

Systèmes de Transport Intelligent

Capture et Traitement de l'information et prise de décision



Etudiants :

CARREIRA PULIDO Sergio

ESNAULT Gaëlle

POIRIER Wilfried

DENOUN Brice

MONTASSIER Caroline

QUINQUENEL Adam

Enseignant-responsable du projet :

BENSRHAIR Abdelaziz

Date de remise du rapport : 15/06/2015

Référence du projet : STPI/P6/2015 – 02

Intitulé du projet : **Système de Transport Intelligent – Capture et Traitement de l'information et prise de décision**

Type de projet : **Recherches bibliographiques**

Objectifs du projet:

- **Découvrir via des présentations, les activités menées par un laboratoire de recherche en informatique et en traitement de l'information des systèmes (LITIS). Mais aussi découvrir leurs applications dans la vie de tous les jours.**
- **Nous pencher sur un cas concret et pratique de la mise en place des STI : Les Cybercars. Comprendre leur fonctionnement et les enjeux qui se cachent derrière de telles avancées.**
- **Nous faire réfléchir aux bouleversements sociaux qu'entraînent les avancées technologiques.**

Mots-clefs du projet: **transport, intelligent, Cybercar, autonome**

TABLE DES MATIERES

1.	Introduction	6
2.	Méthodologie / Organisation du travail	7
3.	Dossier de recherche bibliographique	8
3.1.	Présentation et principe des STI	8
3.1.1.	Définition	8
3.1.2.	Historique des STI.....	9
3.1.3.	Contexte des STI	10
3.1.4.	Vers les cybercars.....	11
3.2.	Etude de cas de la C1 EV'IE	12
3.2.1.	Equipement du véhicule	12
3.2.2.	Perception de la route	13
3.2.3.	Détection d'obstacles	14
3.2.4.	Contrôle du véhicule	18
3.2.5.	Interaction avec l'humain.....	19
3.2.6.	En pratique.....	20
3.3.	Enjeux sociétaux et développement futur	22
3.3.1.	Enjeux économiques	22
3.3.2.	Un aspect juridique qu'il reste à régler	23
3.3.3.	Développements futurs	24
4.	Conclusions et perspectives.....	26
4.1.	Conclusions sur le travail réalisé	26
4.2.	Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet	26
4.3.	Perspectives pour la poursuite de projet.....	27
5.	Bibliographie	28

NOTATIONS, ACRONYMES

STI	Systèmes de Transport Intelligent (ou ITS en anglais)
V2V	Vehicle to Vehicle Communication
I2V	Infrastructure to Vehicle Communication
INRIA	Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique
RITS	Robotics & Intelligent Transportation Systems (Département de l'INRIA)
LITIS	Laboratoire d'Informatique, du Traitement de l'Information et des Systèmes
ACC	Adaptive Cruise Control
IHM	Interface Humain Machine



1. INTRODUCTION

Les Systèmes de Transport Intelligent (STI) font partie de notre quotidien et sont l'avenir de tous les modes de transport actuels. Ils permettent d'apporter des réponses à certaines problématiques majeures de notre société comme l'amélioration de la sécurité routière ou encore la diminution de la pollution des transports.

Les transports de demain seront guidés automatiquement, ne rejetteront plus de CO_2 dans l'atmosphère et seront plus ergonomiques pour les conducteurs. Les infrastructures sont aussi concernées. Des informations entre les véhicules et les infrastructures seront échangées afin d'éviter les congestions de trafic, de fluidifier les intersections et de prévenir des accidents. De plus, le modèle de la voiture individuelle pourrait disparaître au profit de parcs de voitures disponibles pour tous les utilisateurs. Toutes ces options peuvent paraître utopistes, c'est pourtant ce que nous présentent les entreprises qui travaillent dans le domaine des STI.

Il s'agit donc d'un sujet qui nous concerne tous et auquel nous portons un intérêt en tant que futurs ingénieurs. En effet, il est important de comprendre les phénomènes auxquels notre société doit faire face et les problèmes qu'elle doit arriver à résoudre pour assurer la pérennité de la planète.

De plus, les STI regroupent de nombreux domaines de compétences ce qui nous a conforté dans le choix de notre sujet. Nous sommes un groupe de 6 étudiants et nous ne voulons pas tous nous spécialiser dans les mêmes domaines. Toutefois, il est possible de trouver plusieurs approches au sujet et ce qui permet à chacun de l'aborder sous un angle qui l'intéresse, en cohérence avec son orientation.

Lors de nos recherches, nous avons découvert que le domaine des STI est un sujet très vaste. Afin de rester cohérents, nous avons décidé d'étudier en particulier une application de ces technologies : les cybercars.

Nous avons choisi ce sujet car nous l'avons trouvé polyvalent tout en restant centré sur un domaine. Les cybercars sont pour nous l'application la plus complète de la mise en place des nouvelles technologies qui mèneront à des transports intelligents. Leur implantation est prévue de manière progressive et a pour but l'automatisation totale et l'autonomie des véhicules.

De plus, grâce à notre professeur M. BENSRAHAI, nous avons eu la chance de nous rendre sur le site de l'INRIA (Rocquencourt, 78). Nous avons donc pu profiter d'une présentation de l'institut et d'un passage dans les ateliers effectuées par M. NASHASHIBI. Cette visite a été très enrichissante et nous a permis d'avoir une approche réelle de notre sujet, qui était pour nous restée, jusque là, purement théorique.

La majeure partie de nos recherches a porté sur l'acquisition, le traitement et l'utilisation de l'information par le véhicule. C'est notamment sur cette partie que les progrès technologiques se concentrent de nos jours.

Nous avons tout de même voulu d'abord étudier les différents systèmes de transport intelligent. Puis, nous avons développé une partie plus technique avec une étude approfondie du fonctionnement d'une cybercar déjà existante : la C1 EV'IE de l'INRIA. Enfin, des changements aussi importants dans les modes de transport influent forcément sur notre société. C'est pourquoi nous avons choisi de développer les conséquences économiques et législatives qui pourraient être induites.



2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Le déroulement de ce projet a été soumis à une structure bien définie. Chaque semaine nous avons une séance d'une heure et demie en compagnie d'un autre groupe sous la tutelle de M.BENSRHAIR. Chaque séance se déroulait au même endroit : dans la salle de réalité augmentée du LITIS (bâtiment Bougainville).

Dès la première séance, un chef de groupe a été désigné (Brice DENOUN) afin de restituer au début de chaque séance l'avancement du projet. Après cette petite mise au point, nous avons travaillé sur l'accomplissement du dossier, chacun connaissant ce qu'il devait faire (recherches bibliographiques, rédaction d'une partie du dossier, recherche d'illustrations ...).

Pour mener ce projet à son terme, il a fallu suivre un calendrier très précis qui, au début n'a pas pu être suivi. En effet, n'ayant pas tous suivi les mêmes pré-spécialisations lors de ce semestre 4, nous avons des charges de travail variables selon les périodes, empêchant certaines fois l'accomplissement des tâches dans les dates que nous nous étions imposés.

Mais l'importance de l'esprit d'équipe a su compenser ces petits retards. Lorsqu'un membre de l'équipe ne pouvait accomplir sa tâche, un autre prenait sa partie pour que le groupe entier ne prenne pas de retard.

Nous avons profité de la diversité qui existe dans notre groupe de travail pour nous répartir les parties constituant notre dossier. Nous avons eu la chance de bien nous entendre et de traiter des sujets qui suscitait la curiosité de chacun, pour que tout le monde prenne plaisir à apporter sa pierre à l'édifice.

De plus, afin d'illustrer encore mieux le sujet sur lequel nous avons travaillé pendant presque 3 mois, M. BENSRHAIR, le responsable de ce projet nous a permis d'accéder et de découvrir l'INRIA. Cette visite a su remotiver le groupe et nous permettre de concrétiser toutes nos recherches théoriques.

Tout au long de ce travail, nous avons communiqué via un groupe Facebook créé pour l'occasion, nous permettant de partager nos découvertes, nos rédactions mais aussi nos remarques.

