seul n'est suffisamment fiable pour créer un système extrêmement performant. C'est là qu'intervient la fusion de capteur.

a) Fusion par accumulation

La fusion par accumulation consiste à associer plusieurs capteurs de même type afin d'obtenir des résultats plus précis. Dans le cas de télémètres lasers, en additionner plusieurs permet d'obtenir plus de points, et donc de visualiser avec plus d'acuité les objets et les obstacles.

b) Fusion par amélioration

La fusion par amélioration associe deux capteurs différents, par exemple une caméra et un lidar, le premier nous fournit une image, tandis que le deuxième nous donne un champ de points, permettant la représentation 3D de notre environnement. Le principe est de combiner les données obtenues par chacun de ces capteurs, afin d'obtenir une représentation plus performante, alliant localisation des obstacles mais aussi leur distance et leur vitesse de déplacement. Néanmoins, les deux objets agissent sur un repère différent. Il faut donc d'abord passer par l'étape du calibrage.

c) Le calibrage

Le calibrage est une étape indispensable dans la fusion de données. En effet, il permet d'exprimer les données fournies par les capteurs dans le même référentiel. Dans notre exemple de fusion, le but du calibrage est de mettre en correspondance une image 3D obtenue par le lidar, avec une image de luminance obtenue par la caméra. Ainsi pour chaque point de l'espace dans le champ de vision du capteur, nous connaissons la luminance ainsi que la position 3D. Il faut tout d'abord calibrer le Lidar. Les coordonnées cartésiennes obtenues par le capteur sont exprimées dans un repère quelconque grâce aux méthodes de changement de référentiel telles que les matrices de passage. De même, la caméra est calibrée. Dans notre exemple, le calibrage permet donc de lier la position d'un point dans l'espace et la position de sa projection dans l'image de luminance.

Il existe aussi ce que l'on appelle l'auto-calibrage, qui s'effectue alors que le véhicule est en mouvement pour s'assurer de la cohésion des deux capteurs en tout temps. En effet, si un des deux capteurs est déplacé, à cause des vibrations par exemple, il y aurait un décalage qui rendrait toutes les données erronées.

Il est important de souligner que la fusion de capteur n'est pas fiable à 100%. Imaginons que le Lidar indique la présence d'un véhicule à un certain point, mais que la caméra ne repère quant à elle la présence d'aucun véhicule à ce même point, qui croire ? Il faut donc décider de quel capteur vient l'erreur.

Chaque capteur a ses limites et c'est ainsi que sont introduites les fonctions de croyance comme les fonctions de masse. Ces fonctions permettent de prendre en compte différents degrés de certitude ou de risque dans le processus de prise de décision.

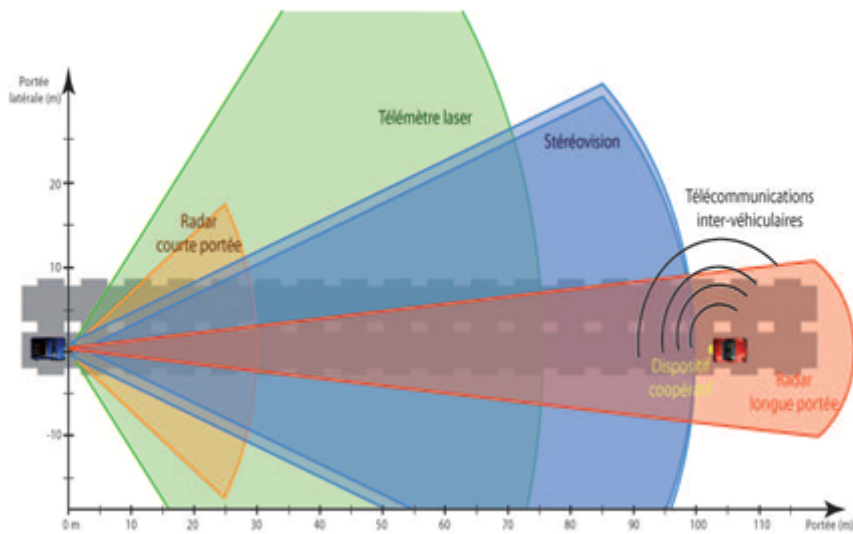


Image 7 : Portée des capteurs.

