

Projet ANR-09-VTT-01

ABV - Automatisation Basse Vitesse

Programme 2009 2013

A	IDENTIFICATION.....	3
B	RESUME CONSOLIDE PUBLIC	3
B.1	Résumé consolidé public en français	3
B.2	Résumé consolidé public en anglais.....	5
C	MEMOIRE SCIENTIFIQUE.....	7
C.1	Résumé du mémoire	7
C.2	Enjeux et problématique, état de l'art	7
C.3	Approche scientifique et technique.....	9
C.4	Résultats obtenus	9
C.4.1	La réalisation de l'automatisation et du partage de la conduite	9
C.4.2	Le développement et la validation	10
C.4.3	L'interaction avec la société	11
C.5	Exploitation des résultats.....	12
C.6	Conclusions.....	12
D	LISTE DES LIVRABLES.....	13
E	IMPACT DU PROJET	15
E.1	Indicateurs d'impact	15
E.2	Liste des publications et communications.....	16
E.2.1	Revue internationale	16
E.2.2	Thèses	16
E.2.3	Conférences internationales	17
E.3	Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires)	20
F	ANNEXES 1 - TACHE 1, PERCEPTION	23
F.1	Enjeux et problématique, état de l'art	23
F.2	Approche scientifique et technique.....	23
F.3	Résultats obtenus	24
F.4	Exploitation des résultats.....	25
F.5	Discussion	25
F.6	Conclusions.....	25
G	ANNEXES 2 - TACHE 2, PLANIFICATION	25
G.1	ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART.....	25
G.2	APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE	26
G.3	RESULTATS OBTENUS ET EXPLOITATION.....	27

G.4	DISCUSSION ET CONCLUSION	28
H	ANNEXES 3 - TACHE 3, CONTROLE.....	29
I	ANNEXES 4 - TACHE 4, COOPERATION HOMME MACHINE	34
J	ANNEXES 6 - TACHE 6, VALIDATION	41
J.1	Introduction	41
J.2	Création de données virtuelles.....	41
J.3	Tests et mise en concurrence	42
J.4	Conclusion	43
K	ANNEXES 8 - TACHE 8, IMPACT DU SYSTEME ABV	43
K.1	Introduction	43
K.2	Modèles pour un trafic mixte	43
K.3	Evaluation de l'impact de l'automatisation basse vitesse.....	44
K.3.1	Scénarios avec accidents :	44
K.3.2	Scénarios sans accident	44
K.4	Conclusion	44
K.5	Bibliographie	45

A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	ABV
Titre du projet	Automatisation Basse Vitesse
Coordinateur du projet (société/organisme)	Sébastien GLASER IFSTTAR
Période du projet (date de début – date de fin)	2009 - 2013
Site web du projet, le cas échéant	http://www.projet-abv.fr

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	M Sébastien GLASER
Téléphone	+33 1 30 84 40 27
Adresse électronique	sebastien.glaser@ifsttar.fr
Date de rédaction	Avril 2013

Si différent du rédacteur, indiquer un contact pour le projet	
Civilité, prénom, nom	
Téléphone	
Adresse électronique	

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	<ol style="list-style-type: none">1. IFSTTAR, Sébastien Glaser2. CONTINENTAL, Maurice Cour3. IBISC, Lydie Nouvelière4. IEF, Alain Lambert5. INRIA, Fawzi Nashashibi6. INDUCT, Cyril Royere7. LAMIH, Jean-Christophe Popieul8. MIPS, Benjamin Mourllion
---	---

B RESUME CONSOLIDE PUBLIC

B.1 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN FRANÇAIS

ABV : Conception d'un véhicule permettant l'automatisation à basse vitesse

Les voies rapides urbaines sujettes à la congestion : le partage de la conduite à basse vitesse sur des itinéraires sécurisés comme solution.

Malgré le recul du nombre de morts sur les routes ces dernières années en France, la sécurité reste un axe fort de recherche dans le domaine des transports terrestres. Or, les systèmes d'aide à la conduite de type ABS et ESP ne font que corriger une situation déjà dégradée suite à une mauvaise appréciation du conducteur. Les systèmes anticipatifs ont un rôle à jouer en intervenant avant toute dégradation.

Par ailleurs, notre société est confrontée à des enjeux de plus en plus forts dans le domaine de la mobilité : la route "automatisée" pourrait être une solution à la tendance observée vers l'allongement des déplacements.

Technologiquement parlant, de nombreuses évolutions rendent aujourd'hui possible l'automatisation de la conduite : le nombre et la performance des capteurs, l'augmentation des puissances de calcul embarquées, le perfectionnement des actionneurs... Néanmoins, la

robustesse de ces systèmes limite cette possibilité à des itinéraires dits "sécurisés" et le contexte législatif impose la présence du conducteur, garant du contrôle du véhicule.

Face à ces enjeux, le projet ABV vise l'automatisation de la conduite à basse vitesse sur des itinéraires sécurisés et en partage avec le conducteur humain, si celui-ci le désire. Le projet s'intéresse plus particulièrement aux voies rapides urbaines et autoroutes sujettes à congestion.

Du simulateur à la réalisation de véhicules prototypes, les étapes de la recherche et du développement de l'automatisation de la conduite

Le développement d'un véhicule permettant de partager la conduite entre un conducteur et un automate fait appel à de nombreux domaines de recherche : perception de l'environnement, fusion de données, planification de trajectoire, contrôle du véhicule et coopération homme-machine. Le projet ABV se veut principalement intégrateur des technologies issues de la robotisation de la conduite existantes chez les partenaires. Néanmoins, ces différentes briques technologiques sont fortement interdépendantes. De plus, l'interaction avec le conducteur nécessite de reformuler les problèmes de planification et de contrôle.

Aussi, la simulation a été au centre du projet. Après avoir défini en détail l'architecture du système et les interfaces, des scénarios élémentaires ont permis de faire avancer chaque tâche en parallèle. La simulation présente un autre avantage : l'accès rapide à une vérité terrain permet de valider la recherche et les développements effectués.

Ensuite, avec le développement des véhicules prototypes, les données issues de la simulation ont été progressivement remplacées par des données réelles provenant des capteurs.

Depuis le début du projet ABV, de nombreuses expérimentations ont été réalisées à destination du grand public concernant l'automatisation complète de la conduite, notamment les présentations de la Google Driverless Car, au Nevada. La plupart de ces expérimentations vise l'automatisation complète, où le conducteur est mis complètement en dehors de la tâche de conduite.

Le projet ABV mise sur l'interaction entre l'homme et la machine avec un partage continu de la conduite, démontrée lors de la journée de présentation finale sur les pistes de Satory. Le concept a été validé au préalable sur simulateur. Il a été largement diffusé lors de présentations dans différents groupes de travail (WG on Automation du iMobility Forum, EU stakeholder meeting on vehicle safety, ...).

Les actions de diffusion scientifiques ont été réalisées à la fois dans des conférences scientifiques spécialisées (notamment IEEE), ainsi que dans des conférences à plus large audience (par exemple TRA). Certains partenaires ont aussi pu diffuser les résultats dans des revues.



Simulateur LAMIH



C1 INRIA



307 IFSTTAR

Trois prototypes ont été développés ou améliorés dans le cadre du projet ABV:

- Le Simulateur LAMIH a permis de mettre en œuvre et évaluer le partage de la conduite en utilisant notamment le driver monitoring, ainsi que les Interfaces Homme Machine visuelles et haptiques.
- Le C1 INRIA a démontré la perception autour du véhicule, la détection des voies et des obstacles, la planification et le contrôle automatisé.
- La 307 IFSTTAR a mis en œuvre le partage de la conduite et l'interface homme machine, ainsi que la perception des voies et des obstacles, la planification et le contrôle.

Le projet ABV est un projet de recherche coordonné par l'IFSTTAR (S. Glaser). Il associe quatre acteurs industriels (Continental, Viametris, Induct et VERI), ainsi que six acteurs académiques (IFSTTAR, IBISC, IEF, INRIA, LAMIH et MIPS). GMConseil a assisté l'IFSTTAR pour l'étude des aspects juridiques. Le projet a commencé en octobre 2009 pour une durée de 42 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de 2 200 000€ pour un coût global de l'ordre de 5 500 000€.

B.2 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN ANGLAIS

ABV : up to full automation of driving at low speed

Urban highways prone to traffic jams : sharing the driving task at low speed could be a solution

Despite the drops in the number of road accidents in France, Safety still remains a major aim in the field of land transport. However, commercialized systems, as ABS or ESP, only assist

the driver when the situation is already critical. Anticipating assistance systems provide a good solution as they intervene before the situation becomes worse.

In addition, we are facing challenges in the field of mobility, as the demand becomes stronger. The Automated Road could be a solution to these multiple problems.

On the technology point of view, many innovations now make it possible to control the driving task: sensors are booming in a vehicle, the computational power is available and we have easily controllable actuators... However, the robustness of these systems limits the automation to "safe roads". Moreover, the legal context requires that the driver is present in the car and can fully control the vehicle.

Facing these challenges, the ABV project aims to control the driving task, at low speed on safe road and allowing a shared control of the driving task, if he desires. The project focuses on urban highway, prone to traffic jams.

From the simulator to the prototype vehicle, research and development of the driving task automation.

Many research areas are involved in the development of a vehicle that is able to share the control between a copilot and a real driver: environment perception, data fusion, path planning, human machine cooperation. The ABV project primarily intends to integrate technologies that are available in the partnership. However, these technological components are highly interdependent. Moreover, the interaction with the driver implies to reformulate problems planning and control.

So, the simulation was central to the project. After a needs and requirements phases and the architecture definition, basic scenarios were used to parallelize the research tasks. The simulation also has another advantage: the ground truth to evaluate our developments.

Then, with the development of prototype vehicles, the data from the simulation have been gradually replaced by real sensor data.

Since the beginning of ABV project, many experiments were carried out to a broad audience for the complete automated driving, as presentations of the Google Driverless Car in Nevada. Most of these experiments target the complete automation, where the conductor is completely out of the driving task.

ABV project aims at the interaction between man and machine with a continuous share of the driving task, demonstrated during the final presentation day at Satory. The concept was previously validated simulator. It has been widely disseminated through presentations in various working groups (WG on Automation in iMobility Forum, EU stakeholder meeting on vehicle safety, ...).

Scientific disseminations were performed in both specialized scientific conferences (as IEEE) as well as more general conference (ie TRA). Some partners have also disseminated results in journals.



Simulateur LAMIH



307 IFSTTAR



C1 INRIA

Three prototypes have been developed or improved in the frame of ABV project:

- LAMIH driving simulator: implementation and evaluation of the shared control and driver monitoring as well as HMI.
- C1 INRIA vehicle: demonstration of the perception, lane detection, obstacle detection, path planning and control
- 307 IFSTTAR vehicle: implementation of the shared control and HMI as well as perception, planning and control

The ABV project is a research project coordinated by IFSTTAR (S. GLASER). It gathers four private partners (Continental, VERI, Induct and Viametris) and six academic partners (IFSTTAR, IBISC, IEF, LAMIH and MIPS). GMConseil was a third party of IFSTTAR on legal aspects. The project began in October 2009 for a duration of 42 months. It was funded by the ANR for a cost of 2.2 million euro for a total cost of about 5.5 million euro.

C MEMOIRE SCIENTIFIQUE

Mémoire scientifique confidentiel : non

C.1 RESUME DU MEMOIRE

Voir section B

C.2 ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART

L'automatisation de la conduite est vue comme une des solutions possibles pour rendre les transports plus surs, plus confortables et plus écologiques. Dès les années 80, de nombreux

projets ont contribué au développement de cette thématique. Ils ont aussi mis en avant de points restant à solutionner. Technologiques tout d'abord, la précision et la robustesse des capteurs ainsi que la puissance de calcul n'étaient pas suffisantes. Humain ensuite, la délégation complète de la conduite se heurte, notamment, à des problèmes d'acceptabilité. Législatif finalement, le cadre légal ne permet pas l'introduction de systèmes automatisés gérant complètement la conduite.

Aujourd'hui, les aides à la conduite disponibles ont fortement bénéficié des avancées de ces projets. L'ACC¹ par exemple, permet au conducteur de déléguer partiellement la gestion longitudinale de la conduite dans des situations particulières.

Depuis quelques années, deux visions de l'automatisation s'opposent:

- L'automatisation complète, poussée par Google, consiste en une délégation totale de la tâche de conduite. En plus des récentes expériences effectuées par Google au Nevada, de nombreux tests ont démontré la faisabilité de cette vision : la démonstration du VisLAB ou celles des DARPA Grand Challenges. Cette approche semble, actuellement, plus prometteuse dans le domaine du transport que de la conduite personnelle : des sites propres avec des navettes automatisées ont été développés, notamment dans le cadre des projets CityMobil et CityNetMobil.
- Le partage de la conduite, initiée récemment, consiste en une interaction forte entre l'homme et la machine pour la prise de décision et le contrôle du véhicule. Une première démonstration de cette approche a eu lieu lors du final du projet européen HAVEit avec un partage discontinu de la conduite à grande vitesse sur autoroute.

Dans ce contexte, le projet ABV a pour objet le développement de véhicules automatisés à basse vitesse (moins de 50km/h), partiellement ou totalement, sur un itinéraire sécurisé. En dehors de cet itinéraire, une assistance à la conduite est proposée. Ce type d'assistance est particulièrement utile dans le cadre de voies rapides urbaines et de périphériques, routes souvent sujettes à des congestions, ou pour des dessertes locales de transport en commun. Compte tenu de cette définition, le projet s'attache à plusieurs thématiques :

- L'itinéraire sécurisé. C'est en fait une route offrant une certaine qualité de service tant au niveau de la signalisation (horizontale et verticale) qu'au niveau de l'accès à des moyens de localisation, de communication et de connaissance de l'infrastructure à venir. Cet itinéraire, bien que sécurisé, serait ouvert à la circulation. Il doit notamment permettre d'assurer le bon fonctionnement de la perception de l'environnement routier.
- Le véhicule automatisé. C'est un véhicule permettant une conduite automatisée ou partagée avec le conducteur. Cette thématique regroupe des problèmes scientifiques (perception, planification, contrôle, partage avec l'humain) et techniques (validation, développement des prototypes).
- L'impact de cette solution de mobilité. C'est l'étude de l'acceptabilité juridique et sociale, avec notamment l'évaluation de l'impact sur le trafic.

¹ ACC : Adaptive Cruise Control

C.3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

L'un des objectifs du projet ABV consiste à développer des prototypes. Ces prototypes permettent d'effectuer nos recherches et de démontrer les concepts portés par le projet ABV. Ce sont des véhicules ou des simulateurs qui réalisent tout ou partie des concepts du projet.

Le projet aborde de nombreuses thématiques : vision par ordinateur, planification de trajet, contrôle, coopération entre l'homme et la machine, ... Il se positionne ainsi sur trois plans : la réalisation de l'automatisation et du partage de la conduite en accord avec le conducteur, le développement et la validation autour de prototypes et l'interaction avec la société.

- La réalisation de l'automatisation et du partage nécessite le développement ou l'utilisation de technologie existante afin d'assurer les tâches de perception de l'environnement (détection de la route, détection des obstacles ...), de planification de trajectoires (définition de la manœuvre et de la trajectoire en fonction de l'environnement), de contrôle (réalisation de la commande) et d'interaction avec l'humain (coopération homme machine et driver monitoring).
- Le développement et la validation visent principalement les spécifications et l'architecture, l'assemblage des différentes briques technologiques, afin de proposer un démonstrateur, ainsi que des scénarios permettant de valider le fonctionnement avec un conducteur.
- L'interaction avec la société étudie l'impact sociétal et les problèmes législatifs afin de montrer la faisabilité et l'intérêt d'un tel système.

Ainsi, la méthodologie retenue dans le cadre du projet consiste à définir et à corriger de manière itérative une architecture répondant aux objectifs du projet. Cette architecture est corrigée tout au long du projet afin de prendre en compte les remarques des thèmes humains et d'acceptabilité juridique. Au fur et à mesure des développements, les briques élémentaires de cette architecture ont été déployées successivement sur simulateur, afin d'en valider le bon fonctionnement avant d'être retenue, puis portées sur les prototypes.