Concernant la rédaction du dossier, chacun s'est chargé d'effectuer les recherches associées à sa partie mais aussi de résumer et de rédiger celles-ci en un nombre de pages bien défini à l'avance.



3. DOSSIER DE RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

3.1. Présentation et principe des STI

3.1.1. Définition

Les STI (ou ITS en anglais) désignent les Systèmes de Transport Intelligent (Intelligent Transport Systems). Ce sont des systèmes qui permettent de traiter, d'analyser et de communiquer des informations relatives aux systèmes de transport. Ils sont dits intelligents car ils se basent sur des fonctions liées à l'intelligence comme le traitement de l'information, la communication, la mémoire et l'adaptation aux conditions imposées. En Europe, on regroupe l'ensemble de ces technologies basées sur les STI sous le terme de "télématique des transports".

Les nouvelles technologies et les nouveaux besoins dans le domaine des transports ont fait que le développement des STI s'est considérablement accéléré ces dernières années. Ainsi, les politiques, qu'elles soient européennes, nationales ou locales, donnent des objectifs de plus en plus pointus nécessitant la mise en place de STI.

Ces systèmes sont intégrés (ou sont en voie d'intégration) dans tous les modes de transport. Les véhicules, l'utilisateur ou les infrastructures peuvent en être équipés. Leur principale fonction est alors d'aider la prise de décisions par les exploitants du réseau de transport et les autres utilisateurs. Souvent effectuées en temps réel, ces opérations améliorent les conditions de vie de chacun. L'utilisation des STI s'inscrit également dans une volonté de développement durable. En effet, les STI amènent à une utilisation mieux coordonnée de la route grâce à l'utilisation de données. L'information est alors primordiale pour connaître l'état actuel d'un réseau ou en planifier l'usage.



Figure 1 Applications des Systèmes de Transport Intelligent



3.1.2. Historique des STI

Les STI ont commencé à se développer dans les années 60-70, notamment grâce aux avancées technologiques dans le secteur de l'informatique. Les premiers projets lancés avaient un objectif commun : l'aide à la conduite. Celle-ci se fait par le biais d'un calcul d'itinéraire effectué à chaque intersection par un ordinateur central. Cette technologie nécessite évidemment des systèmes interactifs embarqués. On peut citer plusieurs projets de ces décennies qui ont participé au développement des systèmes de transport intelligent : le projet CACS (Comprehensive Automobile traffic Control System) au Japon, ou encore le système ALI (Autofahrer Leit und Information System) en Allemagne.

Mais tous ces projets se sont heurtés à un problème majeur : les infrastructures informatiques de l'époque n'étaient pas assez performantes pour fournir un service convenable et fluide. Le service n'était donc pas opérationnel.

Avec le développement des technologies, une nouvelle génération de projets a vu le jour dans les années 80 (PROMETHEUS – PROgramM for European Traffic with Highest Efficiency en 1986 ; IVHS America – Intelligent Vehicle Highway Society of America en 1988). Ces deux programmes avaient des objectifs communs : une optimisation de la sécurité, un meilleur usage de l'énergie, une diminution de la pollution, etc.

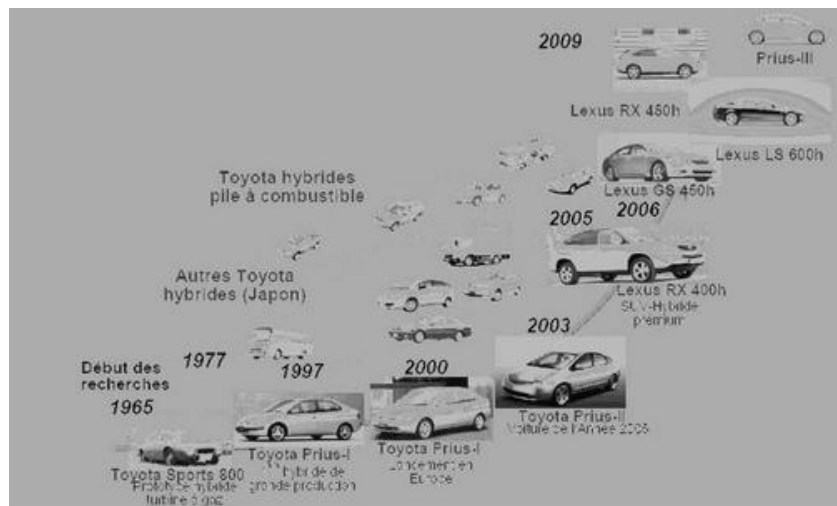


Figure 2 Développement des modèles de voiture de la marque TOYOTA

Parmi les innovations les plus récentes, nous pouvons trouver : la conception de nouveaux types de voies, l'interaction entre plusieurs véhicules sur la route (concept V2V), le développement de la sécurité automobile et la surveillance du trafic. Toutes ces notions ont été introduites et travaillées respectivement dans les projets ARTS (Advanced Road Transportation Systems), SSV (Super Smart Vehicle System), ASV (Advanced Safety Vehicle) et UTMS (Universal Traffic Management System).

Les objectifs liés à la mise en place des STI n'ont pas beaucoup évolué depuis les 45 dernières années, mais les avancées techniques et technologiques ont permis d'ouvrir plus de portes et de créer des systèmes de plus en plus intelligents et autonomes. Ces avancées couplées aux besoins constituent une source de nouveautés au niveau des STI.



3.1.3. Contexte des STI

Les STI ont pour objectif de répondre à des problèmes de société ciblés sur l'utilisation des transports. Ils sont donc ancrés dans un contexte d'amélioration des systèmes autant pour les usagers, que pour les conducteurs et les gestionnaires.

Ainsi, les STI sont présents principalement dans la gestion de congestion du trafic routier et dans le développement de nouvelles technologies de l'information embarquées dans les véhicules. En ce qui concerne ce dernier point on peut retrouver les domaines de la simulation, des réseaux de télécommunication et du contrôle en temps-réel.

Les STI permettent donc d'améliorer l'exploitation du système de transport et ce, par divers moyens. Il est question de gain de temps, de minimisation des coûts -principalement sur les énergies à utiliser-, de croissance de productivité mais aussi de sauver des vies. Les STI sont présents partout dans le monde et ne cessent d'être améliorés. Dans l'industrie du transport ou en tant que consommateurs, il nous arrive d'utiliser des STI sans même le savoir (GPS, ADAS...).

La mise en place de ces nouveaux systèmes de transport est encouragée, entre autres, pour réduire les risques de fautes humaines et ainsi améliorer la sécurité de tous. Ces systèmes sont très appréciés dans notre société, il est donc normal d'en trouver dans le domaine des transports. Par exemple, les régulateurs de vitesse ou les détecteurs de collisions sont souvent présents dans les nouveaux modèles de voitures. Les systèmes qui améliorent la sécurité des véhicules et ceux dits coopératifs véhicule-infrastructure sont encore en évolution de nos jours. L'objectif est de les implanter dans les nouvelles générations de véhicules.

Un autre objectif des STI est la réduction de la pollution engendrée par les véhicules. Cela passe par un meilleur contrôle des rejets et par la mise en place de moteurs moins consommateurs de carburant.

Mais la question environnementale ne concerne pas seulement les véhicules. Des infrastructures sont mises en place pour gérer la qualité de l'air. Elles ont pour objectifs de détecter et de prévenir la pollution ainsi que de mettre en œuvre des stratégies pour minimiser les risques de contamination de l'air.

Enfin, la réduction de la pollution passe aussi par la diminution du transport individuel au profit du collectif. Les transports en commun sont très utilisés dans les grandes villes. En effet, ils permettent une meilleure fluidité de la circulation et un meilleur respect de l'environnement. Il est donc important d'améliorer ces moyens de transports que ce soit au niveau du temps de déplacement, de leur ponctualité ou de leur fiabilité. Pour ce faire, il est intéressant de recevoir des données en temps réel aux différentes stations.