Conclusion

Le domaine des véhicules étant un domaine extrêmement vaste. Aussi avons nous restreint nos recherches aux outils utilisés pour rendre la voiture autonome. Nous avons été confrontés à un nombre d'informations important, dont les sources n'étaient pas toujours vérifiables et souvent difficiles de compréhension.

Rédiger ce dossier nous a permis de découvrir le milieu de la robotique intelligente, et particulièrement sur les systèmes autonomes et intelligents qui, même s'ils ne nous étaient pas inconnus, ne se présentaient que sous quelques exemples de véhicules intelligents déjà présentés, dont nous ne connaissons pas les caractéristiques techniques. Nos recherches nous ont permis non seulement d'approfondir nos connaissances sur les technologies aujourd'hui existantes et à venir mais aussi de nous forger une opinion sur leur efficacité.

Nous tenions aussi à remercier M NASHASHIBI pour nous avoir présenté ses travaux à l'INRIA et M BENSRAHAI pour nous avoir supervisés tout au long de ce projet et pour avoir organisé cette rencontre.

Nous avons donc mentionné les trois grands axes sur lesquels se base le véhicule autonome : la communication, la perception et la localisation. Et si les idées affluent sur la communication, il est encore difficile de les mettre en oeuvre, en effet, le remodelage complet des infrastructures est aujourd'hui encore utopiste. Pour ce qui est de la perception, nous avons présenté les plus grands types de capteurs, chacun avec leur fonctionnalité, mais nous en venons à la conclusion qu'à eux seuls, ils ne peuvent satisfaire les critères extrêmement exigeants que requiert une conduite autonome dans toutes les conditions. Néanmoins, la fusion de ces capteurs permet de fabriquer un système efficace, permettant au véhicule de circuler. La cartographie, et plus particulièrement le positionnement GPS ont révolutionné les transports, en proposant des itinéraires efficaces aux véhicules. Et ce système a encore des choses à nous offrir, comme avec le projet Galileo, même si ce dernier n'a pas encore abouti.

Pour terminer, nous voulions souligner le caractère pluri-disciplinaire de certaines technologies développées pour le véhicule intelligent qui pourraient être réutilisées dans d'autres domaines.

Si nous avions l'occasion de poursuivre ce projet, nous aurions traité des sujets moins techniques, et particulièrement l'aspect juridique, très controversé en raison de la question de responsabilité en cas d'accident. Il aurait aussi été intéressant d'aborder un aspect économique, et les applications possibles à grande échelle comme par exemple l'expérience menée à La Rochelle par l'INRIA, qui proposait une voiture taxi comme moyen de transport accessible à tous. Nous aurions aussi voulu développer le sujet de la communication coopérative, c'est à dire le V2V et le V2I, des concepts primordiaux pour le véhicule intelligent, mais aussi très fastidieux à développer.

Conclusions personnelles

Jean-Eudes : Voulant poursuivre mes études à l'INSA dans le département Génie Mathématiques, ce projet m'a permis de découvrir un débouché de ce département à savoir le traitement du signal. Ayant travaillé sur la partie fusion j'ai pu aussi découvrir la fusion de capteurs, comment la réception de signaux par différents capteurs peuvent mener à une prise de décision. Ce projet m'a aussi permis de travailler « sur le long terme » avec un nombre plus important de personnes qu'habituellement, nous étions 6 dans le groupe. Ce projet a donc permis d'avoir une expérience de travail à plusieurs.

Clara : Ce projet m'a permis de me rendre compte de l'enjeu des véhicules intelligents sur notre avenir, ainsi que du nombre de recherches en cours à ce jour sur le sujet. J'ai beaucoup aimé me documenter sur ce sujet, car c'est un domaine qui m'intéresse beaucoup et dans lequel j'aimerais travailler à l'avenir. Pour finir, ce projet m'a ouvert les yeux sur les enjeux des véhicules intelligents, et sur les solutions qu'il faut apporter pour leur commercialisation à l'avenir, ainsi que sur leur prix pour qu'ils soient accessibles à chacun d'entre nous et puissent remplacer nos moyens de transport actuels.

