

# Rapport de synthèse du projet HYBRISIM

Marc Bordier, Nadia Maïzi, Armines/CMA

24 octobre 2006

## 1 Apport des simulateurs de conduite à la sécurité routière

La sécurité routière est une préoccupation majeure au sein de l'Union Européenne. Elle s'est traduite par la généralisation des systèmes de sécurité passive dans les véhicules et le développement des systèmes d'aide à la conduite qui permettent d'augmenter le confort et la sécurité active du conducteur.

Le développement de ces systèmes d'aide a déjà abouti à des réalisations en série (aide au freinage d'urgence AFU, contrôle de trajectoire ESP, régulateur de vitesse intelligent ACC, etc.) et d'autres sont à l'étude (direction intelligente, drive-by-wire, contrôle latéral, etc.). L'efficacité réelle de ces différents systèmes dépend tout autant de leur fiabilité technologique que de leur adéquation aux tâches de conduite visées.

Aujourd'hui le processus de validation de ces systèmes est réalisé au moyen d'essais statiques en environnement contrôlé (laboratoire) et d'essais réels sur piste ou sur route par des essayeurs experts. De nombreux essais réels sont nécessaires et réclament la construction d'autant de prototypes. Or certains tests sont biaisés par l'expertise des essayeurs ou restent techniquement irréalisables pour des raisons de sécurité.

C'est particulièrement vrai des situations de circulation critiques comme le freinage d'urgence, l'évitement, la survitesse en virage, la variation d'adhérence, la présence d'un obstacle imprévu ou bien des situations de perte de vigilance ou d'attention liées à des pathologies ou des prises médicamenteuses.

Pour que les futurs systèmes d'aide à la conduite contribuent efficacement à la sécurité routière, l'étude du couple véhicule conducteur doit être présente dès les phases de conception et ne doit pas se limiter, comme à l'heure actuelle, à une validation a posteriori sur prototype roulant de série.

Le simulateur de conduite apporte une réponse déjà validée pour son efficacité dans le cadre d'études ergonomiques, d'interfaces véhicule conducteur, de confort. En revanche, son rôle comme outil d'étude du couple véhicule conducteur ou d'étude des systèmes agissant sur le comportement du véhicule a jusqu'ici été limité par les contraintes de restitution des mouvements. Les nouveaux simulateurs en cours de développement devraient permettre de répondre à ces besoins.

Notre travail s'est inscrit dans cette démarche globale d'utilisation des simulateurs de conduite pour le prototypage des futurs systèmes de sécurité et de confort du conducteur. Son but était double :

1. améliorer la performance de restitution inertielle des simulateurs ;
2. approfondir la connaissance du comportement du conducteur dans les situations critiques grâce à l'apport de la modélisation hybride.

## 2 Cadre technique

Si, en situation normale, la conduite est une tâche réalisée principalement sur la base d'indices visuels, la perception et la gestion d'une situation à risque (freinage d'urgence, évitement, survitesse en virage, variation d'adhérence, obstacle imprévu ...) mettent en jeu l'ensemble des indices sensoriels : visuels, haptiques et inertiels. Pendant cette phase, les dynamiques sensorielles sont généralement rapides et la contribution des indices inertiels primordiale. La pertinence des simulations de situations à risque au moyen d'un simulateur de conduite dépend donc en grande partie de la capacité du simulateur à les restituer.

En simulation de conduite, la restitution des indices inertiels se fait à l'aide de plateformes mécaniques (sièges vibrants, plateforme de Gough-Stewart) à base fixe ou mobile. Du fait des limitations mécaniques des plateformes (excursion et dynamique des vérins, espace de travail limité, ...) il n'est pas possible de reproduire à l'identique les accélérations qu'un conducteur perçoit en situation réelle de conduite et un compromis doit être réalisé entre la restitution des indices inertiels et le maintien de la plateforme dans ses limites physiques.