C.4 RESULTATS OBTENUS

C.4.1 LA REALISATION DE L'AUTOMATISATION ET DU PARTAGE DE LA CONDUITE

Dans le cadre de la tâche 1, notre objectif était de percevoir l'environnement du véhicule afin qu'il puisse l'analyser et réaliser des actions minimisant certains critères. Concernant la détection de marquage, les systèmes ont été étendus à la détection multi-voies. Une architecture modulaire a été conçue afin de prendre en compte plusieurs caméras. La fiabilité et le fonctionnement en temps réel ont aussi été améliorés. Pour la détection d'obstacles, l'INRIA a étudié une approche fondée sur le SLAM et une approche fondée sur la segmentation en objets, utilisant un télémètre laser. L'IFSTTAR a étudié une fusion de la stéréovision et d'un capteur télémétrique : dans un premier temps un télémètre laser, puis un radar. Dans les deux cas, la modularité, la fiabilité, la précision et le fonctionnement temps réel ont été améliorés. Pour la localisation, l'approche a été très classique (fusion de données GPS et d'une centrale inertielle par un filtre de Kalman étendu). L'INRIA a adapté un environnement cartographique (CAORTO) pour fournir des informations issues de la cartographie.

Pour la tâche 2, nous devons fournir un ensemble de trajectoires acceptable pour le conducteur et répondant à des contraintes. Dans un premier temps, nous avons étudié le compromis entre réalisme et rapidité pour du modèle de véhicule, utilisé lors de la génération de trajectoire. Ensuite, des approches classiques de planification ont été étendues pour prendre en compte un ensemble de règles, reprenant celles du code de la route et de la convention de Vienne. L'objectif étant de générer des trajectoires admissibles et compréhensibles pour le conducteur et les autres usagers de la route. Différentes méthodes de planification ont été évaluées et rendues compatibles avec une exécution rapide : à chaque instant, des trajectoires correspondant au maintien dans la voie, changement de voie à droite ou à gauche, ainsi que des manœuvres d'arrêt d'urgence sont générées et évaluées. Les différentes trajectoires sont ensuite classifiées. Une manœuvre de changement de voie peut également être effectuée sur demande du conducteur via l'interface du système de coopération Homme-Machine.

La tâche T3 du projet ABV a pour principal objectif de réaliser le suivi de trajectoires issues du planificateur ABV en utilisant des contrôleurs adaptés. Elle doit aussi fournir une aide au conducteur en dehors du domaine d'utilisation classique pour le mode longitudinal. Dans un premier temps, nous avons employé des contrôleurs classiques (PID), puis, nous avons mis en place des méthodes fondées sur les théories du backstepping et du mode glissant. Ces dernières nous ont permis d'atteindre les objectifs de précision requise tout en permettant le partage de la conduite (contrôle en couple de la colonne de direction). Cette tâche a aussi pour but de minimiser la consommation, dans le domaine de fonctionnement du système ABV, ou en dehors. Nous avons développé un module d'optimisation de la consommation en carburant du véhicule ABV, en fonction de la situation de conduite, du trafic environnant, de la géométrie de la route ; tout ceci dans le respect de la vitesse limite légale (vitesse maximale autorisée).

La tâche 4 a eu pour objet de définir, prototyper et évaluer les interactions entre le système ABV et le conducteur du véhicule. Dans un premier temps, un état de l'art de la coopération homme-machine dans le contexte automobile a permis d'initier les réflexions sur le système ABV. Nous avons ensuite défini un graphe des modes de fonctionnement du système, ainsi que les mécanismes de transitions. Ces travaux nous ont permis de détailler les modalités de la coopération homme machine. L'interface issue de ces travaux a été implantée sur le simulateur SHERPA. Ensuite, nous avons développé l'architecture, l'IHM et le partage à proprement parler de la conduite, notamment en partageant la conduite à la fois à un bas niveau de coopération (niveau opérationnel de l'activité) et à haut niveau (niveau stratégique), tout en prenant en compte l'état du conducteur (Driver Monitoring). En collaboration avec la tâche 3, nous avons comparé plusieurs méthodes de contrôle sur le simulateur. Au travers de manœuvres de maintien dans la voie, ou d'évitement d'obstacles, nous avons pu évaluer positivement l'apport d'une telle stratégie de partage de la conduite.

C.4.2 LE DEVELOPPEMENT ET LA VALIDATION

La tâche 6 du projet a deux objectifs : le premier consiste à créer des données virtuelles et mettre en place des scénarios pour alimenter les différentes parties du projet (Planification, Contrôle et Perception). Ainsi, il est possible de faire fonctionner en simulation les différents algorithmes alors que le prototype est en cours de montage. Par exemple, la partie

Planification a testé différentes stratégies pour assurer une sécurité optimale pour le véhicule autonome et les autres usagers de la route. Il est possible de gérer différents cas de tests (véhicule seul sur la route, trafic léger, congestion) afin d'éprouver le système sans avoir de crainte d'accidents. Le deuxième objectif consiste à évaluer et tester les différentes briques du système. Certains critères ont été implantés pour mesurer les performances des différentes parties du système ou des briques identiques, comme la détection de marquage, mais utilisant des théories différentes. Ces tests ont permis de valider en partie le système avant de le mettre sur les véhicules démonstrateurs et de faire les tests réels.

Les tâches 5 et 7 ont eu pour objectifs de développer une architecture, de la faire évoluer et de l'intégrer sur les véhicules prototypes. Les résultats sont directement les deux véhicules produits à la fin du projet et sont des résultats techniques.

C.4.3 L'INTERACTION AVEC LA SOCIÉTÉ

La tâche 8 du projet consiste à étudier l'impact sociétal (en termes de sécurité et capacité du trafic) d'une automatisation basse vitesse en fonction du taux de pénétration du système. Automatisés ou non, le comportement latéral des véhicules est géré à l'aide du modèle MOBIL (fonction de la sécurité, la motivation et la politesse). En revanche, le comportement longitudinal diffère selon le type de conduite (modèle Two Velocity Difference Model (TVDM) pour un humain et modèle Intelligent Driver Model (IDM) pour un automate). Dans le cas de scénarios avec accidents, la sécurité est directement fonction de la sévérité des collisions (exprimée à l'aide de l'Equivalent Energy Speed (EES)). Dans le cas de scénario sans accident, l'analyse du risque repose sur le critère « Potential Index for Collision with Urgent Deceleration » (PICUD). Les résultats montrent qu'étant donnée une capacité de 1 100 veh/h, la sécurité dans le trafic augmente de 55% lorsque le pourcentage de véhicule équipé passe de 0% à 50%. Une augmentation de la capacité du trafic de 1 900 veh/h à 3 000 veh/h diminue la sécurité de 50% dans le cas d'un trafic sans véhicules automatisés et de 30% pour un trafic automatisé à 50%.

La tâche 9 cherche à identifier les risques inhérents au déploiement de tels systèmes et d'en apprécier l'acceptabilité juridique. Ces risques sont d'ordre technologique, humain et juridique. Les deux premiers correspondent à des défaillances technologiques, des erreurs humaines ou des difficultés dans l'interaction homme-machine. Le risque juridique provient, quant à lui, des incertitudes associées au corpus juridique (Code de la route, Loi Badinter du 5 juillet 1985, Convention de Vienne...) et de la façon dont le droit est appliqué devant les tribunaux compétents. La perspective adoptée est celle de la responsabilité civile des acteurs, c'est-à-dire l'obligation d'indemniser les préjudices que leur faute ou leur fait, est susceptible d'infliger à des tiers-victimes... S'y ajoutent les considérations relatives au droit des assurances et aux règles de la preuve. La multiplicité des variables et des paramètres limite l'ambition d'apporter ici une réponse définitive aux questions posées et impose une méthodologie originale d'étude de cas. Les recommandations découlant de l'étude portent principalement sur la prise en compte des relations entre l'homme et la machine (caractère intuitif des échanges, surpassement du système...), la compensation, lorsque c'est possible, des défaillances humaines (détection, formation...), la responsabilisation des acteurs de l'écosystème (réseaux de vente, prise en mains des véhicules, revente des véhicules, seconde

monte des systèmes, coopération véhicule infrastructure...), l'acquisition des informations nécessaires à l'évolution des systèmes (boîtes noires...).

C.5 EXPLOITATION DES RESULTATS

Pour chacun des partenaires, le projet a permis d'enrichir le savoir faire et les connaissances dans les différents domaines. La méthodologie retenue dans le cadre du projet a fait ses preuves et a permis à des équipes d'horizons différents de pouvoir avancer en parallèle sur le même objet. Les avancées effectuées vers l'automatisation et le partage de la conduite sont fortement reconnues. Les prototypes, véhicules et simulateurs, développés dans le cadre du projet ont permis aux partenaires de proposer des projets de recherche les utilisant.

C.6 CONCLUSIONS

L'automatisation de la conduite est souvent abordée dans le sens de l'automatisation complète de la conduite. Cette approche, portée par Google, semble peu pertinente pour un déploiement proche et des véhicules classiques. A l'inverse, l'approche que nous avons soutenue dans le cadre du projet ABV doit permettre un partage continu de la conduite, allant jusqu'à l'automatisation complète. En 2012, Tom M. Gasser² a proposé un premier formalisme des niveaux d'automatisation de la conduite :

- Conducteur seul : le conducteur contrôle entièrement la tâche de conduite,
- Assisté : le conducteur contrôle un des modes (longitudinal ou latéral) et doit superviser l'autre. Il doit être capable de reprendre pleinement la tâche de conduite à n'importe quel moment
- Partiellement automatisé : le système contrôle la conduite, mais le conducteur doit continuer à superviser la conduite et doit être capable de la reprendre à n'importe quel moment.
- Hautement automatisée : Le conducteur n'est plus sensé superviser le système, il doit néanmoins être capable de reprendre la conduite dans un temps donné.
- Complètement automatisé : le système peut se superviser par lui-même et est capable, si une demande de reprise de la conduite n'est pas réalisée, de s'arrêter par lui-même dans un état de risque minimum.

Cette définition, proposée initialement dans le cadre du projet SMART0064, est maintenant communément admise, les groupes de travail de la SAE ou de la Commission Européenne l'ont retenue. Les systèmes existant correspondent aux deux premiers niveaux. Les constructeurs et les équipementiers préfèrent cette approche progressive misant sur une collaboration entre l'homme et le système. Des aides à la conduite partiellement automatisés sont prévus pour 2014. Le projet ABV vise, quant à lui, le quatrième et cinquième niveau.

Ainsi dans le cadre du projet, nous avons développé trois prototypes:

- Le Simulateur LAMIH a permis de mettre en œuvre et évaluer le partage de la conduite en utilisant notamment le driver monitoring, ainsi que les Interface Homme Machine visuelles et haptiques.

² Tom M. Gasser, Daniel Westhoof, BASt-study: definition of automation and legal issues in Germany, TRB Road Vehicle automation workshop, 25 July 2012

- Le C1 INRIA a démontré la perception autour du véhicule, la détection des voies et des obstacles, la planification et le contrôle automatisé.
- La 307 IFSTTAR a mis en œuvre le partage de la conduite et l'interface homme machine, ainsi que la perception des voies et des obstacles, la planification et le contrôle.

En parallèle du développement des prototypes et des recommandations scientifiques et techniques associées, nous avons pu évaluer l'impact du système ABV en termes de mobilité.

Au-delà des recommandations applicables à terme immédiat, la réflexion doit porter sur l'évolution du droit : modification des règles du permis de conduire pour imposer aux conducteurs une formation théorique et pratique dédiée, suivie de rappels périodiques ; évolution du droit des assurances afin de garantir au conducteur et aux industriels une couverture compatible avec les responsabilités que leur imposent ces systèmes.

A court terme cependant, la clé du dispositif pourrait être de créer un Observatoire de l'Acceptabilité des Innovations Technologiques, organisme indépendant, doté de moyens adéquats qui aurait pour mission, en relation avec les pouvoirs publics, les chercheurs, les industriels et les divers organismes intéressés déjà existants, de capitaliser les connaissances, de les diffuser et d'intervenir comme médiateur.

D LISTE DES LIVRABLES

Quand le projet en comporte, reproduire ici le tableau des livrables fourni au début du projet. Mentionner l'ensemble des livrables, y compris les éventuels livrables abandonnés, et ceux non prévus dans la liste initiale.

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
Livré le 31-03-2011	L1100	Détection et caractérisation de la route structurée	Rapport, logiciel	<u>IFSTTAR</u> , INRIA, VIAMETRIS	
Livré le 28-02-2012	L1200	Détection et suivi d'obstacles	Rapport, logiciel	<u>IFSTTAR</u> , INRIA	
Livré le 28-02-2012	L1300	Localisation du véhicule et cartographie	Rapport, logiciel	INDUCT, <u>INRIA</u>	
Livré le 28-03-2013	L2100	Logiciel de calcul d'itinéraire de type "anytime"	Rapport, logiciel	<u>INDUCT</u>	Périmètre du livrable modifié
Livré le 31-05-2011	L2200	Base de règles	Rapport, données	<u>IEE</u> , INDUCT, INRIA	
Livré le 30-04-2010	L2300	Modèles simple de véhicule et code Matlab	Rapport, logiciel	<u>IEE</u> , IFSTTAR, INDUCT	Livrables fusionnés
Livré le 31-10-2010	L2400	Evaluation des modèles dans le cadre de la planification	Rapport, logiciel	<u>IEE</u> , IFSTTAR, INDUCT, INRIA	
Livré le 30-06-2012	L2500	Planification géométrique rapide de trajectoire	Rapport, logiciel	<u>IEE</u> , IFSTTAR, INDUCT, INRIA	
Livré le 31-01-2013	L2600	Approche géométrique des incertitudes	Rapport, logiciel	<u>IEE</u> , INRIA	
Livré le 31-01-	L2700	Planificateur à base de RRT ayant une gestion bayésienne des	Rapport, logiciel	<u>IEE</u>	Périmètre du livrable modifié

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
2013		incertitudes et utilisant la notion de gravité			
Livré le 30-04-2012	L3100	Suivi de trajectoire	Rapport, logiciel	<u>IBISC</u> , INRIA	
Livré le 30-04-2012	L3200	Observation des données	Données	<u>IFSTTAR</u> , <u>INDUCT</u> , LAMIH	
Livré le 30-04-2012	L3300 L3400	Contrôle de véhicule	Rapport, logiciel	<u>IBISC</u> , <u>INDUCT</u> , LAMIH	Livrables fusionnés
Livré le 30-06-2012	L3500	Optimisation de la vitesse : compromis sécurité / écologie		<u>IBISC</u>	Nouveau livrable
Livré le 30-01-2011	L4100	Etat de l'art	Rapport	Continental, <u>LAMIH</u> , VERI	
Livré le 31-05-2011	L4200	Concept CHM	Rapport	Continental, <u>IBISC</u> , <u>LAMIH</u>	
Livré le 31-05-2011	L4300	Plateforme prototypage CHM	Rapport, logiciel, prototype	Continental, <u>IFSTTAR</u> , <u>LAMIH</u>	Nouveau livrable, remplace « Intégration simulateur »
Abandonné	L4400	Expérimentation	Rapport	Continental, <u>LAMIH</u>	
Livré le 28-02-2013	L4500	Synthèse des enseignements des essais, document de présentation	Rapport	Continental, <u>LAMIH</u>	
Livré le 31-05-2011	L5100	Architecture	Rapport	<u>IBISC</u> , <u>INDUCT</u> , INRIA	
Livré le 31-05-2011	L5200	Spécifications	Rapport	<u>IBISC</u> , IEF, <u>INDUCT</u>	
Abandonné	L5300	Définition d'un itinéraire sécurisé	Rapport	IEF, <u>IFSTTAR</u> , <u>INDUCT</u> , VERI	Repris par <u>IFSTTAR</u> si possible
Livré le 31-03-2011	L6100	Définition des scénarios	Rapport	IEF, <u>IFSTTAR</u> , INRIA	
Livré le 28-02-2013	L6200	Validation de la brique perception en conditions simulées	Rapport, données	<u>IFSTTAR</u>	
Livré le 28-02-2013	L6300	Validation de la brique perception avec des conditions réelles	Rapport, données	<u>IFSTTAR</u> , INRIA, VERI, VIAMETRIS	
Livré le 28-02-2013	L6400	Validation de la chaîne complète de perception - commande	Rapport, données	IEF, <u>IFSTTAR</u>	
Abandonné	L6500	Prototype réel et Interaction humaine	Rapport, données	<u>IFSTTAR</u> , LAMIH, Continental	
Livré le 28-02-2013	L7100	Véhicule 1	Véhicule	Continental, <u>IBISC</u> , <u>IFSTTAR</u> , <u>INDUCT</u> , <u>INRIA</u> , LAMIH	307 LIVIC
Livré le 28-02-2013	L7200	Véhicule 2	Véhicule	Continental, <u>IBISC</u> , <u>IFSTTAR</u> , <u>INDUCT</u> , <u>INRIA</u> , LAMIH	C1 INRIA
Livré le 30-04-2011	L8100	Modèles orientés consommation	Rapport	<u>IBISC</u> , <u>IFSTTAR</u> , <u>MIPS</u>	
Livré le	L8200	Identification des	Rapport	<u>IBISC</u> , <u>IFSTTAR</u> ,	

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
30-06-2012		indicateurs macroscopiques		MIPS, VERI	
Livré le 28-02-2013	L8300	Résultats	Rapport, données	IBISC, IFSTTAR, MIPS, VERI	
Livré le 31-10-2011	L9100	Les outils du droit face à la problématique ABV	Rapport	GM CONSEIL	
Livré le 31-12-2012	L9200	Les enjeux technologiques exprimés en termes juridiques	Rapport	GM CONSEIL	
Livré le 28-02-2013	L9300	Synthèse, recommandation et "guide de bonne conduite"	Rapport	GM CONSEIL	

E IMPACT DU PROJET

E.1 INDICATEURS D'IMPACT

Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)

		Publications multipartenaires	Publications monopartenaires
International	Revue à comité de lecture	1	5
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage		
	Communications (conférence)	8	24
France	Revue à comité de lecture		
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage		
	Communications (conférence)		
Actions de diffusion	Articles vulgarisation		
	Conférences vulgarisation		
	Autres		

Autres valorisations scientifiques (à détailler en Erreur ! Source du renvoi introuvable.)