Une solution à ce problème serait de développer une flotte de véhicules totalement automatiques qui serait mise à disposition dans la même optique que les Vélib à Paris. Il faut savoir que cette expérience a déjà été réalisée par l'INRIA avec le projet Cybus à la Rochelle en 2011.



3.1.4. Vers les cybercars

Les STI sont composés d'un large champ de technologies visant à améliorer la qualité des différents types de transports existants. Leur évolution est continue et rapide et vise à terme l'automatisation complète des systèmes induits. Cet aboutissement est déjà nommé et en cours d'élaboration : il s'agit des cybercars.

Le concept de cybercar est né au début des années 90 en Europe. Le premier système apparenté aux cybercars a été mis en place aux Pays-Bas en 1997, pour le transit des passagers dans l'aéroport de Schipol.

Pour définir plus formellement les cybercars, on peut dire qu'il s'agit de véhicules routiers fonctionnant intégralement de manière autonome mis à part l'entretien. Par conséquent, aucun conducteur n'est nécessaire dans de tels véhicules. Ils sont destinés au transport des personnes et des biens sur des réseaux routiers bien définis, et sont censés pouvoir s'adapter aux diverses conditions du trafic (mauvaise météo, embouteillages, obstacles sur la route, etc.).

Cependant on peut définir plusieurs niveaux d'automatisation pour les véhicules autonomes :

- niveau 0 : véhicule classique, sans caractère automatique.
- niveau 1 : le conducteur dirige, mais il est assisté dans sa conduite (aide au stationnement, régulateur de vitesse par exemple).
- niveau 2 : l'automatisation est partielle mais le conducteur doit quand même gérer la conduite (le système peut prendre le relais par exemple dans les embouteillages).
- niveau 3 : l'automatisation est réelle sous certaines conditions prédéfinies. Le conducteur est donc parfois amené à reprendre le contrôle manuel de son véhicule (système automatique adapté aux autoroutes par exemple).
- niveau 4 : haute automatisation, à savoir que le véhicule fonctionne de manière autonome dans un grand champ de conditions définies (même dans les aires urbaines), mais un conducteur doit être présent et peut théoriquement reprendre le contrôle.
- niveau 5 : l'automatisation est complète et le véhicule peut fonctionner seul dans toutes les conditions qui peuvent être rencontrées. La présence d'un conducteur n'est pas nécessaire.

Selon cette échelle, le cybercar est de niveau 5 puisqu'il ne nécessite la présence d'aucun conducteur. Cependant, dans l'état actuel de l'avancée de la recherche, de tels véhicules n'existent que pour des conditions particulières, que ce soient des zones urbaines bien définies (comme il a été fait à La Rochelle ou encore Clermont-Ferrand) ou pour du transit de marchandises au sein d'une zone industrielle, etc.



Figure 3 : CyCab de l'INRIA

A ce jour, un certain nombre de projets existent à travers le monde. On pense bien évidemment à la Google Car développée par la société Google, mais beaucoup en Europe, et notamment par l'INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique) et leur projet de la CyCab développé par l'équipe RITS.

3.2. Etude de cas de la C1 EV'IE

Comme développé dans la partie précédente, un des enjeux des cybercars est d'arriver à un système de flotte de véhicules totalement automatisée. Ce système reste très intéressant en ville, où la congestion des routes devient un problème sérieux. C'est pourquoi il faut rendre le véhicule capable de répondre aux exigences de la conduite en ville. Nous allons donc étudier dans cette partie les aspects techniques et technologiques qui peuvent assurer une telle prouesse. Nous prendrons ici l'exemple de la Citroën C1 Ev'ie développée par l'INRIA.

3.2.1. Equipement du véhicule

Nous voyons sur ce schéma que la voiture nécessite beaucoup de matériel de pointe :



Figure 4 : Equipement de la C1 EV'IE

Divers types de capteurs (3 lasers et une caméra) permettent de fournir les informations nécessaires au véhicule concernant son environnement. Les deux lasers présents à l'avant ont un angle de détection de 110° alors que celui de l'arrière a une portée de 180°. La caméra permet d'observer la route et ainsi renforce la détection d'obstacles.



Figure 5 : Capteurs lasers de l'avant



Figure 6 : Capteur laser de l'arrière

Un ordinateur embarqué permet d'effectuer de puissants calculs et du traitement de données en « temps réel » sur les informations acquises par les capteurs.

Une HMI (Human Machine Interface) permet de proposer les différentes options au pilote (conduite totalement /partiellement automatisée, vue des capteurs etc ...).



Un grand réseau de communication interne qui assure le relai des informations à l'intérieur du véhicule et une antenne 3G pour la connexion internet.

3.2.2. Perception de la route

Nous allons ici nous intéresser à la question de la perception de la route, qui se divise en 2 parties : l'ego-localisation et la détection de voie.

3.2.2.1 L'ego-Localisation

L'ego-localisation consiste à estimer la position et l'orientation du véhicule dans une certaine zone. Ce type de localisation est possible en appliquant les données combinées du GPS et de l'odomètre au Filtre étendu de Kalman. Ce dernier est un outil mathématique très utilisé dans le traitement du signal. Il permet d'estimer l'état de systèmes dynamiques à partir de données incomplètes. Ici, les données GPS ne sont pas d'une grande précision, c'est pourquoi cette technique est utilisée.

Essayons d'expliquer simplement le principe mathématique de cette modélisation.

Soit $X_t = (x_t, y_t, \theta_t)$ où x_t et y_t représentent la position de l'avant du véhicule, θ_t représente l'angle de trajectoire à un instant t dans le référentiel absolu. Posons $u_t = (\Delta d_t, \Delta \theta_t)$ qui représente les variables du véhicule en mouvement, c'est-à-dire la distance parcourue ainsi que la variation d'angle.

L'équation régissant l'état du véhicule et la suivante :

$$\text{Eq. (1)} \quad X_t = G(X_{t-1}, u_t, E_x)$$

Où E_x est un processus Gaussien (variable gaussienne, probabiliste, représentant l'incertitude de l'état du véhicule), et G une application non linéaire.

Grâce au Filtre étendu de Kalman, il est possible de prévoir la position ainsi que l'angle d'attaque du véhicule en un instant t connaissant l'état en $t-1$. En effet, on a :

$$\text{Eq. (2)} \quad \begin{cases} x_{(t|t-1)} \approx x_{t-1} + \Delta d_t \cos(\theta_{t-1} + \Delta \theta_t / 2) \\ y_{(t|t-1)} \approx y_{t-1} + \Delta d_t \sin(\theta_{t-1} + \Delta \theta_t / 2) \\ \theta_{(t|t-1)} = \theta_{t-1} + \Delta \theta_t \end{cases}$$

Ceci permet de connaître les coordonnées de la voiture à chaque instant t , en connaissant avec certitude les premières coordonnées de la voiture (à l'arrêt).

3.2.2.2 La détection de voie

Les CyberCars sont des solutions pour désencombrer le trafic routier en ville. Il faut donc que ces dernières soient capables de détecter mais aussi de suivre toute les rues de la ville. Pour ce faire, plusieurs étapes sont nécessaires, utilisant toutes la mono-vision assurée par la caméra embarquée.



En effet, grâce à ces images, une vue de dessus est créée à l'aide du procédé d'Inverse Projection Mapping (IPM) qui consiste à projeter toutes les images sur le plan absolu (plan ayant certaines propriétés). Les paramètres de la caméra permettent de déterminer la relation géométrique entre l'image plan et le plan absolu et sont calibrés off-line. Cette méthode est préférée aux utilisations du GPS car cela entraîne des coûts moins importants que l'utilisation d'un GPS très précis.

Ensuite le traitement d'image est effectué sur cette vue de dessus. Cela consiste à appliquer le filtre de Canny afin de détecter les bords de voies, les intersections, ainsi que la largeur des voies qui entourent le véhicule. Le filtre de Canny (ou détecteur de Canny) est une méthode de détection des contours qui assure une très bonne détection ainsi qu'une bonne localisation. En effet, cette méthode permet de diminuer le bruit, et donc d'être au plus près de la réalité.