Chloé : Personnellement, le projet P6 m'a permis d'étudier un sujet qui me plaisait déjà auparavant. Les voitures autonomes représentent un projet très intéressant et visionnaire. Notre professeur encadrant a pu nous parler de différents travaux qu'il avait mené, lui ou ses doctorants. Cela permet de réellement réaliser que de très nombreuses personnes travaillent chaque jour sur cette thématique. Aussi, le projet P6 a rassemblé dans notre cas six étudiants. Nous ne nous connaissons pas forcément. Cela implique une adaptation et une organisation de groupe

Gabriela : Le projet de P6 m'a appris à rechercher les informations les plus pertinentes et à les synthétiser pour les rendre le plus accessible possible aux éventuels lecteurs qui n'aurait pas de connaissances sur le domaine. De plus, ce projet m'a appris à travailler en équipe et répartir le travail. Je ne cache pas que travailler sur le sujet « Véhicule intelligent » m'a apporté un grand plaisir et beaucoup de motivation pour devenir un jour ingénieure et travailler sur un tel projet.

Cyril : En plus de m'en apprendre plus sur les véhicules intelligents, ce projet m'a aussi permis de découvrir les différents débouchés que propose le département Génie Mathématiques qui est le département que j'envisage de choisir pour ma troisième année à l'INSA. De plus ce premier projet de physique en groupe m'a permis d'accroître mon expérience au niveau du travail d'équipe ce qui m'a beaucoup plus car c'est une des seules matières où les relations humaines sont mises en avant.

Jean-Baptiste : Avant tout, ce projet a été une bonne expérience du travail de groupe, et des aléas le concernant. Bien sûr, il m'a aussi permis d'étudier le domaine du véhicule intelligent et surtout la perception. Je me suis rendu compte que les domaines d'applications sont nombreux et variés, et que peu importe sa spécialisation, n'importe quel ingénieur pourrait travailler sur les voitures intelligentes. Ce projet m'a conforté dans mon choix d'étude et de spécialisation.

Bibliographie

https://fr.wikipedia.org/wiki/Télémètre_laser (Valide à la date du 11/06/16)

<https://hal.inria.fr/inria-00001074v3/document> (Valide à la date du 11/06/16)

<http://voituredefutur.autodeclics.com/?p=7006#more-7006> (Valide à la date du 11/06/16)

<http://sti.mermoz.free.fr/LP/Doc/DossiersTechniques/8Telemetre.pdf> (Valide à la date du 11/06/16)

<http://www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-d-une-auto/s-845-fonctionnement-du-parkassist-stationnement-automatique.php> (Valide à la date du 11/06/16)

http://jnrr09.lms.sp2mi.univ-poitiers.fr/IMG/pdf/JNRR09_Vincent_Fremont.pdf (Valide à la date du 11/06/16)

https://coeut.iitm.ac.in/ITS_synthesis.pdf (Valide à la date du 11/06/16)

<http://vehiculesautonomes.insa-rennes.fr/infos/articles/> (Valide à la date du 11/06/16)

<https://congresitsbordeaux2015.wordpress.com/2015/07/23/vehicules-autonomes-que-dit-la-legislation/> (Valide à la date du 11/06/16)

<http://automobile.challenges.fr/dossiers/20070314.LQA1994/la-voiture-communicante-car2car-et-v2v-je-te-parle-tu-me-parles.html> (Valide à la date du 11/06/16)

<http://www.n3vision.fr/logiciel/civ> (Valide à la date du 11/06/16)

<http://www.univ-orleans.fr/mapmo/membres/louchet/teaching/timo/lucas.pdf> (Valide à la date du 11/06/16)

<http://www.templetons.com/brad/robocars/cameras-lasers.html> (Valide à la date du 11/06/16)

<http://www.templetons.com/brad/robocars/cameras-lasers.html> (Valide à la date du 11/06/16)

http://www.velodynelidar.com/lidar/hdlpressroom/pdf/papers/journal_papers/Integrating%20LIDAR%20into%20Stereo%20for%20Fast%20and%20Improved%20Disparity%20Computation.pdf (Valide à la date du 11/06/16)

<http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/1951/002.PDF%20TEXTE.pdf> (Valide à la date du 11/06/16)

<https://perso.limsi.fr/vezien/stereovision.pdf> (Valide à la date du 11/06/16)

Thèse de Doctorat : - « Intégration de méthodes de représentation et classification pour la détection et la reconnaissance d'obstacles dans des scènes routières », Bassem Besbes.

-Approches 2D/2D pour le SFM à partir d'un réseau de caméras asynchrones, Rawia Mhiri.

-Cartographie RGB-D dense pour la localisation visuelle temps-réel et la navigation autonome. Maxime Meilland.