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	
Brevet internationaux en cours d'obtention	
Brevets nationaux obtenus	
Brevet nationaux en cours d'obtention	
Licences d'exploitation	

(obtention / cession)	
Créations d'entreprises ou essaimage	
Nouveaux projets collaboratifs	Le véhicule 307 pourra être utilisé dans le cadre de la proposition CoCoVeA faite par le LAMIH dans le cadre des appels à projet de l'ANR, en 2013
Colloques scientifiques	Présentation finale de ABV
Autres (préciser)	Le véhicule C1 pourra être mis à disposition de VeDeCom

E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

E.2.1 REVUES INTERNATIONALES

1. E. POLLARD, F. NASHASHIBI, P. RESENDE. "ABV, a Low Speed Automation project to study the technical feasibility of fully automated driving". In the ERCIM News Magazine (European Research Consortium for Informatics and Mathematics), special theme on "Intelligent Cars", July 2013. Papier soumis.
2. C. SENTOUH, B. SOUALMI, J.C. POPIEU, S. DEBERNARD "Designing Human-Centered Steering Assist Controller for Cooperative Driving". IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems , under review.
3. B. SOUALMI, C. SENTOUH, J.C. POPIEU, S. DEBERNARD "Cooperative Driving Considering The Driver In The Loop And Vehicle Speed Variations In Hazardous Environment". IFAC Control Engineering Practice, under review.
4. O. DERBEL, B. MOURLLION ET M. BASSET, Safety and capacity analysis in mixed road traffic, Transportation research Part C. Article soumis.
5. O. DERBEL, T. PETER, H. ZEBIRI, B. MOURLLION ET M. BASSET, Modified Intelligent Driver Model. Periodica Polytechnica Transportation Engineering. Article accepté.
6. B. VANHOLME D. GRUYER B. LUSETTI, S. GLASER, S. MAMMAR, Highly Automated Driving on Highways based on Legal Safety, IEEE Transaction on ITS, March 2013, pp 333-347, DOI 10.1109/TITS.2012.2225104

E.2.2 THESES

1. H.-T. Luu, Développement de méthodes de réduction de la consommation en carburant d'un véhicule dans un contexte de sécurité et de confort : un compromis entre économie et écologie, Thèse de Doctorat pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université d'Evry-Val-d'Essonne, Juin 2011.

E.2.3 CONFERENCES INTERNATIONALES

1. P. RESENDE, E. POLLARD, H. LI, F. NASHASHIBI. "Low Speed Automation: technical feasibility of the driving sharing in urban area". In the International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC'2013), The Hague, 6-9 October 2013. Papier soumis.
2. L. NOUVELIERE, L. NEHAOUA, P.-L. RESENDE, B. LUSETTI, S. MAMMAR, Low Speed Vehicle Control on a Safe Itinerary with a Human-Machine Shared Driving, International Symposium on Future Active Safety technologies – Towards zero accident FAST'13, Nagoya, Japan, Sept. 2013
3. S. MAMMAR, N. AITOUFROUKH, L. NOUVELIERE, D. GRUYER, Integrated Automated Vehicle String Longitudinal Control, Intelligent Vehicle Symposium IV'13, Brisbane, Australia, June 2013
4. V. JUDAJET, S. GLASER, B. LUSETTI Incentive shared trajectory control for highly-automated driving, Intelligent Vehicle Symposium IV'13, Brisbane, Australia, June 2013
5. L. NOUVELIÈRE, P.-L. BOGNE-NIYTCHUNGA, S. GLASER, S. MAMMAR, "Safe Full Speed Range ACC Applied to a Platoon of Vehicles", IAVSD 2013, Qingdao, China, Aug. 2013.
6. M. COUR, S. GLASER, A. LAMBERT, B. MOURLLION, F. NASHASHIBI, L. NOUVELIERE, J.C. POPIEUL - LAMIH, ABV project, an Example of the Integration of perception, Vision 2012, Versailles
7. S. BOVERIE, M. COUR, Adapted Human System Interaction concept for Driver Assistance Systems, Vision 2012 Versailles
8. S. GLASER, M. COUR, L. NOUVELIERE, A. LAMBERT, F. NASHASHIBI, J.C. POPIEUL, B. MOURLLION, "Low Speed Automation, a French Initiative", Transport research Arena TRA12, Athens, Greece, Apr. 2012
9. A. BELBACHIR, J.C. SMAL, J.M. BLOSSEVILLE, D. GRUYER, Simulation-Driven Validation of Advanced Driving-Assistance Systems, Transport research Arena TRA12, Athens, Greece, Apr. 2012.
10. L. NEHAOUA, L. NOUVELIÈRE, "Backstepping Based Approach for the Combined Longitudinal-Lateral Vehicle Control", IEEE Intelligent Vehicle Symposium IV'12, Alcalà de Henares, Spain, June 2012.
11. L. NOUVELIÈRE, D. STANCZYK, B. DERVIEUX, A. RABEHI, C. MVOME, B. PELAUD, "Headway spacing model for a heavy vehicle based on experimental data", International Symposium on Heavy vehicle Transport Technology HVTT12, Stockholm, Sweden, Sept. 2012.

12. L. NOUVELIERE, H.T. LUU, S. MAMMAR, « Aide à la conduite sûre et écologique : analyse expérimentale », IEEE Conférence Internationale Francophone d'Automatique CIFA12, Grenoble, France, Jul. 2012.
13. L. NOUVELIÈRE, H.T. LUU, S. MAMMAR, «Energy Saving and Safe Driving Assistance System for Light Vehicles : Experimentation and Analysis”, IEEE International Conference on Networks and Control Systems ICNSC12, Beijing, China, Apr. 2012.
14. O. DERBEL, B. MOURLLION ET M. BASSET, Etude de la sécurité d'un trafic mixte. Conférence Internationale Francophone d'Automatique, Juillet 2012. France.
15. O. DERBEL, B. MOURLLION ET M. BASSET, Safety assessment of mixed traffic based on accident scenario. 13-th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems. Septembre 2012. Bulgarie.
16. A. BELBACHIR, J.C. SMAL, J.M. BLOSSEVILLE A robotic platform to evaluate autonomous driving systems, Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2012 15th International IEEE Conference on
17. O. DERBEL, B. MOURLLION ET M. BASSET, Extended safety descriptor measures for relative safety assessment in mixed road traffic. 15-th IEEE Intelligent Transportation Systems Conference. Septembre 2012. USA.
18. SOUALMI B., SENTOUH C., POPIEUL J-C., DEBERNARD S. (2012). Fuzzy Takagi-Sugeno LQ Controller for Lateral Control Assistance of a Vehicle. 2012 Intelligent Vehicles Symposium, Alcalá De Henares, Spain, juin.
19. SOUALMI B., SENTOUH C., POPIEUL J-C., DEBERNARD S. (2011). Fuzzy Takagi-Sugeno LQ controller for a shared control of vehicle. 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Washington DC, USA, octobre.
20. H. LI, F. NASHASHIBI. “A New Method for Occupancy Grid Maps Merging: Application to Multi-vehicle Cooperative Local Mapping and Moving Object Detection in Outdoor Environment”, in "ICARCV - 12th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision - 2012", Guangzhou, China, December 2012, <http://hal.inria.fr/hal-00763838>.
- 21.H. LI; F. NASHASHIBI. “Robust real-time lane detection based on lane mark segment features and general a priori knowledge” IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2011 , vol., no., pp.812-817, 7-11 Dec. 2011
22. P. PETROV, F. NASHASHIBI, “Planning and Nonlinear Adaptive Control for an Automated Overtaking Maneuver”, In the IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), October 5-7, 2011, Washington DC, USA.

23. A. BELBACHIR, J.C. SMAL, J.M. BLOSSEVILLE, Ev-ADA: A Simulation-driven Evaluation Architecture for Advanced Driving-Assistance Systems, The Sixth International Conference on Software Engineering Advances, 2011
24. SENTOUH C., SOUALMI B., POPIEUL J-C., DEBERNARD S. (2011). The H2-Optimal Preview Controller for a Shared Lateral Control. 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Washington DC, USA, octobre.
25. SENTOUH C., DEBERNARD S., POPIEUL J-C., VANDERHAEGEN F. (2010). Toward a Shared Lateral Control Between Driver and Steering Assist Controller. 11th IFAC International Conference on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems, Valenciennes, France, septembre.
26. H.T. LUU, L. NOUVELIÈRE, S. MAMMAR, Toward a safer ecological driver assistance system, ITS World Congress, Busan, Corea, Oct. 2010.
27. H.T. LUU, L. NOUVELIÈRE, V. HOARAU, S. MAMMAR, Vehicle Speed Control For A Safety-Economical-Ecological Compromise: Development Of A Driver Assistance System, AVEC10, Loughborough, UK, Aug. 2010.
28. H.T. LUU, L. NOUVELIÈRE, S. MAMMAR, Said, Ecological and Safe Driving Assistance System : Design and Strategy, Intelligent Vehicle Symposium IV'10, Seattle, USA, Jul. 2010.
29. H.T. LUU, L. NOUVELIÈRE, S. MAMMAR, Said, Dynamic Programming for fuel consumption optimization on light vehicle, IFAC-CCA 2010, Munich, Germany, June 2010.
30. H. LI, F. NASHASHIBI AND G. TOULMINET, "Localization for Intelligent Vehicle by Fusing Mono-Camera, Low-Cost GPS and Map Data". In the 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 19–22 September 2010, Madeira Island, Portugal.
31. L. NOUVELIÈRE, H.T. LUU, F.R. DUVAL, B. JACOB, S. MAMMAR. Eco-driving assistance system for low fuel consumption of a heavy vehicle : advisor system, HVTT11 International Heavy Vehicle Symposium 2010, Melbourne, Australia, 2010.
32. P. RESENDE, and F. NASHASHIBI, Real-time dynamic trajectory planning for highly automated driving in highways. In 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (Portugal Funchal, Madeira, Sept. 2010), Institute of Systems and Robotics - University of Coimbra, Portugal.

E.3 BILAN ET SUIVI DES PERSONNELS RECRUTES EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Ce tableau dresse le bilan du projet en termes de recrutement de personnels non permanents sur CDD ou assimilé. Renseigner une ligne par personne embauchée sur le projet quand l'embauche a été financée partiellement ou en totalité par l'aide de l'ANR et quand la contribution au projet a été d'une durée au moins égale à 3 mois, tous contrats confondus, l'aide de l'ANR pouvant ne représenter qu'une partie de la rémunération de la personne sur la durée de sa participation au projet.

Les stagiaires bénéficiant d'une convention de stage avec un établissement d'enseignement ne doivent pas être mentionnés.

Les données recueillies pourront faire l'objet d'une demande de mise à jour par l'ANR jusqu'à 5 ans après la fin du projet.

Identification				Avant le recrutement sur le projet			Recrutement sur le projet				Après le projet				
Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Date des dernières nouvelles	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. Antérieure, y compris post-docs (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Durée missions (mois) (3)	Date de fin de mission sur le projet	Devenir professionnel (4)	Type d'employeur (5)	Type d'emploi (6)	Lien au projet ANR (7)	Valorisation expérience (8)
NEHAOU A Lamri	H	lamri.nehaoua@ufrst.univ-evry.fr	Avril 2013	Doctorat Automatique de l'UEVE	France	2008-2010 : 2 ans ½ ATER à l'UEVE 2009 : 6 mois post-doc au LAMIH sur projet ANR VOLHAND 2010-2012 : 2 ans post-doc à l'IFSTTAR sur projet ABV	IBISC	Post-doc	24 mois	31 août 2012	fonctionnaire	Enseignement et Recherche publique	Enseignant-Chercheur de l'UEVE	Recruté à IBISC – Université D'Evry, partenaire de ABV	
ANDRE Cyrille	H	cyrille.andre@u-psud.fr	04/2013	ingénieur	France	CDD, 4ans	IEF	ingénieur	4	04/2010	etudiant	enseignement et recherche publique	doctorant	partenaire	oui
AMRAOUI Mounir	H	m.alamraoui@gmail.com	01/2013	M1	Hors UE	0	IEF	vacataire	3	06/2010	CDI	Grande entreprise	ingénieur	non	oui
MANICOM	H	akailmanicom@gmail.com	02/2011	ingénieur	Hors UE	0	IEF	ingénieur	3	01/2011	CDI	PME	ingénieur	non	non

		com													
CHAN Wai Kit	H	chanwaik@gmail.com	02/2011	M1	France	1	IEF	Niveau ingénieur	3	01/2011	CDI	Grande entreprise	ingénieur	non	oui
DER APRAHAMIAN Vincent	H	vdaprahamian@gmail.com	10/2012	DESS	France	6	IEF	ingénieur	6	05/2011	Recherche emploi				
MAYENO BE Pierre	H	Pierre.mayenobe@ifsttar.fr	03/2013	doctorat	France	4	IEF	post-doc	9	05/2012	Recherche emploi				
MADANI Oualid	H						UVHC-LAMIH	Ingénieur	6 mois						
SOUALMI Boussaad	H		Avril 2013	Master	France		UVHC-LAMIH	Doctorant	24 mois	31 août 2012	Encore sur le projet	Enseignement et Recherche publique	ATER	Recruté au LAMIH partenaire de ABV	Oui
RESENDE Paulo	H	presende@itlink.fr paulo.resende.ext@valeo.com	Avril 2013	Ingénieur	UE	1	Inria	Ingénieur, responsable technique	36 mois	Fin du projet (Mars 2013)	CDI	PME	ingénieur	non	Oui
LI Hao	H	Hao.li@inria.fr	Mai 2013	Master	Hors UE	0	Inria	Ingénieur	36 mois	Fin du projet (Mars 2013)	CDD	Ingénieur expert à Inria (recherche publique)	Ingénieur-chercheur	Recruté par le partenaire Inria	oui
LEFAUDEUX Benjamin	H	Benjamin.lefaudeux@inria.fr	Mai 2013	Ingénieur X / Master	France	2	Inria	ingénieur	30 mois	Fin du projet (Mars 2013)	Post-doctorant	Pas encore connu	Pas encore connu	Non	oui
DEBEL Oussama	H	oussama.derbel@uha.fr	05/2013	Ingénieur	Hors UE	0	MIPS	Doctorant	21	09/2012	Etudiant	Enseignement et Recherche publique	Doctorant	Recruté au MIPS partenaire de ABV	Oui
ZEBIRI Hossni	H	hossni.zebiri@uha.fr	05/2013	Master2	France	0	MIPS	Doctorant	12	02/2013	Etudiant	Enseignement et Recherche publique	Doctorant	Recruté au MIPS partenaire de ABV	Oui
BELBACHIR Assia	F	Assia.Belbachir@ifsttar.fr	Septembre 2012	Doctorat	France	1	Ifsttar	Post-Doc	18 mois	1 mars 2011	CDI	Enseignement et Recherche publique	Enseignant-Chercheur de l'Esigelec	non	oui

VANHOLME Benoit	H	Benoit.vanholme@ifsttar.fr		Ingénieur	Belgique	3	ifsttar	ingénieur	12 mois	Mai 2012	CDI	Grand groupe	Ingénieur Chercheur	non	oui
JUDALET Vincent	H	Vincent.judalet@ifsttar.fr		Ingénieur	France	7	ifsttar	ingénieur	4 mois	Novembre 2012	Etudiant	IFSTTAR	Doctorant	oui	oui
POLLARD Evangeline	F	Evangeline.pollard@inrets.fr	Avril 2011	Docteur	France	Doctorat	IFSTTAR	Chercheur	3 mois	Fevrier 2011	CDD	INRIA	Chercheur	oui	oui
CHAPPE Olivier	H	Olivier.chappe@inrets.fr	Fin de contrat	Ingénieur	France	2	IFSTTAR	ingénieur	11 mois	Decembre 2010					

F ANNEXES 1 - TACHE 1, PERCEPTION

F.1 ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART

Pour la réalisation d'un véhicule automatisé basse vitesse, une des briques technologique nécessaire est la perception de l'environnement. Les résultats de cette perception vont alimenter la tâche de planification de la trajectoire du véhicule.