Suite à cela, des hypothétiques configurations de ruelles sont calculées à partir des contours détectés et d'une connaissance approximative de la géométrie des rues existantes (stockées en mémoires). Ensuite un modèle de voie est créé, basé sur le plan de référence (absolu). Si une des configurations de ruelles hypothétiques correspond au modèle, alors elle est validée, et le véhicule saura qu'une ruelle est présente. Il connaîtra sa forme et pourra donc l'utiliser pour son itinéraire.

3.2.3. Détection d'obstacles

Pour que les cybercars puissent être totalement autonomes en ville, il faut qu'elles soient capables de détecter les obstacles comme des humains : un rebord de route, un barrage, des panneaux de signalisations...

3.2.3.1 Principe

Nous allons dans un premier temps vous expliquer le principe de la détection d'obstacles en 6 étapes, résumé par le schéma suivant :

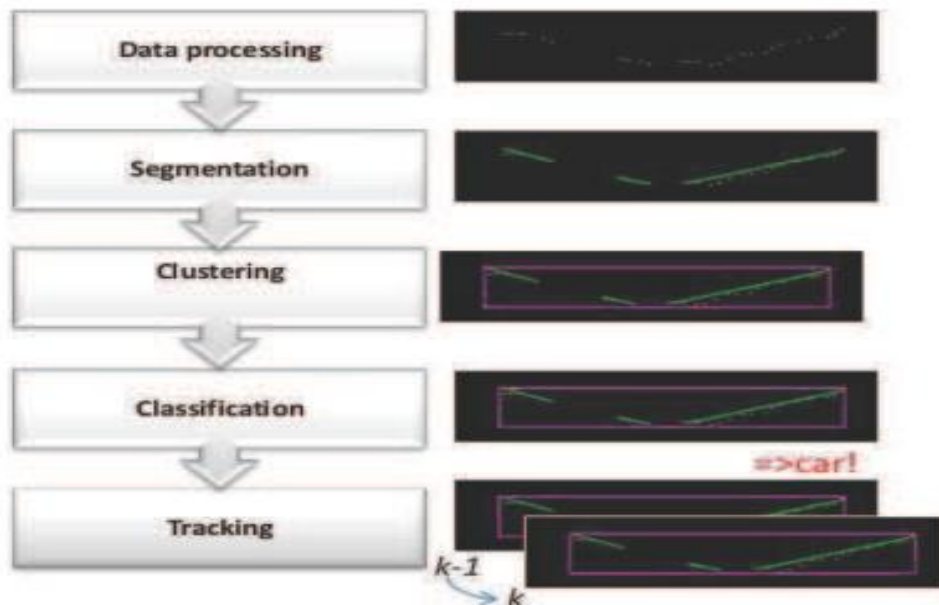


Figure 5 Schéma synthèse de la détection d'obstacles



Etape 1 : traitement de données (Data processing)

Cette étape permet de transformer les distances mesurées grâce aux différents lasers présents sur la C1 en des coordonnées cartésiennes. Elles sont alors placées un repère local dont l'origine est le centre de l'arrière du véhicule. Les points sont ensuite triés selon leur angle par rapport au centre du système de coordonnées.

Etape 2 : segmentation

Un algorithme récursif de linéarisation est utilisé afin de créer des segments. Dans notre cas, celui de Ramer-Douglas- Peucker permet de transformer un polygone en une polyligne par la suppression de certains nœuds.

En effet, le principe est simple : on prend les deux extrémités des données, on « trace » une droite entre ces deux points, on prend le point dont la distance est la plus grande à cette droite, et on relie ce dernier avec celui du début.



Si entre ces deux extrémités il n'y a qu'un seul point et que celui-ci est à une distance inférieure à un paramètre d_1 , alors ce point est considéré comme inutile. Le dernier point considéré comme utile devient alors celui du début. La fin des points redevient l'autre extrémité.



Et ainsi de suite jusqu'à voir une polyligne (de manière récursive) :



Etape 3 : Clustering

Dans l'étape « Clustering », on agglomère toutes les polygones pour créer des objets. Tous les objets ayant moins de 5 impacts de lasers sont retirés. Ensuite, seuls les objets sur la voie du véhicule sont considérés, les autres sont aussi supprimés.

Etape 4 : Classification

Pour la classification, la taille et la forme générale de l'objet sont détectées puis classifiées afin d'être de plus en plus certain de l'identité de l'obstacle.

Etape 5 : Tracking

Dans l'étape Tracking, les informations de la dynamique du véhicule sont prises en compte. En effet, la vitesse et l'angle qui désignent la direction de la C1 permettent d'augmenter le suivi de l'obstacle dans le référentiel cartésien local. Or ce suivi doit se faire en temps réel, c'est pourquoi on utilise les méthodes de la Constante de vitesse de Kalman ainsi que l'approche du voisin le plus proche.



Une fois toutes ces étapes réalisées, nous arrivons au résultat suivant, où le rectangle cyan représente la voiture, les croix jaunes les impacts des lasers, les lignes bleues la limite de la voie et les lignes roses la limite de détection jugée comme correcte. Le rectangle rouge représente le fait que le véhicule identifie la chose comme un obstacle ainsi que son orientation (la flèche ainsi que le chiffre).

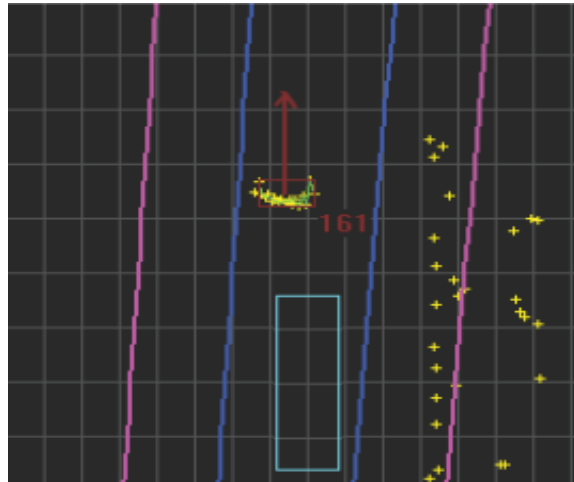


Figure 6 Résultats de la détection d'obstacles

3.2.3.2 Régulation adaptative de vitesse

Si tant de moyens sont déployés pour la perception du milieu environnant, c'est pour que le véhicule puisse réguler sa vitesse en s'adaptant à son milieu. Cette régulation adaptative de vitesse (ACC = Adaptive Cruise Control) est possible grâce à la combinaison de deux techniques différentes : le classement de la priorité de l'importance de l'obstacle et l'estimation de sa vitesse.

Le classement de la priorité de l'importance de l'obstacle.

Le véhicule détecte les voies environnantes afin de percevoir les obstacles. Grâce à des traitements de signaux et d'images, le véhicule reconnaît les obstacles les plus proches. Cette opération ne s'effectue que sur la voie présente, afin de ne pas avoir un comportement inapproprié face au danger.

Ici par exemple, le véhicule reconnaît sa voie en modélisant les lignes qu'il détecte en bleu, et l'autre voie en rouge. En suivant ces lignes il adapte sa vitesse en fonction de la courbure (virages etc ...). Il ne s'appuie que sur la détection de voirie.



Figure 7 Détection des délimitations de la route

L'estimation de la vitesse de l'obstacle.

Les obstacles que le véhicule peut rencontrer ne sont pas immobiles, ce qui est d'autant plus flagrant en ville. La Cybercar doit donc être capable de calculer la vitesse de l'obstacle détecté afin de pouvoir agir avant l'impact. Pour estimer cette vitesse, la technique utilisée est la dérivation numérique.

Les obstacles sont repérés grâce au module de détection qui se base sur l'égo-localisation (assuré par les caméras + lasers). Grâce aux capteurs, la distance relative $d_r(t)$ entre le véhicule et l'obstacle peut être calculé à chaque instant t . La distance $d_r(t)$ est ainsi



considérée comme un paramètre d'entrée qu'il faut dériver afin d'obtenir la vitesse relative (principe de base de la mécanique classique).

