

*Équipe Imara*

*Informatique, Mathématiques et  
Automatique pour la Route Automatisée*

*Rocquencourt*

THÈME 4A

*R* *apport*  
*d'Activité*

2002



# Table des matières

<b>1. Composition de l'équipe</b>	<b>1</b>
<b>2. Présentation et objectifs généraux</b>	<b>2</b>
<b>3. Fondements scientifiques</b>	<b>2</b>
3.1. Introduction	2
3.2. Les capteurs et le traitement de l'information	2
3.3. Le contrôle-commande	3
3.4. La gestion système	3
3.5. Les communications	4
3.6. Les outils de programmation et de certification	4
3.7. Ergonomie, Interaction Homme-Machine	4
<b>4. Domaines d'application</b>	<b>5</b>
<b>5. Logiciels</b>	<b>6</b>
<b>7. Contrats industriels</b>	<b>6</b>
<b>9. Diffusion des résultats</b>	<b>6</b>
<b>10. Bibliographie</b>	<b>7</b>



# 1. Composition de l'équipe

*Le projet IMARA a été lancée début 2001 pour faire suite à le projet de développement Praxitèle qui s'était étalée de 1993 à 1999 et qui avait vu des développements scientifiques et techniques intéressants sur les véhicules automatiques et sur les assistances à la conduite. Ces développements avaient en particulier été à l'origine d'un contrat signé avec Yamaha Europe signé en 1999 sur l'expérimentation sur le site de Rocquencourt d'une flotte de véhicules automatiques. En complément de ce contrat, un financement SESAME (région Ile de France) a été obtenu par L'UR de Rocquencourt pour l'acquisition de véhicules et de matériels permettant de faire des recherches sur le thème de la conduite automatisée. L'année 2000 avait aussi vu l'élaboration d'une importante proposition, coordonnée par l'Inria, pour un projet de recherche européen sur le même thème : le projet CyberCars, proposé en Octobre 2000 à l'appel d'offre IST (action clé « City of Tomorrow »). Ces contrats, associés avec l'existence d'un acquis important en terme de savoir-faire, de logiciels, de brevets, d'image sur le plan international ont été à l'origine de la demande par le directeur de l'UR de Rocquencourt, de la création d'un nouveau projet sur le thème de l'introduction des STICS dans le domaine du transport routier. La création de cette action résulte du désir de voir se former une équipe scientifique plus pérenne que celle d'une action de développement et plus centrée sur l'UR de Rocquencourt, bien qu'il ait été acquis depuis le départ que des liens étroits continueraient à exister avec d'autres projets, aussi bien sur Rocquencourt que sur d'autres UR comme par le passé. Accès World-Wide Web : <http://www-rocq.inria.fr/imara>*

## **Responsable scientifique**

Michel Parent [Ingénieur Expert, INRIA]

## **Assistante de projet**

Chantal Chazelas [SAR-E, à temps complet dans le projet]

## **Personnel Inria**

André Ducrot [DR, à temps complet dans le projet]

Georges Ouanounou [IR, à temps complet dans le projet]

Jean-Marc Delâtre [IE, en congé longue maladie]

## **Ingénieurs experts**

Mikaël Kaïs

Ederm Ollivier

Georges Gyory

Tony Noël

Angel Talamona

Cyril Furthlener (chez MEVAL)

## **Ingénieur associé**

Yannick Bedhomme

## **Chercheurs doctorants**

Philippe Barriol [boursier INRIA, Paris Dauphine, jusqu'au 31/12/02]

Hélène Tirmant [boursière MENRT, Université de Lille]

Sébastien Chalmes [boursier MENRT, Université Paris (chez EIFFEL), jusqu'au 30/04/02]

Amine Bouzama [boursier MENRT, chez FRACTALES]

Anjali Awashti [boursière INRIA, encadrée par J-M. Proth]

## **Chercheur post-doctorant**

Michael Baloh

## **Chercheurs invités**

Mansour Karbkoub [Univ. Koweït]

Plamen Petrov [Univ. Montréal]

### Stagiaires

Adrien Gualino [DEA Versailles]  
Samra Benabid [DEA ENSMP]  
Thomas Batac  
Christophe Boussion  
Elina Kamenetskaya [MIT]  
Céline Seneray [Maîtrise La Rochelle]  
Gerald Tan Hai Ki [NTU Singapour]  
Ling Mei Ng [NTU Singapour]  
Matthieu Gueguen [apprenti Dauphine]  
Valentin Arboux [apprenti ESTE]  
Catherine Aubry [Créapole]  
Alexandre Bache [Créapole]  
Etienne Melaerts [ISD]

## 2. Présentation et objectifs généraux

**Mots clés :** *véhicules routiers, conduite automatique, transport collectif individuel, véhicules électriques, route intelligente, robotique mobile.*

Le projet de développement IMARA vise à étudier, développer et tester un ensemble de briques technologiques pour l'assistance et l'automatisation des fonctions de conduite des véhicules routiers. Les briques technologiques sont celles issues des STICs et en particulier des travaux issus d'autres équipes de l'Inria. En ce sens, le projet IMARA est un projet d'intégration qui offre aux autres projets de l'INRIA les possibilités de tester leurs concepts sur des plateformes proches de la réalité.