Une des tâches de la perception est la détection de la voie (ou des voies) de circulation pour positionner le véhicule relativement à la chaussée (voie sur laquelle on se situe, décalage latéral du véhicule sur sa voie et angle de lacet), mais aussi pour alimenter la trajectoire future en percevant suffisamment loin la géométrie de la route. D'autres marquages routier peuvent aussi être pertinents à détecter tels que les passages piétons ou les flèches. L'état de l'art foisonne de systèmes de détection de la voie de circulation avec certains de ces systèmes déjà industrialisés. La détection multi-voies est déjà moins fréquente et peu de systèmes se sont intéressés à la détection des autres marquages routiers. Ainsi, pour l'un des partenaires le but a été de fiabiliser son approche multi-voies, voire d'en proposer une autre et pour un autre partenaire, le but a aussi été de fiabiliser son approche mono-voie et de l'étendre aux multi-voies. Un troisième partenaire s'est aussi intéressé à la détection des voies de circulation mais a surtout focalisé son attention sur la détection des autres marquages. Des résultats intéressants ont été obtenus mais un retard important sur le financement a, malheureusement, contraint ce partenaire à arrêter ses développements.

La détection des objets et des obstacles est aussi une tâche importante de la perception. Elle est nécessaire pour éviter les collisions ou effectué un suivi du véhicule précédent. Là aussi de nombreux systèmes existent dans la littérature. Le but a été de fiabiliser l'existant en fusionnant une approche de stéréovision avec une approche par télémétrie LASER à balayage tout en optimisant le code pour un fonctionnement temps réel. Pour un second partenaire le but a été de réaliser une approche SLAM LASER avec aussi l'objectif d'un fonctionnement fiable et temps réel.

Finalement pour être capable de suivre la route désirée, il faut pouvoir se positionner à tout instant sur l'itinéraire planifié. C'est un problème de « Map Matching ». Les systèmes de navigation existent depuis de nombreuses années. Le but, dans le projet, a été d'améliorer le positionnement et aussi de fournir une nouvelle cartographie (CAORTO) ne présentant pas les inconvénients des cartes standards à savoir un prix important, l'absence de certaines information et un problème de souplesse d'utilisations.

F.2 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Pour l'INRIA la détection des marquages routiers est réalisée sur une image transformée en vue de dessus. Un filtrage de Canny permet de détecter des points de contour. Un regroupement de ces points permet d'obtenir des segments. Les segments pouvant former une spline cohérente avec un marquage routier sont regroupés longitudinalement.

Pour l'Ifsttar l'approche développée consiste d'abord à mettre en évidence des points correspondant aux marquages routiers via l'utilisation et la comparaison de deux extracteurs de marquage. Ces détections sont ensuite représentées en vue de dessus. A partir d'une étude statistique de la répartition de ces points projetés, des marquages sont détectés et les points extraits sont classifiés selon ces marquages. Une méthode d'association utilisant le modèle des croyances transférables permet de suivre ces marquages dans le temps. Une méthode d'estimation fondée sur un filtrage de Kalman est ensuite utilisée pour estimer le polynôme décrivant la forme de chaque marquage. Seul ceux Finalement, seules les lignes de

marquages estimées les plus fiables et les non contradictoires avec un gabarit de route sont conservées.

Pour détecter les flèches au sol, un filtrage médian de taille adaptée permet de supprimer ces éléments de l'image. Une différence avec l'image d'origine suivie d'une binarisation permet alors de les faire ressortir de l'image. Un filtrage selon la taille permet d'éliminer de nombreuses fausses détections. Après une transformation en vue de dessus, l'identification des flèches et le rejet des autres détections erronées est réalisée grâce à un score de corrélation avec les images d'une base de données de flèches de référence.

Pour mettre en évidence les passages piéton et les « zébra » le principe est le même que pour les flèches (filtrage médian, différence avec l'image initiale et binarisation). Ensuite le rejet des fausses détections et leur reconnaissance va s'appuyer sur l'aspect fréquentiel de ces marquages. Pour ce faire, une transformation en vue de dessus est réalisée suivi d'une transformée de Fourier de ces images. Des masques fréquentiels permettent de filtrer les éléments ne respectant pas les fréquences attendues.

Pour la détection d'obstacle, l'Ifsttar a développé une approche combinant de la stéréovision (approche UV-disparité enrichie d'un indice de confiance sur l'estimation de la disparité) et de la télémétrie LASER. Cela permet de fiabiliser les détections réalisées (erreurs non corrélées entre la stéréovision et les détections LASER) et d'améliorer la précision. Les détections sont ensuite suivies grâce à l'utilisation d'un algorithme d'association suivi d'un filtre bayésien appliqué à chaque piste afin de mettre à jour leur état. Finalement un module de décision permet d'appliquer une stratégie identifiant le ou les obstacles les plus dangereux générant un risque élevé.

Pour réaliser la détection et le suivi des objets, l'INRIA a développé une approche de « SLAM » LASER. Le LASER retournant des données brutes (données de profondeur des impacts laser), un premier algorithme filtre les données aberrantes et un second regroupe les points laser en objet grâce à une technique fondée sur le principe des plus proches voisins (NN). Les caractéristiques de position et de taille de chaque objet sont calculées. Cela permet une classification grossière. Avec l'arrivée des acquisitions laser successives accompagnées des données de localisation du véhicule, l'algorithme est capable de construire incrémentalement et de maintenir une représentation sous la forme de grille d'occupation. Par la suite, un filtre appliqué à la grille ainsi qu'une méthode d'appariement des objets mobiles améliore le résultat de détection et permet le suivi des objets mobiles.

Pour la localisation de l'ego-véhicule, l'INRIA a combiné le positionnement relatif du véhicule par rapport à la chaussée avec les informations odométriques et le positionnement global par GPS. Cette fusion a été obtenue grâce à un filtre de Kalman étendu.

F.3 RESULTATS OBTENUS

Les méthodes développées pour la détection des marquages routiers sont décrites dans le livrable L1100 du projet. Par rapport à l'existant chez les partenaires du projet, des progrès ont été obtenus sur la fiabilité des résultats, sur le fonctionnement « temps réel » et pour certains, sur l'extension à du multi-voies. Ces systèmes ont été intégrés sur des véhicules, testés en simulation, sur des bases de données images et sur piste. Ils sont exploités dans le cadre des véhicules ABV du projet.

Les méthodes développées pour la détection des objets / obstacles sont décrites dans le livrable L1200 du projet. Là aussi, par rapport à l'existant chez les partenaires, des progrès ont été obtenus en vitesse de traitement, en modularité, en fiabilité en termes de détection et

de suivi et en termes de précision. Ces systèmes ont été intégrés sur des véhicules, testés en simulation, sur des bases de données images et sur piste selon des *scenarii* de test spécifiés. Ils sont exploités dans le cadre des véhicules ABV du projet.

La méthode développée pour la localisation est décrite dans le livrable L1300 du projet. Dans le cadre du projet un système de cartographie (CAORTO) a été enrichi et la précision de la localisation améliorée.

F.4 EXPLOITATION DES RESULTATS

Le projet a permis d'accroître et d'enrichir le savoir-faire en perception des partenaires du projet. Compte tenu des améliorations obtenues ces développements sont déjà exploités dans le cadre d'autres projets en cours et le seront dans les projets à venir sur l'automatisation partielle ou totale des véhicules.

Par ailleurs, les bases de données d'images simulées ou réelles réalisées dans le cadre du projet sont aussi très précieuses pour tester de futurs nouveaux développements ou l'amélioration des techniques existantes.

Il en est de même pour les véhicules instrumentés qui sont des acquis pour des projets en cours de montage et diverses démonstrations en vue de valoriser les résultats du projet.

F.5 DISCUSSION

Il n'était pas prévu de grandes innovations en perception dans le cadre de ce projet mais plus l'utilisation, l'amélioration et l'enrichissement de l'existant. Cet objectif a été atteint en majorité. Malheureusement, des problèmes de délais importants de paiement n'a pas permis à VIAMETRIS de poursuivre ses développements, pourtant forts prometteurs, sur la détection des autres marquages routier.

La suite est la réalisation d'une interaction plus forte entre la détection des marquages, des objets et de la localisation. A titre d'exemple, lorsqu'un véhicule devant est trop près, il devient difficile de suivre les marquages routiers. Dans ce cas, c'est le suivi du véhicule précédent qui permettra de suivre la route avec toutefois un garde-fou, les marquages à proximités à prendre en compte.

Une autre recherche ouverte par ce projet est la constitution d'une bulle de perception tout autour du véhicule par la fusion multi-capteurs de capteurs situés à l'avant et à l'arrière du véhicule (au minimum). Cela permettrait d'enrichir la perception, d'être moins sensible aux occultations par les autres objets routiers et d'accroître encore plus la fiabilité de la perception.

F.6 CONCLUSIONS

Les progrès réalisés en perception nous a permis de consolider des bases sur lesquelles nous allons bâtir nos futurs développements.

G ANNEXES 2 - TACHE 2, PLANIFICATION

G.1 ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART

Le projet ABV a pour finalité l'automatisation de la conduite à basse vitesse. L'automatisation s'appuie sur une architecture à 4 étages impliquant : la perception de l'environnement, la planification des trajectoires, le contrôle du véhicule et l'interaction avec le conducteur.

À partir des informations fournies par la couche perceptive, le module de planification prend en charge le calcul rapide des trajectoires afin d'atteindre une zone déterminée de l'espace roulant. Le calcul de trajectoire est conditionné par 4 éléments :

- Calcul d'itinéraire : il s'agit de déterminer un itinéraire qui sera suivi par le planificateur de trajectoires.
- Modèles de véhicules : La planification fait usage d'un modèle de véhicule pour identifier les trajectoires réalisables. Ces modèles doivent notamment prendre en compte le caractère non holonome des véhicules.
- La modélisation des règles de conduite : La modélisation et l'intégration des règles de conduite sont sous la responsabilité de la couche de planification. Les règles de conduite interviennent à deux niveaux au moins du processus de planification. Premièrement, les trajectoires de l'ego-véhicule seront contraintes pour respecter les normes et usages du Code de la route (par ex. ne pas franchir une ligne continue). Deuxièmement, sous l'hypothèse que les usagers respectent les normes, la dynamique de l'environnement routier sera fortement contrainte, ce qui facilitera la recherche dans l'espace des trajectoires.
- Le calcul des trajectoires : les trajectoires calculées dépendent directement des algorithmes utilisés. Il existe deux approches : la génération d'une courbe unique (pour chacune des voies possibles) obtenue par résolution d'un système d'équations, et la génération d'un graphe ou d'un arbre explorant l'espace des états possibles. Le calcul des trajectoires peut utiliser des informations imprécises, représentées sous la forme d'une distribution de probabilité ou d'un ensemble discret.

Par ailleurs, l'automatisation doit être sécurisée, aussi le calcul des trajectoires doit être :

- Dynamique, de sorte à s'adapter à un environnement évoluant constamment (apparition de nouveaux obstacles, changement de comportement d'un véhicule, modification des conditions climatiques, etc.) ;
- Temps-réel, afin de garantir l'adéquation à l'état courant du trafic routier.

G.2 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Les deux principaux algorithmes résolvant le problème de calcul d'itinéraire (plus court chemin entre deux nœuds d'un graphe) sont l'algorithme de Dijkstra et l'algorithme A*. Dijkstra peut être couplé à de nombreuses méthodes afin de réduire considérablement son temps de calcul sur de grandes cartes routières comme l'utilisation de pre-processing, graph partitionning, pruning, double search (backward/forward), etc. Mais ces méthodes ne sont pas considérées comme Anytime et sont coûteuses en espace alloué aux données. A* quant à lui connaît plusieurs variantes lui attribuant des propriétés supplémentaires : gestion d'un environnement dynamique sans recommencer les calculs à zéro (D*), anytime à l'aide d'une recherche heuristique incrémentale (FSA*, GAA*, LPA*), dynamique et Anytime (AD*). Ces variantes sont peu coûteuses en espace mémoire, et proposent donc un bon compromis comparativement à la version originale d'A*.

Il existe de nombreux modèles de véhicules. Nous en avons retenu trois pouvant être intégré au sein d'un planificateur. Un planificateur utilisant ces modèles générera des trajectoires réellement exécutables par le contrôleur d'exécution, car basées sur des modèles réalistes. Les trois modèles retenus sont les modèles tricycle, bicyclette simplifié et bicyclette complexe. Ces modèles de véhicules utilisent les entrées braquage et couple/vitesse qui dépendent du temps. Les différents modèles sont définis par un système d'équations différentielles du premier ordre. Le modèle Bicyclette est le plus complexe des trois modèles étudiés. Il utilise une modélisation des pneumatiques de Dugoff, prenant en compte les actions des forces longitudinales et transversales. Le modèle Bicyclette simplifié possède cinq variables d'état

(au lieu des huit du modèle bicyclette). Le modèle Tricycle simule de manière élémentaire le déplacement d'une voiture et possède seulement trois variables d'état.

L'intégration des règles et usages de la route n'avait pas fait l'objet de publications antérieures au projet ABV. Ce projet a introduit le concept de sécurité légale basé sur les règles du Code de la route. Les règles de conduite sont influencées par les caractéristiques de l'environnement immédiat, c'est-à-dire par l'état du réseau (espacement inter véhiculaire, présence de véhicules lents dans un flot de véhicules rapides, etc.), par les caractéristiques des différents tronçons (largeur, nombre de voies, etc.), par les règles et usages en vigueur (limitation de vitesse, dépassement par la gauche) et par le comportement des autres usagers, notamment le respect ou le non-respect des règles.

La planification géométrique rapide de trajectoire a pour but de générer, pour une carte locale, une trajectoire permettant d'avancer sur un itinéraire. Ce type de planificateur ne prend pas en compte les incertitudes inhérentes au problème ni une forme précise d'obstacle fournie par la perception : il repose sur l'occupation d'un tronçon de voie par un véhicule. La rapidité étant prépondérante dans un contexte routier, il nous a paru souhaitable de fournir ce type de solution sans tenir compte des incertitudes. Quatre planificateurs ont été développés. Deux reposent sur la résolution d'un polynôme et deux sur l'utilisation explicite des modèles précédemment étudiés.