Cette distance est approximée comme un développement de Taylor d'ordre N tronqué, qui peut être localement approximé à son tour comme une fonction polynômiale. Par exemple, pour $t = 0$ on approche $d_r(t)$ par :

$$\text{Eq. (3)} \quad d_r(t) = \sum_{i \geq 0}^N d_r^{(i)}(0) \frac{t^i}{i!}$$

Chaque signal traité peut alors être étendu à un polynôme de degré supérieur, et une transformation de Laplace peut être ainsi effectuée. Cela permet de calculer les coefficients du polynôme représentant la vitesse de l'objet.

La transformation de Laplace (comme celle de Fourier) est très utilisée en traitement du signal et en mécanique. En effet, cette transformation permet de passer d'un espace temporel (dépendant du temps) à un espace fréquentiel (dépendant de la fréquence). Cela permet de simplifier grandement la résolution d'équations liées à la dynamique. Ces dernières sont représentées par des équations différentielles, qui sont pour la plupart impossibles de résoudre dans notre espace temporel. Avec la transformation de Laplace ces équations sont beaucoup plus simples à résoudre. Par exemple, une équation basique de la forme :

$$\text{Eq. (4)} \quad y'(t) + y(t) = e(t) \xrightarrow{\text{Laplace}} pY(p) + Y(p) = f(p)$$

Il est alors possible de résoudre l'équation par :

$$\text{Eq. (5)} \quad Y(p) = \frac{f(p)}{1 + p}$$

Grâce à la transformation inverse de Laplace, nous retrouvons notre $y(t)$, solution de l'équation différentielle de départ.

Avec la représentation locale de $d_r(t)$ au premier ordre, nous avons le polynôme suivant :

$$\text{Eq. (6)} \quad \forall (a_0, a_1) \in R^2 : d_r(t) = a_0 + a_1 \cdot t$$

Pour calculer la vitesse relative de l'objet, nous devons estimer le coefficient a_1 . Grâce aux différentes transformations de Laplace et à des calculs que nous ne développerons pas, nous pouvons estimer le coefficient a_1 par la formule temporelle suivante :

$$\text{Eq. (7)} \quad \widehat{a}_1 = -\frac{3!}{T^3} \int_0^T ((T - 2\tau)d_r(\tau))d\tau$$

Où T est la taille de la fenêtre d'intégration.



3.2.4. Contrôle du véhicule

Maintenant que la C1 EV'IE est capable de percevoir le milieu environnant, de détecter les obstacles et de prévoir leur vitesse, elle doit pouvoir agir. Ce qui nous amène à la problématique du contrôle du véhicule. Il faut savoir que 2 types de contrôles sont appliqués : le contrôle latéral, qui permet de rester ou de changer de voies (en anglais LKS/LCS) et le contrôle longitudinal qui permet de réguler la vitesse et donc de parfaire l'ACC.

3.2.4.1 Contrôle latéral

La loi de contrôle latéral s'effectue via deux paramètres qui sont l'angle de braquage des roues (noté β) qui modifie la trajectoire et l'angle de rotation du véhicule par rapport à un point variable situé au loin devant le véhicule (noté φ). Ce point est à une distance d_v de la cybercar et dépend de la vitesse actuelle du véhicule, comme le montre la formule suivante :

$$\text{Eq. (8)} \quad d_v = \begin{cases} d_{min} & v \leq v_{min} \\ d_{min} + \left(\frac{v_{max} - v}{v_{max} - v_{min}} \right) d_{max} & v_{min} \leq v \leq v_{max} \\ d_{max} & v \geq v_{max} \end{cases}$$

Pour évaluer β nous avons besoin de l'erreur sur la position latérale du véhicule, e_p , afin de définir la loi de contrôle utilisée :

$$\text{Eq. (9)} \quad \beta = k_1 \cdot e_p + k_2 \cdot (\varphi - \varphi_{ref})$$

Où φ_{ref} est donné par l'angle avec la voie où les données sont récoltées.

3.2.4.2 Contrôle longitudinal

La loi de contrôle longitudinale est modélisée par un simple calcul d'intégrale partielle, basée sur l'erreur faite sur la vitesse $v_e = (v - v_{ref})$. Cette loi est utilisée pour contrôler la position p du couple accélérateur/ pédale de frein.

$$\text{Eq. (10)} \quad p = k_p \cdot v_e + k_i \int (v_e + k_D) \partial v_e$$

Pour éviter tout blocage et saturation sur la commande influant sur la position de la pédale, l'erreur sur l'approximation de l'intégrale est limitée par un algorithme d'anti saturation. Ce dernier est un algorithme de correction à somme d'intégrales. Il permet d'empêcher ou de limiter toute variation trop brutale lorsqu'un paramètre change.

Le principe de fonctionnement est le suivant : si la somme du signal d'entrée et de la moyenne de la fréquence du signal est supérieure en valeur absolue à une certaine limite, alors le signal d'entrée prendra la valeur de la limite moins la moyenne.

Lorsque qu'aucun obstacle n'est présent dans l'environnement du véhicule, la vitesse de référence v_{ref} est donnée par le minimum entre la vitesse désirée par l'utilisateur v_{usager} , la limitation de vitesse sur la route donnée v_{route} et le maximum de la vitesse que le système automatisé peut subir $v_{systeme}$. Par contre, lorsqu'un obstacle est présent sur la trajectoire du véhicule avançant à la vitesse v_{obs} , la vitesse de référence doit être calculée de la manière explicitée dans le paragraphe suivant.



Grâce à l'équation de Torricelli, nous pouvons calculer la vitesse finale v_f en fonction de la vitesse initiale v_i lorsqu'un obstacle est détecté :

$$\text{Eq. (11)} \quad v_f^2 = v_i^2 + 2A\Delta d$$

En effet, en adaptant la méthode de Torricelli, notre problème de mécanique satisfait tous les critères pour appliquer cette formule (à chaque t, Δd est constant etc ...).

Sachant que la variation de vitesse désirée est de 0 lorsque le véhicule est à la distance appropriée de son obstacle, la vitesse finale peut être calculée par :

$$\text{Eq. (12)} \quad v_f = \sqrt{2 \cdot A \cdot \Delta d}$$

Où $\Delta d = d_{error}$ et A l'accélération ou la décélération voulue.

Le coefficient $\frac{d_{error}}{|d_{error}|}$ est alors introduit pour spécifier le signe de la variation de vitesse. En effet, v_f est toujours positive et v_{ref} est définie, dans notre cas, par le minimum entre $v_{désirée}$ et la vitesse de l'ACC v_{ACC} .

Cette dernière est définie par :

$$\text{Eq. (13)} \quad v_{ACC} = v_{obs} + \left(\frac{d_{error}}{|d_{error}|}\right) \sqrt{2 \cdot A \cdot |d_{error}|}$$

Où $d_{error} = \min(d_{obs}, v_{obs} \cdot t_{approche})$, d_{obs} est la distance entre le véhicule et l'obstacle et $t_{approche}$ le temps nécessaire à toucher l'obstacle.

La position finale p des pédales de freinage et d'accélération est donc ensuite donnée par le minimum entre v_{acc} et le temps estimé avant la collision avec l'obstacle environnant.

3.2.5. Interaction avec l'humain

Maintenant que nous avons vu comment le véhicule est capable de détecter les dangers de son environnement, de prévoir sa vitesse et les mouvements de ses roues, il manque l'interaction avec le conducteur.

En effet, le but de La CyberCar n'est pas d'imposer certains choix au conducteur. Il peut donc décider de la vitesse à laquelle il souhaite rouler (notée $v_{désirée}$ précédemment). Pour cela, un écran tactile est présent dans le véhicule. Ce dernier permet, entre autre de sélectionner toutes les options possibles, comme initialiser un dépassement de véhicule en actionnant le clignotant par exemple.