Ce compromis doit être choisi de façon à maintenir une " unité perceptive " du conducteur, c'est-à-dire de façon à réduire autant que possible les conflits sensoriels provoqués par des incohérences temporelles (décalage dans le temps entre les signaux sensoriels perçus par le conducteur) ou par des incohérences spatiales (perception différente des déplacements dans la scène visuelle et dans l'espace de la plateforme). Ces conflits sont considérés comme la cause principale du mal du simulateur (vertiges, osciloscopie, suées, nausées).

Les accélérations physiques du conducteur n'étant pas celles qu'il perçoit (seuils de détection, ambiguïté sensorielle,..) des modèles de perception de son accélération propre doivent être intégrés dans les stratégies de commande des plateformes afin de restituer une sensation d'accélération aussi proche que possible de celle perçue dans le monde réel.

Pour réaliser un tel compromis, diverses stratégies de commande de plateforme ont été proposées. Elles s'articulent autour de trois principes : restitution du mouvement perçu, retour vers la position neutre de la plateforme et "tilt coordination". La stratégie actuellement la plus utilisée restitue l'accélération du véhicule à partir d'une séparation fréquentielle : la partie haute fréquence du mouvement est réalisée par un déplacement de la plateforme intégrant le retour en position neutre tandis que la partie basse fréquence est reproduite par "tilt coordination". D'autres méthodes dites adaptatives se fondent sur la minimisation instantanée de l'erreur de trajectoire tandis que d'autres encore – dites optimales – cherchent à en minimiser l'erreur moyenne.

Ces stratégies partagent cependant les mêmes défauts :

1. elles supposent une dynamique linéaire et découplée par axe de la plateforme ;
2. les contraintes physiques de la plateforme et les contraintes perceptives ne sont pas explicitement prises en compte ;
3. le choix des paramètres de réglage est fait hors ligne pour une situation spécifique de conduite ;
4. elles n'utilisent aucun retour informationnel sur la position de la plateforme.

### 3 Déroulement de l'étude

Dans un premier temps, il a été procédé d'une part à un état de l'art des méthodes hybrides [10] susceptibles de contribuer à la mise en oeuvre de scénarios de conduite et d'autre part à l'identification d'un modèle linéaire d'une des plateformes d'essai de RENAULT devant servir de référence pour la simulation de ces scénarios.

Ce modèle de plateforme reposant sur l'hypothèse d'une dynamique linéaire et découplée par axe s'est avéré totalement insuffisant pour notre propos. En effet, la commande bas niveau des robots parallèles est réalisée par "feedback linéarisant". Théoriquement, la dynamique propre de la plateforme rebouclée par ce feedback, devient linéaire et découplée par axe ce qui permet - toujours théoriquement - de la contrôler en utilisant les techniques de l'automatique classique. En fait, le "couple calculé" réinjecté par le feedback n'est connu qu'approximativement de sorte que l'hypothèse d'une représentation linéaire et découplée par axe de la dynamique du simulateur aux "hautes" fréquences n'est pas vérifiée. La dynamique rebouclée de la plateforme dépend de la position qu'elle occupe (dynamique incertaine [4]) et les axes sont couplés. Il était alors indispensable de procéder à un réajustement du programme prévu pour cette étude en y intégrant la mise au point d'un simulateur dynamique d'une plateforme six axes de type Gough-Stewart prenant en compte les dynamiques et les contraintes des verins [8]. Ce simulateur, complètement paramétrable, permet de tester différentes lois de commande de la plateforme et de leur associer un "indice de performance" mesurant la qualité de la restitution du mouvement [5], [6], [7] et la qualité d'utilisation de l'espace de travail du robot [8].