La gestion des imprécisions et des collisions probables peut-être définie de manière probabiliste ou géométrique. Dans les deux cas, l'incertitude est obtenue à partir d'un ou plusieurs filtres de Kalman étendu opérant sur des données simulées. La probabilité de collision peut-être le résultat d'un processus d'intégration entre les probabilités de présence de l'ego véhicule et des obstacles. L'approche géométrique consiste à représenter de manière discrète une probabilité de présence en la matérialisant par un ellipsoïde puis en effectuant un test de collision géométrique.

G.3 RESULTATS OBTENUS ET EXPLOITATION

L'algorithme « Anytime Dynamic A* : An Anytime, Replanning Algorithm » de Maxim Likhachev (2005) a été implanté et résout le problème de plus court chemin de manière rapide et efficace. L'algorithme étant Backward, il commence son étude en partant du noeud d'arrivée vers le noeud de départ. Ceci permet de modifier le noeud de départ en minimisant les nouveaux calculs nécessaires à l'obtention d'un itinéraire.

Les modèles tricycle, bicyclette simplifiée et bicyclette complexe ont été comparés en terme de temps de calcul et de précision. Les modèles bicyclette simplifiée et tricycle demandent sensiblement le même temps de calcul (15 % de temps de calcul supplémentaires sont nécessaires pour le modèle bicyclette simplifiée). Le modèle bicyclette complexe est 4 fois plus lent que le modèle simplifiée. Le modèle tricycle montre des erreurs conséquentes et n'est intéressant que dans une partie très restreinte de l'espace de l'état. Cependant, c'est le seul modèle utilisable pour des déplacements à des vitesses inférieures à 1 m/s (les modèles plus complexes présentent des dysfonctionnements à faible vitesse compte tenu du pas de discrétisation retenu). D'autre part, le modèle bicyclette simplifiée est presque aussi réaliste que le modèle complexe avec une erreur relative de 7 %. Ainsi, nous conseillons d'utiliser le modèle tricycle à très faible vitesse puis le modèle bicyclette simplifiée jusqu'à 50 km/h. Ce choix permet de garantir de bons résultats et un faible temps de calcul.

Nous avons proposé l'utilisation des règles du Code de la route décrites par la convention de Vienne qui décrit la gestion des priorités, les distances et les dépassements des véhicules dans l'environnement, les limitations de vitesse, les marquages continus ou discontinus, l'adhérence et la visibilité. La convention de Vienne est un traité international sous l'autorité des Nations Unies qui définit un socle commun de règles concernant la circulation. Ce traité

n'a pas été signé par tous les pays et, en pratique, certaines variations locales sont observées. Cependant, une partie de ces variations ne s'appliquent pas au problème de l'automatisation des véhicules (par ex. conduite sous l'emprise de psychotropes). L'intégration des règles du code de la route a été détaillée pour la planification de trajectoires en milieu autoroutier.

Les différents planificateurs ont été testés avec succès, à partir des bases de données de scénarios. Certaines hypothèses simplificatrices ont été utilisées. Par exemple, les obstacles sont considérés comme évoluant à vitesse constante dans leur voie associée. Bien entendu, les obstacles n'évoluent pas nécessairement dans leur voie, et encore moins à vitesse constante. Cependant, la fréquence de traitement de la chaîne complète allant de l'acquisition à l'exécution (~100ms) permet de réajuster en temps réel l'évolution future du véhicule en fonction des changements perçus dans l'environnement. Les modules de planification dynamique de trajectoires peuvent recevoir une manœuvre de changement de voie sur demande du conducteur via l'interface du système de coopération Homme-Machine. Cette demande peut-être effectuée par le conducteur à tout moment, dès lors qu'elle est proposée et que la vitesse est inférieure à 50 km/h. Il s'agit pour le planificateur de calculer à chaque fois au maximum quatre trajectoires : trajectoire de suivi de voie, trajectoire vers la voie de gauche, trajectoire vers la voie de droite, trajectoire vers la BAU (conclue par un arrêt du véhicule à l'issue d'un freinage doux modéré). Ces trajectoires sont proposées par le planificateur lorsqu'elles sont jugées comme étant réalisables d'un point de vue sécuritaire (absence de collisions) et en accord avec la signalisation au sol et le type de voie ciblée. Les différentes trajectoires générées sont ensuite classifiées grâce aux labels suivants : trajectoire suivie, trajectoire conseillée et trajectoire d'arrêt d'urgence.

La gestion géométrique des incertitudes a été explicitée, mais n'a pas été mise en œuvre, l'imprécision des données n'ayant pu être retournée par les algorithmes de perception. L'hypothèse d'un véhicule évoluant dans le plan a été effectuée. A chaque instant, on suppose connu les matrices de variance-covariance représentant l'incertitude sur les positions des obstacles et de l'ego-véhicule. Chacune de ces matrices permet de calculer la densité de probabilité de la loi du vecteur associé. Une probabilité de présence étant fixée (par exemple 0.9), un contour d'iso densité est calculé. Les incertitudes sur le positionnement des objets sont alors prises en compte en remplaçant un test de collision géométrique, classiquement utilisé au sein des planificateurs sans incertitude, par un test avec incertitudes où les objets sont élargis de leurs incertitudes.

Un test de collision géométrique, entre un mobile grossi de son incertitude et les obstacles de l'environnement, nécessite un seuil de la probabilité de présence. La définition de ce seuil est délicate et conduit à une perte d'information. Nous avons formalisé la définition de la probabilité de collision comme une intégrale d'un produit de fonctions de densité de probabilité sur un domaine de collision. Cette probabilité tient compte des configurations incertaines et des volumes du véhicule et des obstacles. Comme il n'existe pas de solution formelle à ce problème, nous avons proposé une solution numérique de type Monte-Carlo. Notre solution est générique et ne dépend pas d'une modélisation ou d'une forme particulière d'objet; elle s'appuie sur un test de collision géométrique classique de plus bas niveau entre deux objets. De fait, il est aisé de remplacer les tests de collision, utilisés classiquement dans les systèmes de conduite autonome ou d'aide à la conduite, par leurs homologues probabilistes.

G.4 DISCUSSION ET CONCLUSION

L'algorithme de calcul d'itinéraire n'a pas été connecté aux différents planificateurs : les expérimentations réalisées sur les pistes d'essais de Satory ne nécessitaient pas de calcul d'itinéraire. Une extension du projet ABV sur route ouverte nécessitera cette intégration qui ne pose pas de problème technique.

Les différents modèles de véhicule utilisés ont permis d'obtenir un réalisme suffisant au niveau des trajectoires planifiées. L'étude de modèle plus complexe ne semble pas utile compte tenu des ressources informatiques embarquées qui ne seraient pas suffisantes pour les mettre en œuvre et du peu de supplément de réalisme qui serait obtenu.

Les règles de conduite nécessaire au bon fonctionnement de la partie expérimentale du projet ont été intégrées. Toutefois nous n'avons envisagé qu'un sous-ensemble restreint des articles de la convention de Vienne et que n'avons fait qu'effleurer le problème des normes sociales implicites définies par les usagers : il semble que l'intégration des normes et usages au sein des planificateurs puisse à elle seule faire l'objet d'un projet de recherche. D'autre part, le cas des intersections n'a pas été finalisé : il nécessite la mise au point d'un séquenceur de tâches et d'un module décisionnel qui pourrait prendre la forme d'un automate à états finis. Il nous est apparu que l'intégration des règles intervient à deux niveaux dans le processus de planification.

Premièrement, au niveau des usagers de la route autre que l'ego-véhicule. En supposant que les usagers ont un comportement normatif, nous contraignons l'espace d'états de l'environnement et sa dynamique. Aussi la prédiction des états futurs est facilitée et l'espace de recherche pour la planification de trajectoires est restreint. Ce principe nous a amenés à utiliser le concept de « legal safety » qui assure que la sécurité des usagers est garantie sous condition qu'ils respectent la norme en vigueur.

Deuxièmement, les règles ont une incidence au niveau du comportement de l'ego-véhicule en ce sens qu'elles excluent certaines réalisations. Dans ce cadre, les règles sont encodées implicitement : elles s'expriment au travers des limitations imposées au comportement du véhicule dans le calcul des trajectoires possibles.

L'intégration des règles et usages dans un planificateur facilite autant le travail de planification de trajectoires qu'il le complexifie. Il facilite le calcul des trajectoires en contraignant la dynamique de l'environnement et celle de l'ego-véhicule. Il le complexifie, car des processus décisionnels complexes entrent en jeu.

L'ensemble des différents planificateurs a été validé sur des données simulées. Cependant, un seul des planificateurs, intégré sur véhicule, a montré une exécution sans faille sur piste d'essai. Cette validation est un premier pas vers une validation en environnement ouvert qu'il nous reste à effectuer. Celle-ci n'est pas triviale, car elle nécessite, de par notre approche, une intégration exhaustive des différents cas de figure pouvant survenir. Cette exhaustivité n'étant pas envisageable, il apparaît que le système proposé doit rester sous la supervision d'un pilote humain, seul apte à réagir en cas de situation imprévue par le copilote électronique embarqué.

H ANNEXES 3 - TACHE 3, CONTROLE

La tâche T3 du projet ABV a pour principal objectif de réaliser le suivi de trajectoire issue du planificateur ABV en utilisant des contrôleurs adaptés. Le projet est basé sur la connaissance d'informations disponibles sur un itinéraire dit « sécurisé ». Celui-ci permet entre autres de d'utiliser des données de l'infrastructure (attributs géométriques de la route à venir), de l'environnement (inter-distances, vitesse maximale autorisée, ...), du véhicule (trajectoire optimale à suivre en fonction de la situation de conduite, état du véhicule, ...), du conducteur (CHM, driver monitoring, ...).

Cette tâche permet donc de concevoir, tester et finaliser des lois de commande robustes concernant la gestion du mode latéral du véhicule (couple au volant) sur itinéraire sécurisé et de développer un contrôleur robuste pour la gestion du mode longitudinal (accélération/freinage) quel que soit la richesse de l'information apportée par l'itinéraire et la valeur de la vitesse, dans un contexte de partage de la conduite avec le conducteur.

Pour cela, cinq sous-tâches ont permis de réaliser un contrôle du véhicule sécurisé à basse vitesse ou haute vitesse. L'aspect énergétique a par ailleurs été considéré. Nous rappelons que sur itinéraire sécurisé, les modes latéral et longitudinal doivent être contrôlés alors que sur itinéraire non sécurisé, seul le mode longitudinal est piloté, le mode latéral étant géré par le conducteur.

T3100 - La tâche T3100 du projet ABV porte sur la mise en place d'un contrôleur haut-niveau pour gérer les deux modes longitudinal et latéral du véhicule simultanément. Ce contrôleur permet d'assurer une stabilité asymptotique globale du véhicule et un suivi des trajectoires de référence issues du module de planification (Tâche T2). Celle-ci utilise pour cela les données capteurs renseignées par le module de perception de l'environnement (Tâche T1).

Les trajectoires de référence peuvent prendre plusieurs formes selon la manœuvre considérée : maintien de voie, suivi de véhicule, changement de voie et évitement d'obstacle. Elles assurent quoi qu'il en soit un haut niveau de sécurité. Dans cette sous-tâche, le contrôleur ne réalise qu'un simple suivi de trajectoire pour exploiter la faisabilité de l'action. En effet, selon la stratégie adoptée par le planificateur (choisi parmi les trois planificateurs de trajectoire développés dans ABV), il est nécessaire de vérifier que les lois de contrôle ont la capacité à répondre non seulement en temps (rapidité d'exécution, temps de latence, ...), mais aussi physiquement (le véhicule doit pouvoir suivre la forme de trajectoire demandée) tout en respectant le cahier des charges initial en termes de performances.

De premiers algorithmes ont donc été testés, en utilisant la théorie du backstepping, basée sur la stabilisation des systèmes non-linéaires pouvant être décomposés en sous-systèmes récurrents ou en cascade. Ainsi, en définissant une variable d'erreur à stabiliser, on définit une fonction de Lyapunov fonction de cette erreur, que l'on dérive. Le backstepping a les propriétés de rendre l'analyse de stabilité du système simple, malgré son caractère non-linéaire, grâce à la présence de fonction de Lyapunov. Il permet de déterminer une « variable de commande virtuelle » du système qui assure la négativité de cette fonction de Lyapunov dérivée. Ensuite, en « backsteppant », c'est-à-dire en descendant d'un intégrateur, on peut réitérer ces étapes jusqu'à l'apparition des « variables de commande réelles » du système réel et ainsi appliquer la loi de contrôle finale. Par ailleurs, ces fonctions de Lyapunov nous permettent, de par la flexibilité de leur choix dans cette technique, d'introduire des critères liés aux performances attendues.

Cette technique étant très adaptée à la robotique, il était intéressant de l'appliquer au véhicule. Cette technique s'avère notamment être applicable sur le mode latéral de ABV. Cela consiste à minimiser l'écart latéral y_L au point de visée des capteurs par rapport à la trajectoire planifiée ainsi que l'erreur de cap ψ_L . On peut alors commander le véhicule en angle de braquage comme en couple au volant par l'intégration de la colonne de direction dans ce cas. Ce dernier cas est retenu dans ABV.

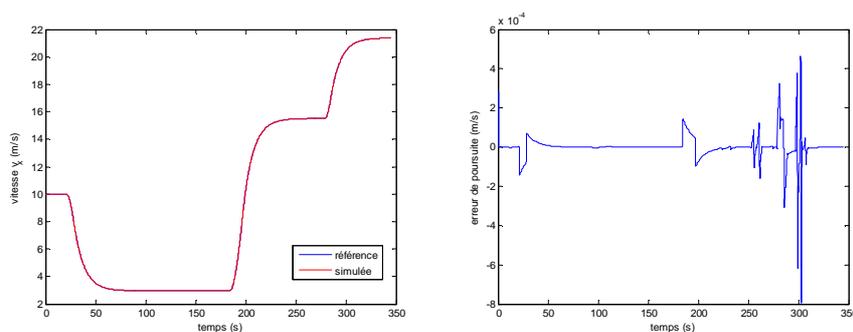


Figure H.1 : Exemple d'un suivi de vitesse par la méthode Backstepping.

La figure 1 donne un exemple de suivi de vitesse longitudinale par backstepping, avec un suivi relativement fin et une erreur de poursuite en vitesse répondant tout à fait aux performances attendues.

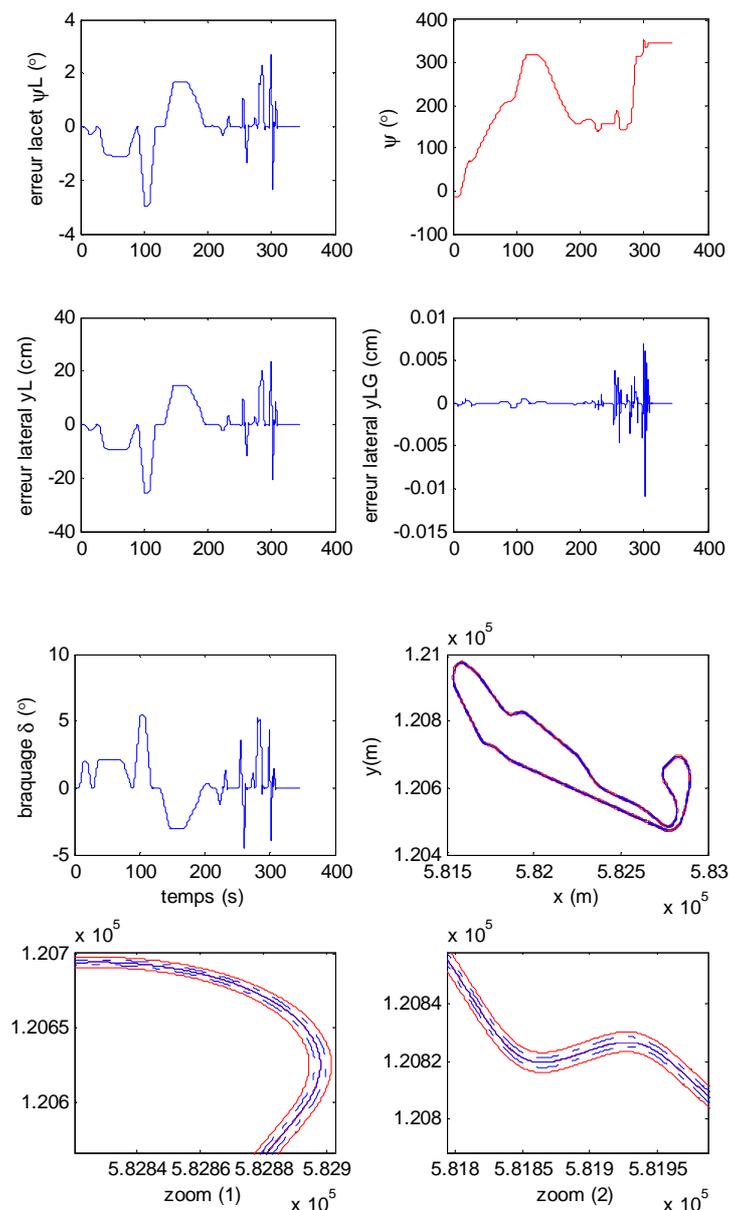


Figure H.2 : Exemple de maintien de voie par la méthode Backstepping, adhérence $\mu = 1$ - erreurs et trajectoire.