Cet écran permet aussi à la C1 EV'IE de partager toutes les informations qu'elle collecte afin de mettre à disposition tous les paramètres possibles pour un quelconque choix de l'utilisateur. En effet, les informations concernent, la vitesse du véhicule, les manœuvres effectuées, ainsi que les obstacles et les voies environnantes, le tout en temps réel.



Voici un exemple de ce que l'écran peut afficher à l'utilisateur lors de son fonctionnement. Nous voyons ici qu'il affiche la limitation de vitesse imposée par la route, l'état de la cybercar (égo localisation, vitesse actuelle ...) ainsi que l'état actuel de la voie. Ici, il informe le conducteur qu'il y a 2 voies et qu'il est préférable de doubler le véhicule qu'il reconnaît comme un obstacle au vu de sa vitesse. Il indique aussi que le dépassement se fera par la gauche. Pour cela, les informations renvoyées par l'écran sont mises à jour à chaque fois que des informations sont traitées par le processeur, ce qui permet d'avoir les informations en temps réel.



Figure 8 : Exemple de l'iHM

Pour certains cas particuliers (route bloquée, fin de zone d'application d'une limitation, arrêt d'urgence), des messages écrits sont affichés afin de faciliter la compréhension de ces situations pouvant être dangereuses.

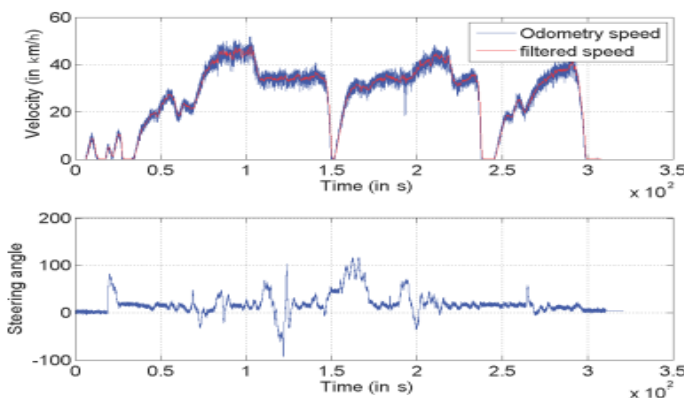
De plus, le conducteur doit avoir la maîtrise du véhicule à n'importe quel moment, c'est pourquoi s'il appuie sur STOP, la C1 EV'IE s'arrêtera de fonctionner.

3.2.6. En pratique

Est-ce que toute la technologie et tous les moyens mis en place pour la C1 EV'IE sont efficaces ? Il s'avère que oui. Après de nombreux tests dans le laboratoire de l'INRIA de Rocquencourt, que nous avons visité, le véhicule a été testé sur les voies de Satory, route fréquentée de Versailles, dans la périphérie de Paris sur une distance de 20 km. Le temps était nuageux, et le circuit imposé au véhicule mettait en scène beaucoup de scénarios possibles dans la vie courante.

Par exemple, le module de détection des voies a du être confronté à des marquages anciens et abimés, des marquages bleus inutiles (repérages pour la fibre optique ou les conduits de gaz), des routes pavées, ainsi que beaucoup d'ombres. De plus, même si des preuves théoriques avaient été menées sur le fait que la détection de voie soit possible la nuit, ce test a même pu démontrer que ce module est aussi efficace le jour que la nuit.

L'objectif de cette expérience était de tester la voiture dans différents cas d'usages : suivi et changement de voies, dépassement, régulation adaptative de vitesse en milieu urbain et freinage d'urgence. Toutes ces manœuvres ont été effectuées avec brio et à plusieurs reprises pendant le trajet.



L'image ci-contre représente les variations de vitesse ainsi que de l'angle de braquage des roues sur une période temps d'environ 6 minutes (soit 2 km).

Figure 9 : Etat du véhicule en fonction du temps



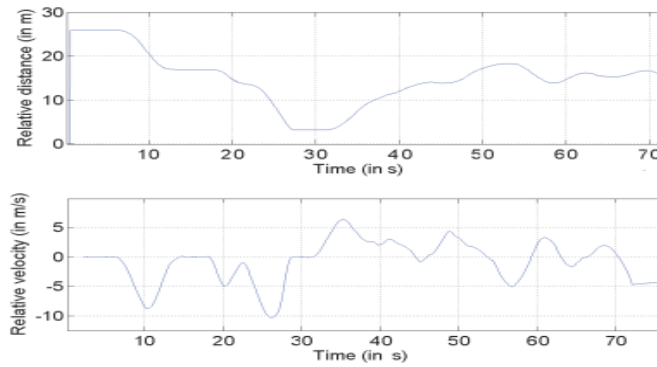


Figure 10 : Réponse du véhicule en fonction du temps

Les graphiques ci-dessus permettent de visualiser à quel point les algorithmes et méthodes de reconnaissance d’obstacles et de régulation de vitesse sont efficaces.

Le premier graphique représente la distance mesurée entre la C1 et l’obstacle ainsi que la vitesse calculée grâce à la méthode de dérivation numérique.

A $t = 26$ s, un obstacle mobile, véhicule manuel de l’INRIA, a été placé devant la C1 qui a dû adapter sa vitesse. On observe alors une diminution de la distance séparant l’obstacle de la C1. Toutefois, le second graphique montre que la Cybercar a su relever cette variation de vitesse. A $t = 32$ s, la distance entre les deux véhicules était la distance minimale autorisée, c’est pourquoi on observe le plat du premier graphique lié à l’adaptation de la vitesse de la C1 pour ne pas emboutir le véhicule.

Nous pouvons donc dire, que la C1 EV’IE de l’INRIA est un succès, car elle est armée de tous les outils nécessaires à l’adaptation de la conduite en ville. Même si les tests ont été très concluants, certains points sont encore à revoir afin de pouvoir fournir un produit infaillible pour le confort de l’ensemble des usagers.



3.3. Enjeux sociétaux et développement futur

Grâce à l'application technique que nous avons développée dans la partie précédente, nous avons pu constater que le développement de tels véhicules pouvait ouvrir de nouveaux marchés et avoir de nombreuses retombées sur le plan économique. Cependant, nous allons voir que l'automatisation totale des véhicules peut poser certains problèmes juridiques, notamment sur l'agent responsable en cas d'accident.

3.3.1. Enjeux économiques

La création de cybercars entraîne un changement de la vision économique et légale de la circulation. Commençons par détailler ces changements et leurs conséquences d'un point de vue économique.

Des études ont cherché à estimer les bénéfices possibles perçus en 2030 grâce à la création et au développement des voitures autonomes. D'après le graphique ci-dessus, créé par l'entreprise KPMG France (cabinet français d'audit et d'expertise comptable), le montant de bénéfice serait de 51 milliards de livres sterling, soit 70 milliards d'euros.

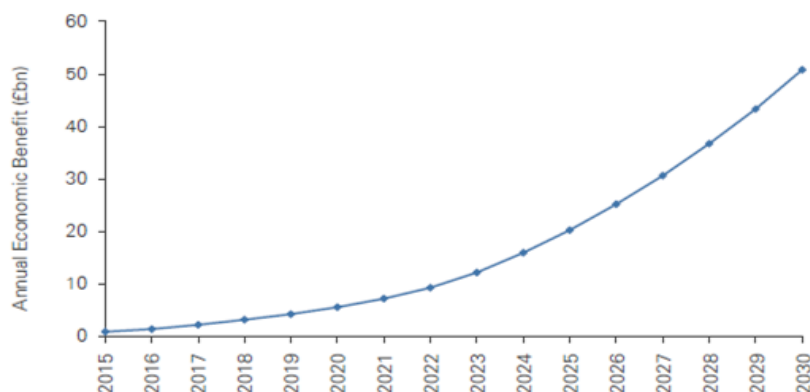


Figure 11 : Estimations des bénéfices au Royaume Uni en livres Sterling

Le manque de communication et de partage d'informations est l'un des facteurs les plus coûteux pour tous les systèmes de transport. C'est pourquoi, des technologies comme le système V2V (Vehicule to vehicule) sont mis en place. Ils permettent la transmission d'informations entre les véhicules, principalement sur l'état du trafic et les éventuelles perturbations. Les conséquences directes sont une réduction des embouteillages et du temps de trajet, une circulation plus fluide, une diminution des émissions de gaz et une baisse de la consommation de carburant. De plus, toutes ces conséquences ont un impact positif sur l'environnement.