Parallèlement, à la mise au point d'un simulateur dynamique, une nouvelle approche de la restitution d'indices inertiels reposant sur des techniques de planification des trajectoires (Model based Predictive Control) prenant explicitement en compte les contraintes physiques [1], [2] et perceptives [3] était envisagée. Etant donné un modèle dynamique de la plateforme, à chaque pas de temps, la consigne de commande appliquée au système est la première d'une séquence de contrôles calculée de façon à respecter les contraintes sur l'état et la commande. De plus, les accélérations ne sont restituées que dans la mesure où cette restitution est sécurisée, c'est-à-dire s'il est possible d'arrêter la plateforme dans les limites de son espace de travail constructeur. Cette technique garantit une meilleure utilisation de l'espace de travail constructeur du robot, est moins sensible à l'erreur de modèle (seule la première commande est appliquée) et, par ailleurs, minimise les conflits sensoriels car les contraintes de perception sont intégrées dans le calcul de la commande. En effet, lorsque la plateforme arrive en butée aucun indice sensoriel n'est restitué et un second algorithme de retour en position neutre, indépendant du premier, permet de diminuer les conflits sensoriels. Les résultats obtenus en simulation sont

confirmés lors des essais sur la plateforme ULTIMATE [1], [3].

Une analyse systématique des modèles connus de perception a été réalisée [11], [4]. Elle concerne les capteurs vestibulaires (ototholiques et semi-circulaire), la perception du mouvement propre parvection (immobilité de la scène visuelle alors que l'observateur qui se perçoit alors en mouvement). Ces modèles, au moins pour la partie inertielle, ont été intégrés au simulateur six axes [6], [7].

Enfin, une méthode de prédiction de manoeuvres et plus globalement du comportement du conducteur à base de chaînes de Markov cachée [9] à été abordée mais non encore appliquée faute de mesures. Elle devrait permettre par une meilleure stratégie de retour au point neutre (réduction de la latence) une amélioration de la restitution inertielle.

## 4 Les résultats obtenus

Les résultats obtenus au cours de cette étude ont été le cadre d'un travail de DEA et se sont intégrés dans le contexte de trois thèses. Ils ont été l'objet de rencontres et séminaires entre les partenaires (Renault/CMA/LPPA) et ont fait l'objet des publications suivantes.

## Références

- [1] M. Dagdelen, G. Reymond, A. Kemeny, M. Bordier and N. Maïzi "MPC based Motion Cueing Algorithm : Development and Application to the ULTIMATE Driving Simulator", Proceedings of the DSC Europe Conference, pp 221-233, Paris, September 2004.
- [2] M. Dagdelen, G. Reymond, A. Kemeny, M. Bordier, N. Maïzi, "A predictive motion cueing strategy for vehicle driving simulators", submitted to IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2005.
- [3] M. Dagdelen, "Restitution des stimuli inertiels en simulation de conduite", thèse de doctorat de l'Ecole des Mines de Paris spécialité Automatique et Informatique Temps Réel, soutenue le 19 Septembre 2005.
- [4] H. Elloumi, M. Bordier and N. Maïzi, "An encompassing formalization of robust computed torque schemes of robot systems", Proceedings of IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conferene, December 2005, Sevilla, Spain.
- [5] H. Elloumi, M. Bordier and N. Maïzi "An optimal control scheme for a driving simulator", Proceedings of ICINCO 2005, International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, September, 2005, Barcelona, Spain.
- [6] H. Elloumi, M. Bordier and N. Maïzi "Integrated model-based control with human perception models in driving simulation", Proceedings of IMACS05, Calcul Scientifique, Mathématiques Appliquées et Simulation, July, 2005, Paris.
- [7] H. Elloumi, M. Bordier and N. Maïzi "Integrated Model-Based Control With Human Perception Models In Driving Simulation", submitted to Matcom Journal, 2006.
- [8] H. Elloumi, "Commande des plateformes avancées de simulation de conduite", thèse de doctorat de l'Ecole des Mines de Paris spécialité Automatique et Informatique Temps Réel, soutenue le 12 Octobre 2006.

- [9] J. Neering, H. Elloumi, L. Daniel, "On Possibilities of Driver Behavior Prediction for Driving Simulator Control" DSC European Conference, Paris, October 2006.
- [10] Etat de l'art sur la modélisation, l'analyse et la commande des systèmes hybrides, Rapport PREDIT/Hybrisim, Février 2004.
- [11] F. Bohoua-Nassé, "Compréhension et modélisation du comportement conducteur et de sa perception", Rapport DEA mathématiques, vision et apprentissage, Juin 2004.