La Figure H.2 illustre un exemple de suivi de trajectoire simple sur une simulation de parcours sur les pistes d'essais de Satoy. Une seconde version de cette loi de commande rendue adaptative a permis de rendre la loi de contrôle robuste au changements d'adhérence.

D'autres lois de commande ont été synthétisée et testées comme des lois par PID.

Ces travaux sont détaillés dans le livrable L3100.

T3200 -

La conduite automatisée requiert des exigences élevées en terme de sureté de fonctionnement. Le traitement et la validation des signaux issus des capteurs permettent

d'améliorer et d'estimer la fiabilité de l'information sur l'état actuel du véhicule. De plus, certaines grandeurs nécessaires pour contrôler le véhicule ne sont pas mesurables directement. Pour les estimer, un observateur d'état fusionne les données et utilise les redondances analytiques. Ces données peuvent aussi servir pour traiter des problèmes de fiabilité. Néanmoins, ce problème ne sera pas abordé dans ce document.

Dans le cadre de la tâche 3200, nous avons développé une architecture de traitement des données permettant de répondre aux questions de fiabilité des signaux et de leur évaluation. Le traitement en lui même est assuré par des filtres de type Kalman ou algébrique. Pour l'évaluation de la qualité du signal, nous avons mis en place une comparaison sur les possibilités d'évolution des variables. Finalement, nous avons repris les travaux de Y. Sebsadji et de J. Dakhallah pour les observateurs.

Ces travaux sont détaillés dans le livrable L3200.

T3300/T3400 – Les sous-tâches T3300 et T3400 ont été rassemblées pour traiter les problèmes de robustesse, tester et finaliser les premiers travaux de la sous-tâche T3100 du projet concernant la gestion du mode latéral du véhicule (couple au volant) sur itinéraire sécurisé et de développer un contrôleur robuste pour la gestion du mode longitudinal (accélération/freinage) quel que soit la richesse de l'information apportée par l'itinéraire et la valeur de la vitesse, dans un contexte de partage de la conduite avec le conducteur.

La faisabilité du contrôle à partir d'au moins un planificateur de trajectoire ABV ayant été montrée avec la sous-tâche T3100, les développements en backstepping ont été ensuite robustifiés, rendus adaptatifs à une dégradation de l'adhérence par exemple, et implémentés. Des essais sur le simulateur SHERPA ont été réalisés et montrent des résultats cohérents pour une vitesse longitudinale constante à 50 km/h.

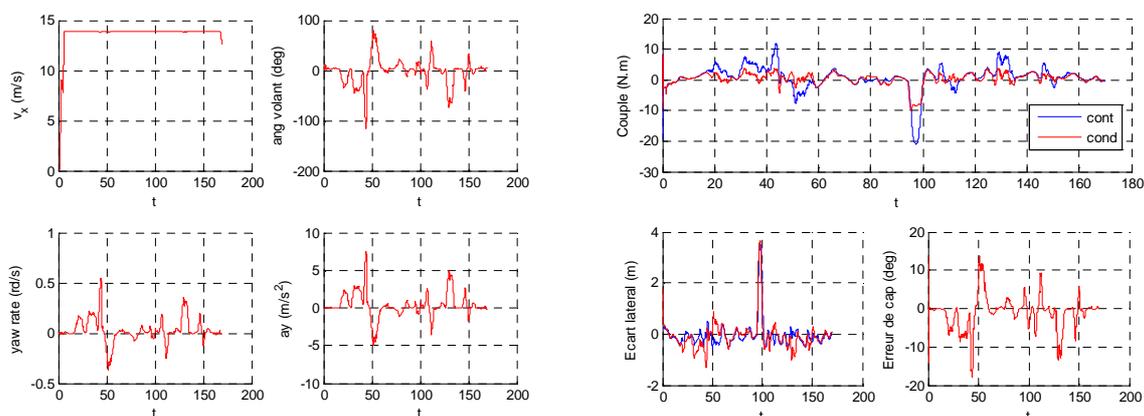


Figure H.3 : Résultats avec le backstepping implémentés sur SHERPA en conduite partagée.

De façon à prendre en compte la variation de vitesse longitudinale, un algorithme par modes glissants d'ordre supérieur accompagné d'une loi d'adaptation des gains de la loi de commande a été mise au point. Ce contrôle utilise le « super twisting algorithm » et permet d'avoir un suivi de trajectoire longitudinal (en position et vitesse) très robuste et performant, avec une vitesse de convergence en temps fini rapide.

Pour cela, un problème de gestion de l'inter-distance longitudinal a été formulé :

- Lorsque la vitesse est inférieure à 50 km/h (itinéraire sécurisé), ce problème de gestion d'inter-distance est ramené à un problème de suivi de trajectoire longitudinal.
- Sur itinéraire non sécurisé pour des vitesses élevées, seul le contrôle de la vitesse par gestion de l'inter-distance est réalisé puisque le planificateur ne délivre plus de trajectoire au contrôleur. Dans ce cas, le contrôle de la vitesse se fait :
 - o en respectant la vitesse maximale autorisée,
 - o en respectant une inter-distance de sécurité dans le cas d'un suivi de véhicule dans le trafic,
 - o en respectant le choix de la vitesse régulateur choisie par le conducteur dans le cas d'une conduite non contrainte par un véhicule suivi (conduite libre), si cette vitesse choisie est en deçà de la vitesse maximale autorisée.

L'autre avantage de cette méthode est qu'un seul contrôleur est synthétisé avec un seul réglage quelle que soit la valeur de la vitesse ou la richesse de l'information issue de l'itinéraire. La figure ci-dessous illustre les résultats obtenus.

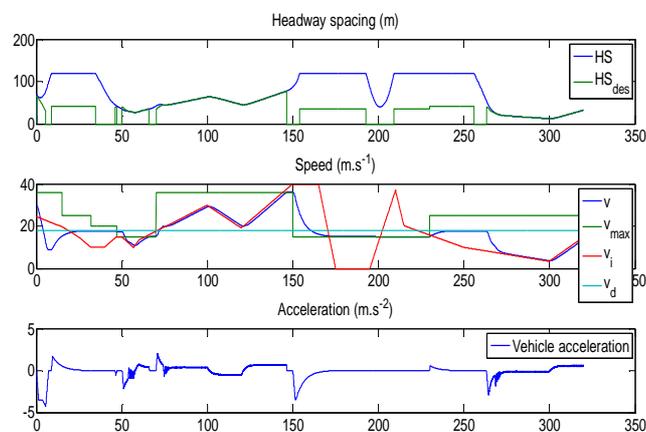


Figure H.4 : Implémentation du contrôle longitudinal par modes glissants (inter-distance : $HS_{des}=0$ (suivi en vitesse), HS_{des} saturée à 120m (circulation libre, vitesse choisie par le conducteur), HS_{des} variable (suivi en inter-distance de sécurité)).

Ces travaux sont détaillés dans le livrable L3300/L3400.

T3500 – La tâche T3 a pour objectifs non seulement de contrôler la trajectoire du véhicule de manière robuste, mais aussi de réduire la consommation d'énergie utilisée par le véhicule ABV, objet de la sous-tâche T3500. Celle-ci permet donc de développer un module d'optimisation de la consommation en carburant du véhicule ABV, en fonction de la situation de conduite, du trafic environnant, de la géométrie de la route, tout ceci dans le respect de la vitesse limite légale (vitesse maximale autorisée). Le système ainsi conçu dans le projet permet d'aider le conducteur à éco-conduire via une Interface Homme-Machine, en partageant la conduite entre le conducteur et l'automate de manière suggestive. L'aide à la conduite résultante est intégrée sur véhicule d'essais et testée sur route fermée (pistes d'essai) et ouverte (espace public).

Dans la continuité des recherches effectuées au sein des partenaires LIVIC et IBISC, l'objectif consistait donc à développer un système qui aide le conducteur à adopter globalement une conduite plus économique, et qui plus est, écologique et sécuritaire. Notre approche se différencie des études et systèmes déjà existants par la stratégie utilisée. Celle-ci prend à la fois en compte les caractéristiques du véhicule, celles de l'infrastructure et surtout la

situation courante dans laquelle se trouve le véhicule. Pour cela, on se place dans le contexte où la carte numérique contenant la géométrie de la route (pente, dévers, courbure) et les limitations de vitesse sont disponibles ce qui est le cas de l'itinéraire sécurisé, la distance inter-véhiculaire est mesurable et les caractéristiques longitudinales du véhicule sont connues. Partant de ces informations, le problème d'optimisation de la consommation en carburant est formulé via le principe de Hamilton-Bellman-Jacobi et ensuite résolu par une technique de programmation dynamique avec horizon électronique. La stratégie de calcul en ligne est par la suite adoptée pour rendre le système adaptatif aux conditions de trafic. C'est ainsi que, sur la base de cette stratégie, le couplage entre le problème de sécurité routière et de réduction de consommation est réalisé.

En termes de résultats, on peut montrer que la prise en compte de certains problèmes de sécurité (limitation de vitesse, vitesse limite sécuritaire en approche de virage, respect de la distance de sécurité) dans la stratégie d'économie de carburant permet non seulement d'atteindre les objectifs écologiques, mais en plus, rend les consignes du système plus fiables, cohérentes et plus sûres. Des expérimentations sur véhicule prototype sont réalisées sur les pistes d'essais de Versailles-Satory ainsi que sur un itinéraire ouvert de plus de 14 km situé dans les Yvelines. Lors de cette étape, il s'agissait d'évaluer le système suggestif avec une interface Homme-Machine bien spécifique (non ergonomique). On s'aperçoit, par exemple, que tous les conducteurs ayant testé le système obtiennent une économie de carburant avec l'utilisation du système d'aide. Ce gain varie bien évidemment en fonction du conducteur (initialement éco-conducteur ou non, prudent ou pas, plus ou moins réactif, ...). Il varie entre 1.3% à 9.1% en consommation moyenne et entre 1.6% et 12.9% en consommation cumulée. La moyenne de la consommation moyenne de tous les conducteurs confondus sans IHM est de 6.61 l/100km. Elle est de 6.12 l/100km avec l'utilisation de l'IHM. Le système apporte alors un gain d'économie de carburant de 7.55% en moyenne. Il est à noter que les séries de tests ont été réalisées dans des conditions de roulage réelles sur itinéraire inter-urbain.

Le système développé permet par ailleurs de diminuer le pourcentage des dépassements de vitesse maximale autorisée des conducteurs. Ce gain reste variable selon le conducteur. On constate, en fonction des essais réalisés, que le gain en sécurité relatif à un excès de vitesse peut varier de 0% jusqu'à 80%, en comparant les conducteurs sur le même trajet, avec et sans l'aide suggestive (seule les conditions de trafic peuvent réellement varier entre les deux essais).

Ces travaux sont détaillés dans le livrable L3500.

I ANNEXES 4 - TACHE 4, COOPERATION HOMME MACHINE

La tâche T4 « Coopération Homme-Machine (CHM) et Driver Monitoring (DM) » a eu pour objet de définir, prototyper et évaluer les interactions entre le système ABV et le conducteur du véhicule. L'objet a été de déterminer à qui attribuer à chaque instant tout ou partie du contrôle du véhicule (degré d'automatisation) en fonction de critères liés aux capacités de l'homme (driver monitoring) et à celles de la machine au regard de la situation de conduite (domaines de fonctionnement). Cette tâche a nécessité le développement d'interfaces homme-machine (IHM) spécifiques.

Ces travaux sont détaillés dans les livrables L4100, L4200 et L4500.

La première sous-tâche concernait un état de l'art sur les deux thèmes abordés : Coopération Homme-Machine et Driver Monitoring. Cette sous tâche a fait l'objet du livrable L4100 qui présente une synthèse bibliographique de travaux réalisés dans le domaine et dresse également un panorama des systèmes d'aide à la conduite existants pour se focaliser ensuite sur la problématique de la coopération homme-machine dans le contexte spécifique de la conduite automobile. Cet état de l'art a constitué le point de départ des réflexions concernant le développement du système ABV. Il a permis de dégager un certain nombre de modes de coopération possibles dont certains ont été testés dans le cadre du projet ABV.

La seconde sous tâche a concerné la spécification des principes de coopération entre le conducteur et le système ABV. Elle a fait l'objet du livrable L4200. Ce document construit en commun a permis de préciser fonctionnellement les objectifs du projet au sein du consortium. On y trouve notamment :

- Un ensemble de définitions concernant l'environnement ou le contexte d'utilisation des aides à la conduite, l'utilisation de différents moyens de contrôle existant, ainsi que certaines procédures qui peuvent être engagées par le système.
- Le premier graphe de modes de marche et arrêt du système ABV. Il a permis de donner un premier aperçu des fonctionnalités disponibles et des modalités de passage d'un mode à l'autre en fonction des situations rencontrées et des actions du conducteur.
- Les principes de fonctionnements des deux modes nominaux du système, i.e. le mode ABV « complet » (latéral et longitudinal) appelé par la suite mode SCOUT, et le mode LONGI (longitudinal seul) appelé par la suite mode ASIC.
- Les mécanismes de changements de mode de marche du système ABV, et ce à l'initiative du conducteur ou du système lui-même, en fonction de différents types de situation. Ces mécanismes intègrent notamment l'utilisation du Driver Monitoring de Continental qui permet de s'assurer que le conducteur est bien capable de reprendre le véhicule en main lors d'un passage obligé d'un mode automatique au mode manuel, ou de s'assurer que le conducteur n'est pas en hypovigilance et qu'il assure un minimum de surveillance de la situation.
- Les premiers prototypes des IHM implémentées sur le simulateur SHERPA.

La troisième sous tâche était certainement la plus importante de ce WP. Elle a fait l'objet du livrable L4500. Elle a concerné le développement d'un prototype du système ABV au sein du simulateur de conduite SHERPA (système de contrôle automatique du véhicule, coopération homme-machine, driver monitoring, interface Homme-Machine) permettant d'effectuer différents tests avec un conducteur. Au fur et à mesure des développements et des tests unitaires, les spécifications ont évolué (architecture, modes de marche ...) et le livrable L4500 récapitule ces évolutions par rapport au L4200.

Dans cette sous tâche, le graphe de modes de marche du système a été finalisé. Celui-ci permet de décrire l'ensemble des fonctionnalités disponibles et les modalités de passage d'un mode à l'autre en fonction des situations rencontrées et des actions du conducteur. De ce fait, ce graphe fixe la gestion d'autorité entre conducteur et automates. Il est présenté ci-dessous. Les conditions de changement de mode sont dépendantes de différents facteurs selon les situations, facteurs techniques en fonction des compétences des automates mais aussi facteurs humains. Ce graphe fixe au final d'une part le niveau d'automatisation du système global et ses possibilités d'évolution, et d'autre part l'agent disposant de l'autorité permettant de faire évoluer ce niveau d'automatisation.