Du point de vue de la sécurité, le nombre d'accidents pourrait être largement diminué. En effet, l'erreur humaine est à la source de 90% des accidents de la route. Bien que les systèmes d'aide à la conduite tels que les radars anticollision aient déjà fait baisser le nombre de sinistres, le nombre de personnes victimes chaque année d'accidents de la circulation reste très important (plus de 3 500 morts en 2014). D'après une étude menée par KPMG, les cybercars pourraient éviter 30 000 hospitalisations chaque année en France et permettre l'économie de 4 milliards d'euros.



L'implantation des véhicules autonomes a aussi d'autres conséquences économiques telles que la création d'emplois. En effet, le développement de nouvelles filières ou de nouvelles entreprises sont nécessaires. Il s'agit d'un marché nouveau qui peut prétendre à de très importantes expansions au regard de la demande de ces produits dans notre société.

Tous les niveaux de productions sont concernés : des postes d'ingénieurs pour le développement et l'amélioration des produits, aux postes de techniciens et d'exécutants pour la fabrication des véhicules.

On peut aussi s'amuser à imaginer les modifications qu'une implantation totale de véhicules totalement autonomes pourrait engendrer sur notre société. En effet, l'utilisation de Cybercar ou de véhicules de plus grande capacité modifierait l'ensemble de nos modes de transport actuels. Le développement des flottes de véhicules urbains, le modèle du véhicule personnel est amené à disparaître, au moins dans les villes.

3.3.2. *Un aspect juridique qu'il reste à régler*

Étudions à présent les aspects légaux. De nos jours, les lois Européennes indiquent que le conducteur doit avoir en tout moment le contrôle du véhicule, ce qui rend la circulation des cybercars pour l'instant illégale. Ainsi, pour pouvoir arriver un jour à la mise en place des cybercars dans la circulation, la loi va devoir être modifiée, mais quelques problèmes se posent.

Tout d'abord s'impose une question de standardisation et de certification. Étant donné les différents niveaux d'automatisation dans les véhicules, différentes lois doivent être créées pour couvrir tous ces niveaux et éviter ainsi des lacunes légales. Pour les définir, il faudrait non seulement se référer aux définitions que nous avons mentionnées dans la première partie du dossier, mais aussi certifier ces différents niveaux par des tests et des critères propres à chacun. Ceci permettrait de situer chaque véhicule dans une catégorie qui aurait sa propre réglementation par rapport à ses caractéristiques, aux véhicules de sa catégorie et ceux des autres groupes.

Comment définir ces lois ? Tout d'abord, il faut définir ce qu'est une conduite sûre, en relation avec les cybercars, pour ainsi identifier quelles actions peuvent être légales. Ainsi, des tests sont réalisés avec des voitures automatisées. Pour l'instant, la circulation n'est pas autorisée mais des tests de cybercars sont autorisés. Un conducteur doit tout de même être présent, prend la responsabilité et assure la sécurité de ceux qui l'accompagnent. Ainsi, lors de ces tests, l'entreprise doit non seulement posséder une assurance, mais aussi avoir l'accord du gouvernement du pays, ou de la région dans lequel ou laquelle ils auront lieu.

Un Code de conduite et de responsabilité doit donc être mis en place pour les voitures automatisées. Ce code comprendrait non seulement les réglementations spéciales à suivre par les cybercars en période de test mais aussi les standards à respecter par les fabricants. Trois parties sont importantes dans la rédaction de ce code. Premièrement, il faut que le conducteur de test du cybercar soit un professionnel, capable de prendre le contrôle du véhicule à tout moment, et avoir eu une formation sur la technologie qu'il va manipuler. Ensuite, il faut que les données sur la conduite soient enregistrées à chaque instant, de sorte qu'en cas d'accident, on puisse étudier les causes et déterminer si le véhicule était en conduite automatique ou manuelle. Finalement, la technologie et le véhicule doivent être



testés (dans des circuits fermés, par exemple) et certifiés avant leur mise en circulation probatoire sur la route publique.

De nombreuses questions sur la responsabilité en cas d'accident se posent encore sur les cybercars : comment ces véhicules seront assurés ? Si un accident blesse ou tue une personne, est-ce le constructeur ou bien le conducteur (passif sur le moment) qui est responsable devant la justice ?

De plus, si ce n'est plus une personne qui conduit le véhicule, quelle serait l'utilité du permis de conduire ?

Toutes ces questions d'ordre législatif et de responsabilité sont encore des points indispensables à régler avant l'implantation des cybercars dans nos zones urbaines.

3.3.3. Développements futurs

Comme nous l'avons souligné précédemment, la généralisation des Cybercars n'est pas pour demain. Pourtant beaucoup d'expérimentations de systèmes autonomes ont été réalisés en France et dans le monde dans des conditions de la vie courante. Tous les tests se sont bien déroulés, sans aucun accident (à chaque fois un chauffeur humain était présent dans le véhicule, pieds sur les pédales prêt à intervenir). Il est donc naturel de se poser la question : pourquoi les Cybercars ne sont pas sur le point d'être sur le marché ?

Le but des Cybercars est d'aboutir à un système totalement autonome et communiquant. Et c'est justement cette partie, la communication qu'il reste à développer.

Imaginez toutes les erreurs qui peuvent s'accumuler autour des calculs et des approximations effectuées sur un long trajet, cela peut devenir catastrophique. Alors qu'un réseau totalement coopératif rendrait le trajet beaucoup plus certain pour l'utilisateur.

Certaines Cybercars développées par l'INRIA sont capables de détecter les panneaux, les feux tricolores et les passages piétons. Mais que se passe-t-il s'il y a une défaillance des algorithmes de reconnaissance ou que ce panneau soit caché par des arbres ou autres obstacles ? Un accident peut résulter de ce manque d'informations.

C'est pourquoi beaucoup de moyens sont actuellement déployés pour améliorer et créer des systèmes de communication entre les véhicules (V2V) et entre les infrastructures et les véhicules (I2V) afin d'augmenter encore et encore la quantité d'informations disponible. Imaginez si, par exemple en ville, tous les véhicules communiquaient entre eux. C'est-à-dire que chaque véhicule partagerait avec les autres sa position, sa vitesse, ainsi que sa destination.

Cela permettrait à tous les véhicules de s'adapter au mieux à la congestion pouvant résulter de tous ces trajets combinés. Rajoutez à cela des feux tricolores, des panneaux et des passages piétons qui communiquent avec les véhicules, donnant des informations sur leur état et sur les règles qui s'appliquent (priorité à droite, présence d'un piéton ...).

La mise en place de ces infrastructures est un vrai défi pour demain. En effet, la mise en place de structures communicantes (modèle de la SmartCity) doit être une solution à long terme, et donc doit être capable de s'adapter à tous les réaménagements urbains.



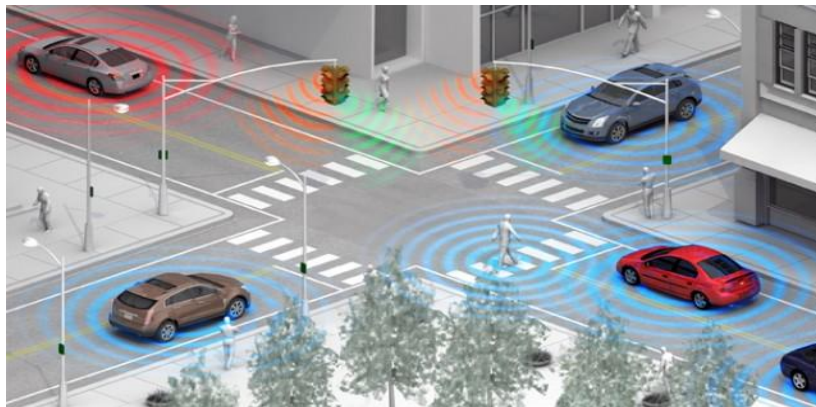


Figure 12 : Modélisation d'un système V2V et I2V

Toute cette communication, en cours de développement permettrait de combler ce manque d'informations qui permettrait de créer des systèmes de transports beaucoup plus sûrs, et beaucoup plus à même de s'adapter à tout instant grâce au flux continu de données communiqué.