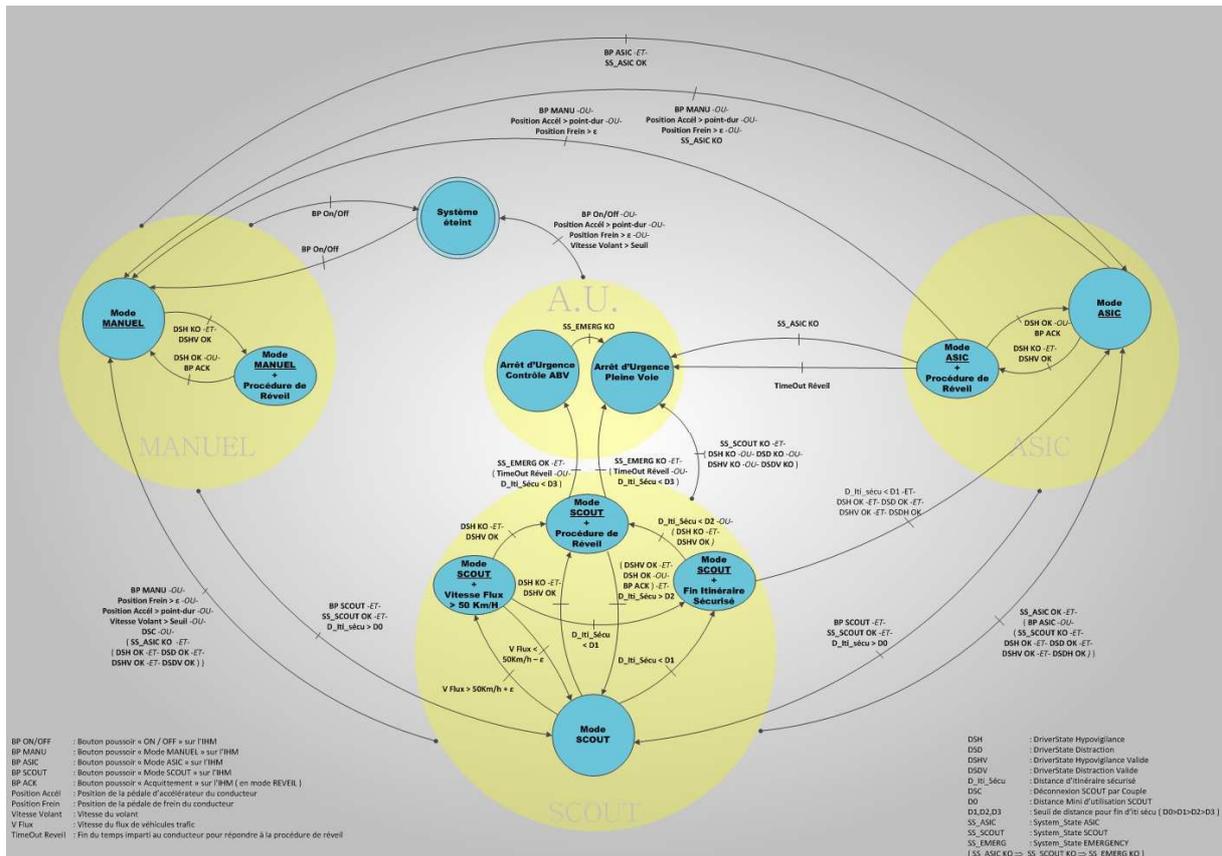


Figure I.1 : Graphe des modes de marche du système ABV

Hormis le cas où le système est éteint, quatre modes de marche principaux sont concernés par le projet ABV (bulles jaunes) :

- Un mode dans lequel le conducteur assure la conduite, mais le système ABV est en marche (MANUEL).
- Un mode dans lequel les automates assurent les tâches principales de contrôle latéral et longitudinal (SCOUT). Dans ce mode, les automates assurent donc en autonome la conduite mais le conducteur peut intervenir à tout moment sur le volant, et la conduite est alors partagée avec les automates.
- Un mode dans lequel les automates uniquement un contrôle de la conduite en longitudinal, faisant intervenir à la fois une régulation en vitesse du véhicule et une régulation d'inter distance avec le véhicule précédent si nécessaire (ASIC).
- Enfin, un mode « Arrêt d'Urgence » (AU) permettant la mise en sécurité du véhicule et de ses passagers.

Dans chacun de ces quatre modes principaux, différents sous modes ont été définis. Le passage d'un sous mode à un autre (ces sous modes pouvant faire partie ou non du même mode) sont représentés par des arcs comportant une transition près de laquelle est indiquée une réceptivité. Cette dernière représente une équation booléenne comportant différents éléments tels qu'une action sur l'interface (BP_SCOUT par exemple), un paramètre lié au véhicule (vitesse par exemple), une situation liée au contexte (Distance de fin d'itinéraire sécurisé par exemple), un temps, un paramètre lié au conducteur (Hypovigilance par exemple) ou enfin un paramètre système (état du système SCOUT par exemple). Pour simplifier la représentation, lorsque plusieurs arcs partent des différents sous-modes d'un mode particulier pour aller vers un autre sous-mode d'un autre mode et ce avec la même réceptivité, un seul arc est représenté avec un départ de la bulle jaune du mode concerné.

Cet automate d'état a été implanté sur le simulateur SHERPA et a été validé fonctionnellement.

La sous tâche a également permis d'implanter et valider en simulateur l'architecture de contrôle partagé. Deux niveaux de coopération ont été identifiés pour assurer un meilleur partage du contrôle :

- Un Niveau Bas de Coopération (BNC) qui intervient au niveau opérationnel de l'activité et qui concerne alors la coopération dans l'action, où le conducteur interagit avec le système directement sur le volant. Ce niveau de coopération comprend la création, la détection et la résolution des d'interférences afin d'éviter tout conflit (opposition importante de couple entre le conducteur et l'automate). La commande agissant sur le système de direction peut être ressentie comme une perturbation par le conducteur et de même pour l'effet des actions du conducteur sur la commande. De ce fait, ces éléments sont pris en compte dans la conception du contrôleur afin de minimiser les interactions négatives entre l'assistance et le conducteur.
- Un Haut Niveau de Coopération (HNC) qui intervient à un niveau stratégique de l'activité et qui concerne la coopération dans la planification. Cette dernière comprend l'élaboration des objectifs communs entre conducteurs et automates et l'évaluation des prises d'informations, de décisions et des actions. Ce niveau de coopération intervient plus dans le choix des trajectoires à suivre en prenant en compte l'état du conducteur (couple au volant et informations du Driver Monitoring - DM) ainsi que l'état de l'environnement de conduite.

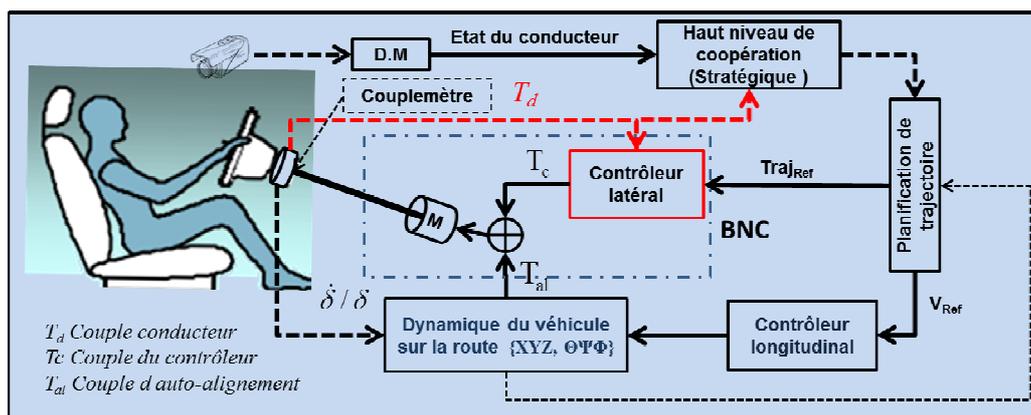


Figure I.2 : Architecture de partage de la conduite (contrôle latéral uniquement)

Plusieurs contrôleurs pour le latéral ont été testés en collaboration avec la tâche T3. Nous présenterons ici uniquement les travaux visant à proposer une solution au problème de conflits au niveau BNC qui peuvent être générés lorsque le conducteur et l'automate agissent ensemble et en même temps sur le volant pour assurer le contrôle latéral. C'est le cas par exemple d'un conducteur qui optimise la trajectoire lors d'une prise de virage ou qui s'écarte de la trajectoire planifiée pour éviter un obstacle qui n'aurait pas été détecté par le système de perception.

Afin de permettre un partage du contrôle entre le conducteur et l'automate directement au niveau du volant, la commande de braquage en couple a été privilégiée. Une approche multi-modèle T-S (Takagi-Sugeno) en intégrant un modèle conducteur dans la synthèse du contrôleur a été utilisée. L'idée est d'intégrer le couple conducteur dans le vecteur d'état du système pour pouvoir prendre en compte le conflit entre le conducteur et le régulateur dans le vecteur de performance. Le contrôleur aura donc la charge d'assister le conducteur à réaliser la tâche du maintien de voie tout en minimisant les interférences négatives (minimisation du conflit).

Une première série de tests du contrôle partagé a été réalisée en simulation sur Matlab/Simulink afin d'ajuster les contrôleurs avant de les implémenter sur le simulateur

SHERPA. La vitesse longitudinale est régulée par un contrôleur mode glissant, tandis que le positionnement latéral est assuré par le contrôleur T-S. Les courbes ci-dessous présentent quelques résultats obtenus en simulation numérique et en simulation interactive dans le simulateur SHERPA. En simulation numérique seul un contrôleur intégrant un modèle conducteur dans la phase de conception (AMC) est présenté. Le scénario simulé se décompose en trois phases. La première est une conduite normale partagée où un modèle conducteur est utilisé pour simuler la tâche de maintien de voie du conducteur humain. La deuxième phase simule un dépassement effectué par le conducteur pour éviter un obstacle non renseigné au contrôleur. La troisième phase est une conduite complètement automatisée ; après le dépassement, le conducteur relâche le volant et le contrôle du véhicule devient complètement automatique.

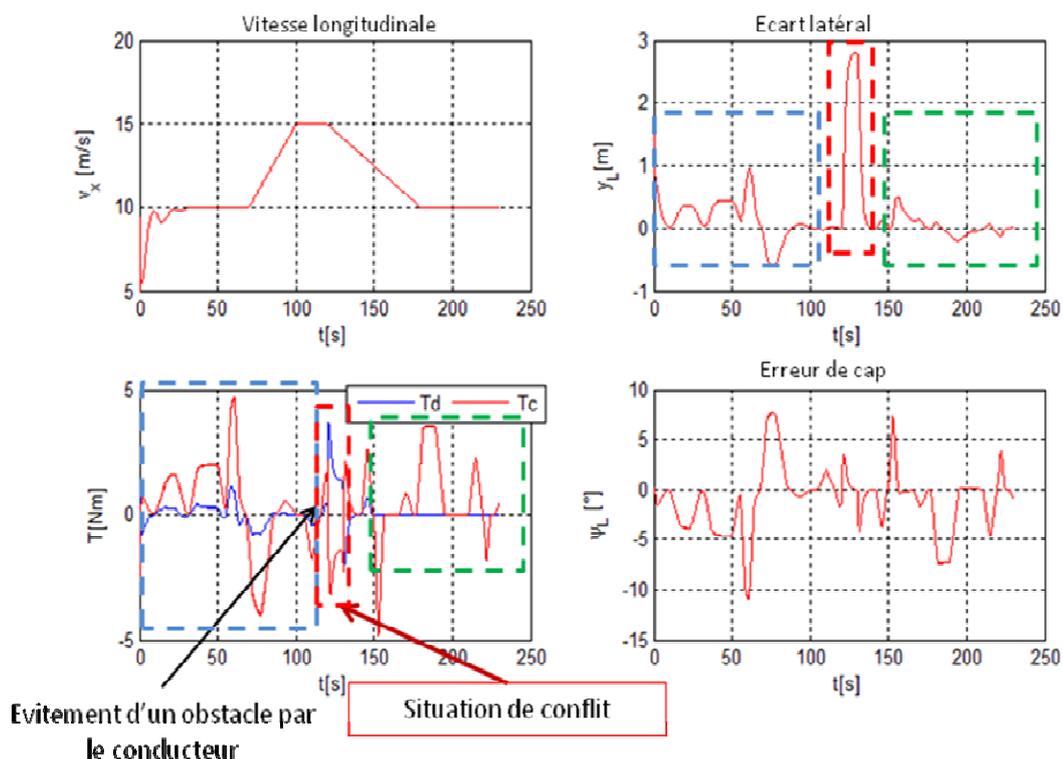


Figure I.3 : Résultats de simulation en conduite partagée en utilisant le contrôleur AMC

La figure xx montre les résultats de simulation en utilisant le contrôleur (TS) synthétisé avec un modèle conducteur (AMC). D'après les courbes de cette figure, le conflit entre le conducteur et l'assistance durant le changement de voie est faible et le conducteur parvient à effectuer la tâche d'évitement d'obstacle avec un écart latéral maximal d'environ 3 m. Les tests réalisés sur le simulateur SHERPA (simulation interactive) présentent deux contrôleurs, le contrôleur AMC précédent et un contrôleur synthétisé sans modèle conducteur (SMC). Ils confirment les résultats obtenus en simulation sur Matlab/Simulink. Le scénario testé consiste en une conduite partagée dans le premier virage ($t < 10s$), ensuite le conducteur enclenche le mode automatique et doit, sans désactiver le mode automatique, reprendre la main sur le volant pour éviter trois obstacles sur la voie.

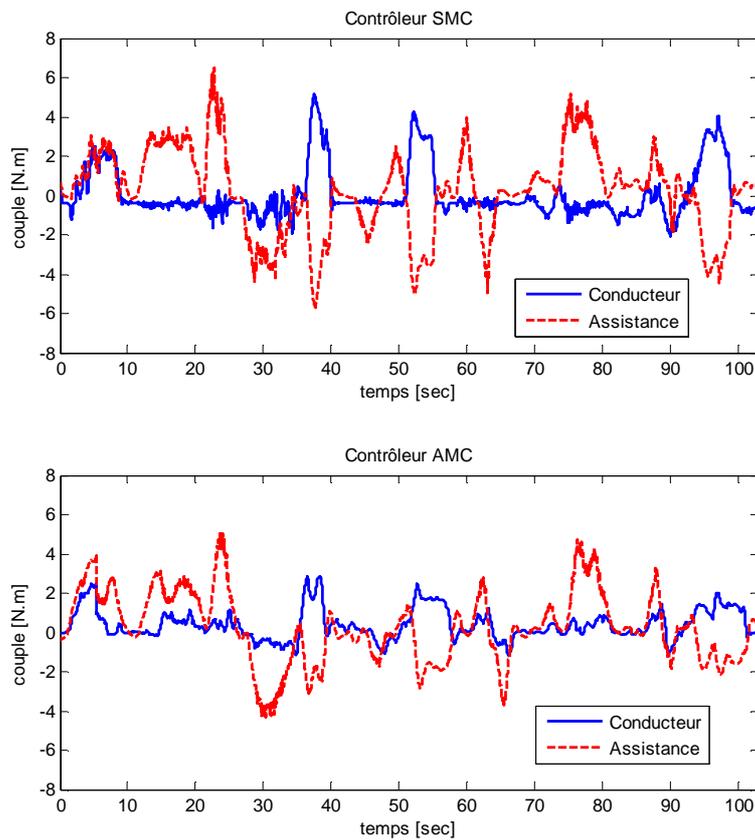


Figure I.4 : Résultats expérimentaux sur SHERPA

La figure yy montre les résultats obtenus sur le simulateur SHERPA en utilisant deux contrôleurs AMC et SMC. Les courbes de cette figure illustrent bien l'apport du modèle conducteur dans la conception du contrôle partagé. Ceci a permis de réduire l'effort fourni par le conducteur pour réaliser sa manœuvre d'évitement d'obstacles tout en restant en mode automatique.