Certaines infrastructures communicantes ont déjà vu le jour, comme à Melbourne (2006), où toute une portion d'autoroute détectait l'état du trafic ainsi que les excès de vitesse et renvoyait ces informations à une centrale qui les traitait. Mais on se rend bien compte que cette communication n'est pas suffisante, il faudrait être capable de diffuser ces informations (préalablement traitées) à tous les véhicules utilisant cette route sans être altérées par d'autres signaux émis par les véhicules, appareils mobiles etc ...

Même si certaines idées sont émises, de nombreux essais, engendrant d'importants coûts doivent être réalisés prenant en compte la faisabilité d'un tel échange de données. C'est pourquoi toutes ces problématiques représentent les défis de demain pour tous les ingénieurs et chercheurs travaillant dans le domaine des STI, de la télécommunication et de la communication des données.

C'est dans l'attente du développement et de la généralisation de ces infrastructures communicantes que les recherches sur les Cybercars continuent afin de pouvoir fournir un service totalement certain, ne laissant aucun choix au hasard.



4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

4.1. Conclusions sur le travail réalisé

Le thème de notre sujet, les STI étant très vaste, nous avons préféré nous concentrer sur le niveau le plus élevé d'automatisation : les Cybercars. Les recherches effectuées sur ce sujet ont été nombreuses, et il a été très difficile de distinguer les sources d'informations fiables.

La constitution du dossier a permis à tous les membres du groupe d'enrichir ses connaissances sur les systèmes de demain, les systèmes autonomes et intelligents. Nous avons pu étudier différents aspects des cybercars : leurs impacts sur la société, leur fonctionnement mais aussi leurs limites. Cette vision d'ensemble nous permet de mieux appréhender les enjeux de telles avancées technologiques et de nous forger nos propres opinions.

La visite à l'INRIA a été une réelle chance de pouvoir observer de près tous les objets ou presque de notre étude et d'avoir de précieux compléments d'information. Il est néanmoins dommage que nous n'ayons pu assister à une démonstration des Cybercars lors de notre visite à cause du temps indésirable.

4.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet

Adam : Ce projet m'a apporté dans un premier temps des connaissances non négligeables dans le domaine des technologies et en particulier des STI. La documentation puis la visite de l'INRIA ont su attirer mon attention et ma curiosité intellectuelle. Ce projet sera, de part l'intérêt qu'il a suscité pour moi, déterminant dans mon choix d'orientation (ASI ou GM).

Brice : L'accomplissement de ce projet tout au long du semestre 4 a été pour moi très formateur. Premièrement, celui-ci nous a montré encore une fois la nécessité du travail d'équipe pour l'accomplissement de ce type de projet. De plus, les STI et les Cybercars m'ont toujours intéressé car ils représentent le futur des transports, et s'inscrivent dans l'ère de la numérisation et des intelligences artificielles autonomes, clés du XXI^{ème} siècle.

Caroline : Ce projet m'a fait découvrir un domaine qui m'était totalement inconnu : les systèmes de transport intelligent. J'ai particulièrement aimé travailler sur ce sujet car il m'a permis de prendre conscience des limites de nos modes de transport actuels. En apportant des réponses aux problématiques majeures de notre société (pollution, congestion des villes...), ces nouveaux modes de transport sont pour moi indispensables pour le développement futur de nos villes.

Gaëlle : Il est vrai que le sujet choisi est plutôt éloigné de mon choix d'orientation. Cependant, ce projet m'a permis d'en apprendre beaucoup sur un sujet très intéressant et d'avenir. De plus, en tant que future ingénieure, cela me paraît important d'élargir au maximum ma culture scientifique. Le travail en groupe, encore une fois nous permet de nous mettre en situation que nous serons amenés à vivre, ce que je trouve très bien.



Sergio : Ce projet a été très enrichissant pour moi: le fait d'aborder un sujet d'une telle amplitude en équipe m'a apporté une expérience essentielle a la réalisation de futurs projets. De plus, les différents aspects traités sur les STI m'ont fait découvrir une grande quantité d'information sur l'IA, et la perception de données, ce qui m'intéresse pour ma future spécialisation en informatique.

Wilfried : Ce projet m'a permis d'appréhender les différents aspects qui m'intéressaient liés aux véhicules intelligents tels que l'informatique et la mécanique. De plus, le fait d'avoir pu observer à l'INRIA la concrétisation de nos recherches m'a beaucoup plu. Le travail en groupe aura été enrichissant, nous avons pu apprendre à respecter des délais, les attentes et à s'organiser dans un groupe où chacun se destine à des spécialisations différentes.

4.3. Perspectives pour la poursuite de projet

Si nous avions l'occasion de poursuivre ce projet, nous aurions très certainement plus étoffé l'étude de cas. En effet, nous aurions aimé parfaire la description technique de notre étude de cas, en abordant les sujets de reconnaissance routière. Nous entendons par là, que nous aurions expliqué comment il est possible de détecter les panneaux et les feux tricolores.

De plus, nous aurions de même effectué des recherches beaucoup plus approfondies sur les innovations dans les domaines de la communication coopérative, c'est-à-dire concernant les technologies et techniques se cachant derrière les concepts de V2V et I2V.

Il aurait aussi été intéressant de pouvoir creuser la question de l'économie, et des applications des transports autonomes dans le monde de l'industrie.

Finalement, nous aurions aussi pu développer une animation 3D du fonctionnement d'une Cybercar sur un trajet quelconque, modélisant au mieux toutes les parties techniques développées dans notre travail.



Figure 13 : Sortie à l'INRIA



5. BIBLIOGRAPHIE

<http://www.kpmg.com/fr/fr/issuesandinsights/articlespublications/press-releases/pages/20121115-kpmg-voiture-sans-conducteur-revolution-en-route.asp> (valide à la date du 05/06/2015)

<https://hal.inria.fr/inria-00001074v3/document> (valide à la date du 05/06/2015)

<https://hal.inria.fr/inria-00533483/document> (valide à la date du 05/06/2015)

http://road-network-operations.piarc.org/index.php?option=com_content&task=view&id=38&Itemid=71&lang=fr (valide à la date du 06/05/2015).

<http://www.imobilitysupport.eu/library/imobility-forum/working-groups/active/human-machine-interaction/other-reports-5/2190-hmi-wg-report-on-hmi-certification/file> (valide à la date du 06/05/2015).

https://coeut.iitm.ac.in/ITS_synthesis.pdf (valide à la date du 06/05/2015).

<http://www.imobilitysupport.eu/library/imobility-forum/working-groups/active/automation/reports-3/2185-auto-wg-automation-roadmap-final-report-june-2013/file> (valide à la date du 06/05/2015)

<http://www.cybercars.fr/> (valide à la date du 06/05/2015)

https://hal.inria.fr/index.php?halsid=sksf7om5uop985tgo45obca965&view_this_doc=inria-00000467&version=1 (valide à la date du 06/05/2015).

https://hal.inria.fr/index.php?halsid=sksf7om5uop985tgo45obca965&view_this_doc=inria-00115112&version=2 (valide à la date du 06/05/2015)

<https://hal.inria.fr/hal-00848093/document> (valide à la date du 06/05/2015).

<https://hal.inria.fr/inria-00533483/document> (valide à la date du 06/05/2015).

http://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/Reports&Speeches_External/MIT_Singapore_Spieser.pdf (valide à la date du 06/05/2015)

http://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_de_transport_intelligent (valide à la date du 06/05/2015)