La sous tâche a également traité du prototypage de l'IHM du système ABV. Cette interface permet au conducteur de superviser le système ABV, et donc d'une part de comprendre ce que fait le système et d'autre part de maintenir la conscience des modes engagés, sans pour cela le perturber dans ses activités, notamment lorsqu'il assure une part de la conduite. Pour sa modalité visuelle, elle fait appel à un écran tactile qui permet de communiquer au conducteur un nombre important d'informations concernant à la fois la situation de conduite (type d'itinéraire, positions, vitesses, risques, etc.) et le fonctionnement du système ABV (mode engagé, intentions du système, etc.). Compte tenu de cette grande quantité d'informations, l'interface utilisée est synthétique et utilise une symbolique claire.



Figure I.5 : Ecran tactile de l'IHM ABV

Du point de vue du conducteur, le système ABV gère deux « composantes » de la trajectoire : la vitesse du véhicule et sa position par rapport à l'infrastructure et par rapport aux autres véhicules. L'interface doit donc afficher les informations caractéristiques de ces deux « composantes ». Le choix a donc été fait de scinder l'interface en deux zones d'informations principales, Figure 5.2 :

- une partie supérieure gauche qui affiche les informations relatives au contrôle de la vitesse du véhicule sous la forme d'un tachymètre classique auquel ont été adjoints des symboles/codes de couleurs apportant des informations supplémentaires comme l'activité de la pédale d'accélérateur à retour d'effort, la vitesse limite sur le tronçon, le fait que la vitesse respecte les contraintes du mode SCOUT lorsque celui-ci est engagé, etc. La partie inférieure gauche de cette zone est réservée aux messages textuels.
- une partie droite présentant les informations relatives au contrôle latéral et à la gestion de l'interdistance. Le design retenu représente la position du véhicule en pseudo 3D, s'inspirant des interfaces utilisées actuellement sur les ACC ou les systèmes d'aide à la navigation.



Figure I.6 : un exemple de l'IHM ABV

L'interface affiche aussi en partie basse un bandeau de boutons tactiles permettant de visualiser en même temps et à chaque instant le mode de fonctionnement engagé (affichage du bouton en vert), le ou les modes disponibles et donc pouvant être sélectionnés (affichage en noir sur fond blanc), et enfin les modes non sélectionnables (affichage en gris). Cette interface a été développée comme un composant indépendant fonctionnant sur une machine de type PC. Elle communique avec le système via le bus CAN. Elle a été déployée dans l'ensemble des véhicules du projet.

Pour plus de détails sur le fonctionnement de cette IHM il convient de se reporter au livrable L4500.

J ANNEXES 6 - TACHE 6, VALIDATION

J.1 INTRODUCTION

La Tache 6 du projet a deux objectifs : le premier consiste à créer des données virtuelles et mettre en place des scénarios pour alimenter les différentes parties du projet (Planification, Control, Perception). Ainsi, il est possible de faire travailler les différents algorithmes alors que la partie hardware est en cours de montage. Par exemple, la partie Planification a testé différentes stratégies pour assurer une sécurité optimum pour le véhicule autonome et les autres usagers de la route. Il est possible de gérer différents cas de tests (véhicule seul sur la route, trafic léger, congestion) afin de débogger le système sans avoir de crainte d'accident. Le deuxième objectif consiste à évaluer et tester les différentes briques du système. Certains critères ont été implémentés pour mesurer les performances de certaines parties du système ou des briques identiques mais ayant été codé différemment ont été mise en concurrence. Ces différents tests ont permis de valider en partie le système avant de le mettre sur les véhicules démonstrateurs et de faire des tests réels.

J.2 CREATION DE DONNEES VIRTUELLES

Avec le logiciel Pro-Sivic, il a été possible de créer des données de capteurs ou des données synthétiques par rapport à des scénarios données.

Pour la Planification différents scénarios ont été fait :

- Scenario 1 (Trafic nul) : dans ce scénario il existe un seul véhicule ABV. Le véhicule est doté des capteurs ABV. L'objectif de ce scénario est de valider le bon suivie d'une trajectoire prédéfini, du bon fonctionnement des modèles de capteurs. Ce scénario validera la brique perception.
- Scénario 2 (Suivi de véhicule) : Dans ce scénario on utilise un véhicule ABV et un autre véhicule. Le véhicule ABV doit être capable de respecter toutes les consignes de vitesses, des signalisations routières mais aussi le suivie d'un véhicule égo dans une même voie. Ce scénario validera une partie de la brique planification de trajectoire.
- Scénario 3 (Sortie de zone de congestion) : Après avoir était confronté à des congestions, le véhicule ABV doit être capable de retourner à son comportement initial, par exemple en augmentant sa vitesse. Ce scénario validera l'autre partie de planification de trajectoire.
- Scénario 4 (Congestion) : Il existe un véhicule ABV qui est notre centre d'intérêt. Plusieurs autres véhicules égos à proximité du véhicule ABV vont nous permettre d'évaluer le comportement du véhicule ABV en termes de proximité, respect des signalisations routières. Ce scénario englobera la validation de la brique perception, contrôle et planification de trajectoire.

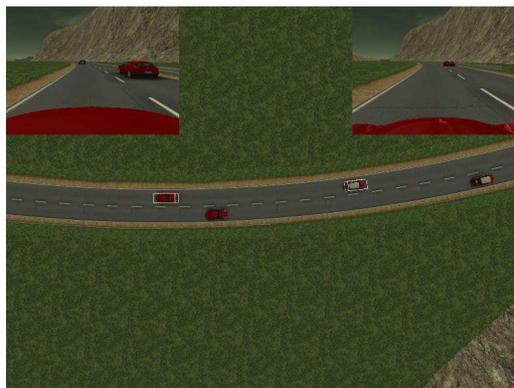


Figure J.1 : un exemple de scénario pour développer la Planification

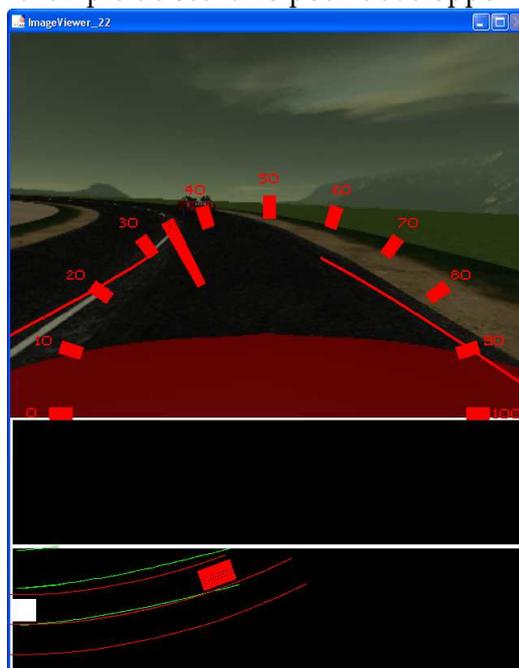


Figure J.2 : un scénario de test pour la détection de bords de voie

J.3 TESTS ET MISE EN CONCURRENCE

Afin de valider un système d'aide à la conduite, nous proposons d'aborder le problème d'une autre manière. Au lieu de vérifier si le système donne un résultat sûr, nous nous proposons d'évaluer la précision du système. C'est-à-dire si le véhicule détecte par exemple, le bord droit de la voie, nous nous contenterons de comparer ce qui est perçu avec la réalité.

Dans un second temps, nous avons définis plusieurs critères d'évaluation du système d'aide à la conduite, pour pouvoir l'évaluer. Ces critères sont cités comme suit : Lane detection error (δ Lane): Pedestrian detection error (δ Posi), Car position detection error, Car localization error (δ Posi), Path planning error (δ Collision), Control/command error, Driver safety estimation et Driver comfort estimation (Accelconfort).

Nous avons mis les différents algorithmes développés en concurrence. Ainsi la meilleure stratégie a été implémentée dans les véhicules.

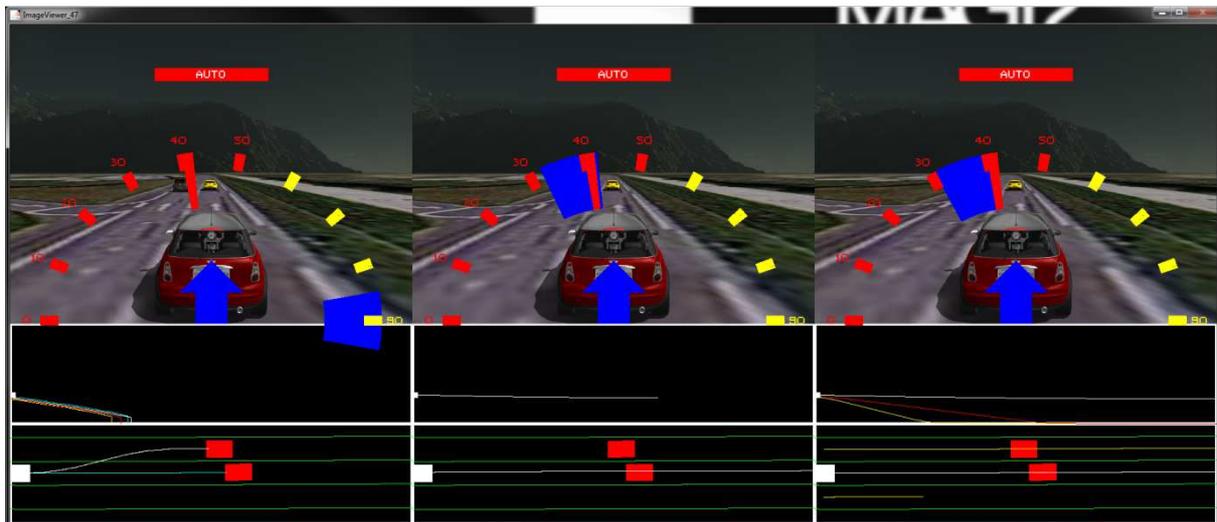


Figure J.3 : un scénario de test pour 3 Planificateurs du projet

J.4 CONCLUSION

En travaillant sur des données virtuelles, les tâches de planifications et control ont pu se déroulé en même temps que les tâches d'équipement des véhicules ou de perception. Ce gain de temps a permis de tester et valider les briques élémentaires du système complet ABV et de s'assurer du bon fonctionnement sur le véhicule réel

K ANNEXES 8 - TACHE 8, IMPACT DU SYSTEME ABV

K.1 INTRODUCTION

La tâche 8 du projet consiste à étudier l'impact sociétal de l'automatisation basse vitesse en fonction du taux de pénétration du système. Cette étude s'est concentrée plus particulièrement sur l'analyse de la sécurité du conducteur et de la capacité du trafic. Dans un premier temps, une étape de modélisation d'un trafic mixte a été faite dont la synthèse est donnée dans le deuxième paragraphe. Le troisième paragraphe présente les scénarios et les indicateurs de sécurité associés ainsi que les résultats. La quatrième section conclue et propose des perspectives de nos travaux.

K.2 MODELES POUR UN TRAFIC MIXTE

Un trafic est qualifié de « mixte » quand une partie seulement des véhicules qui le composent sont automatisés (les autres étant alors conduits par des humains).

Que les véhicules soient automatisés ou non, leur comportement latéral est géré de la même manière. La décision de changement de voies est prise à l'aide du modèle MOBIL [5] qui repose sur deux critères : la sécurité et l'incitation (qui intègre la motivation et la politesse) [livrable ABV 8100]. Une fois la décision de changer de voie prise, le mouvement du véhicule est géré à l'aide d'un saut d'une voie à l'autre.

En revanche, le comportement longitudinal diffère selon le type de conduite (automatisé ou non). Pour une conduite humaine, le modèle conducteur a été choisi [livrable ABV 8200] selon des critères [1] d'anticipation temporelle et d'anticipation spatiale du conducteur (sur un ou plusieurs véhicules en amont). De plus, la prise en compte de l'erreur sur l'estimation de l'inter-distance et sur celle de la vitesse relative ainsi que le respect des limites réelles en accélération et décélération d'un véhicule et les limites de la vitesse de l'onde cinématique

(Kinematicwave speed) ont également été considérés. Le modèle TwoVelocityDifference Model (TVDM) [2] a été retenu. Le modèle Intelligent Driver Model (IDM) a été retenu pour modéliser le mouvement longitudinal des véhicules automatisés. Ce choix a été motivé par sa large utilisation dans la communauté ainsi que par son intuitivité et par la disponibilité de ses paramètres dans la littérature.

En conclusion, pour le comportement longitudinal, les modèles IDM et TVDM ont été utilisés respectivement pour représenter une conduite automatisé et humaine. D'autre part, le comportement latéral est commun aux deux modes et repose sur le modèle MOBIL.

K.3 EVALUATION DE L'IMPACT DE L'AUTOMATISATION BASSE VITESSE

K.3.1 SCENARIOS AVEC ACCIDENTS :

Le scénario « Freeze », utilisé dans nos simulations, consiste à faire évoluer une file de véhicule jusqu'à l'état d'équilibre. A un instant un véhicule s'arrête instantanément (distance de freinage nulle).

Pour évaluer la sévérité de l'accident l'Equivalent Energy Speed (EES) a été choisie. Cette dernière représente la variation de la vitesse du véhicule juste après la collision. En se basant sur l'EES un indicateur de sécurité a été développé. Les résultats montrent que la sécurité augmente lorsque le pourcentage des véhicules équipés dans le trafic augmente en termes de la gravité de l'accident. Une présence de 40% de véhicules équipés augmente la sécurité dans le trafic de 40% par rapport à un trafic non équipé. A 100% de véhicules équipés, aucune collision ne se produit dans la file et par suite la sévérité ne peut pas être calculée.

K.3.2 SCENARIOS SANS ACCIDENT

Dans le cas de scénario sans accident, le critère d'évaluation précédent n'est plus exploitable. L'analyse du risque doit par conséquent se faire à l'aide de nouveaux critères. Le « Potential Index for Collision with Urgent Deceleration » (PICUD), proposé par Nobuhiro Uno, est un indicateur fondé sur l'inter-distance (algébrique) finale entre deux véhicules dont le premier aurait freiné avec une décélération maximale et le second aurait freiné après un temps de réaction prédéfini. En se basant sur cet indicateur, le « ModifiedDwell Time »(MDWT) a été développé. Cet indicateur consiste à estimer le temps pendant lequel le PICUD d'un conducteur est négatif. Pour un véhicule automatisé, le MDWT consiste à calculer la durée pendant laquelle la distance critique est inférieure à $v_n T_n$ (où T_n est le temps prédéfini de sécurité en amont du véhicule).

Les résultats montrent qu'étant donnée une capacité de 1100 veh/h, la sécurité dans le trafic augmente de 55% lorsque le pourcentage de véhicule équipé passe de 0% à 50%. Une augmentation de la capacité du trafic de 1900veh/h à 3000veh/h diminue la sécurité de 50% dans le cas d'un trafic sans véhicules automatisés. En revanche, dans le cas d'un trafic automatisé à 50%, la sécurité ne diminue plus que de 30%.

K.4 CONCLUSION

Une étude de la sécurité en fonction du taux de pénétration des véhicules automatisés a été réalisée. Que cela soit dans le cas de scénarios avec accidents ou de scénarios sans accident, les résultats obtenus en simulation montrent que l'accroissement du pourcentage de véhicules automatisés dans le trafic augmente bel bien la sécurité (au sens de l'EES ou du MDWT respectivement).

K.5 BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. Treiber, A.Kesting, D. Helbing, (2005). Delays, inaccuracies and anticipation in microscopic traffic models. *Physical A*, 360 (2006), 17.
- [2] H. Ge, R. Cheng, et Z. Li (2008). Two velocity difference model for a car following theory. *Physical A*, 387, 5239 – 5245.
- [3] B. Mourllion. Extension d'un système de perception embarqué par communication Application à la diminution du risque routier. Université Paris-Sud XI. Faculté des sciences d'Orsay, 2006.
- [4] N. Uno, Yasunori Iida, Shinji Itsubo and Shinji Yasuhara, A microscopic analysis of traffic conflict caused by lane-changing vehicle at weaving section. Department of Civil Engineering, Kyoto University, Japan, (2008).
- [5] A. Kesting, M. Treiber et D. Helbing (2007). General Lane-Changing Model MOBIL for Car-Following Models. *Transportation research record*, 86–94.