L'objectif de ces technologies est de déboucher sur des progrès significatifs à la fois au niveau sécuritaire et au niveau de la qualité de service, tant pour des véhicules traditionnels (véhicules privés ou poids lourds), que pour de nouveaux types de véhicules adaptés à des transports spécifiques. Dans ce projet seront aussi conduites des études de systèmes intégrant ces technologies pour évaluer leur impact et leur pertinence.

En particulier, dans la suite du projet Praxitèle, le projet IMARA visera à développer et à expérimenter un moyen de transport public individuel automatisé (VALSE : Véhicules Automatiques en Libre-Service et Electriques) et fonctionnant sur une infrastructure routière traditionnelle (éventuellement réservée à ce type de véhicules).

En ce qui concerne les véhicules routiers traditionnels, l'approche sera progressive de façon à impliquer des partenaires industriels dès le début du programme sur des aides à la conduite (information ou assistance) mais l'objectif à long terme (de 15 à 30 ans) est bien l'automatisation totale du véhicule, au moins sur une partie de son trajet.

## 3. Fondements scientifiques

### 3.1. Introduction

La thématique de IMARA fait largement appel à des thématiques déjà développées dans d'autres projets, ce qui explique les coopérations nombreuses avec ces divers projets de Rocquencourt ou d'autres UR. L'idée directrice est de s'intéresser au domaine applicatif des transports routiers pour innover par l'introduction des STICs, et en particulier d'utiliser ou de susciter des recherches sur les thèmes suivants :

### 3.2. Les capteurs et le traitement de l'information

Si les informations proprioceptives à bord des véhicules sont déjà bien maîtrisées (vitesses et accélérations linéaires ou angulaires, état des sous-systèmes), il n'en est pas de même pour les informations extéroceptives

qui concernent l'environnement du véhicule. Malgré les progrès des systèmes de vision et des radars ou lidars, la perception de l'environnement du véhicule et son positionnement sur l'infrastructure sont encore des problèmes qui n'ont pas de solution suffisamment fiables. Des progrès substantiels sont attendus tant sur les capteurs eux-mêmes que sur les traitements de l'information et en particulier sur la fusion multi-capteurs afin de sécuriser la détection ou la mesure.

Les informations qui semblent nécessaires pour la sécurisation, voire l'automatisation de la conduite sont de trois sortes :

la localisation précise par rapport à l'infrastructure, par exemple le positionnement latéral sur la voirie qui peut être obtenu par vision du marquage horizontal ou par balises magnétiques ou encore par des balises optiques ou radar,

la localisation des véhicules avoisinants et la perception de leurs comportements qui peuvent être abordés par des radars, lidars ou traitement optique,

la détection d'obstacles autres que des véhicules : piétons, animaux, objets sur la route, etc. qui nécessitent encore des capteurs tels que ultrasons, radars, lidars ou caméras et un traitement associé.

L'INRIA, du fait de sa forte expertise en traitement d'image, se concentrera sur les techniques de vision, en particulier en vision stéréoscopique, en partenariat avec le MIT et l'ENSMP.

Projets impliqués : Sharp, Icare, Fractales

### 3.3. Le contrôle-commande

En fonction des consignes de comportement imposées par le conducteur ou par un automatisme de pilotage, il s'agit de développer les lois de commande qui permettent d'exécuter au mieux les consignes en jouant sur les divers organes physiques de la voiture et en reboulant les informations proprioceptives et extéroceptives. Ainsi on peut envisager qu'une consigne de rotation puisse jouer à la fois sur l'angle de braquage des roues (éventuellement de façon indépendante sur chaque roue grâce au véhicule expérimental LA2), mais aussi sur la puissance et/ou le freinage sur chacune des roues du véhicule. On obtiendrait ainsi un comportement bien plus sûr en virage pour une vitesse et un état de la route donnés.

Le contrôle-commande est d'autre part essentiel pour la conduite assistée (contrôle-croisière, freinage anti-collision) et pour la conduite automatique. La grande difficulté de ces types de contrôle-commande vient de la forte non-linéarité des réponses des différents organes et en particulier de la complexité du comportement des pneumatiques sur des sols variés.

Ces problèmes de contrôle-commande sont l'une des grandes spécialités de l'INRIA et IMARA a déjà trouvé des solutions pour la conduite de véhicules électriques en train. Ces recherches seront poursuivies en recherchant des performances plus importantes en vitesse et en conditions de contact sol-roues. Les problèmes de contrôle en latéral seront aussi abordés, en particulier pour l'assistance à la conduite.

L'étude de ces problèmes se fera sur les véhicules électriques de l'INRIA mais aussi sur des véhicules thermiques pour se rapprocher des véhicules routiers actuels et également sur des simulateurs de comportement dynamique multi-véhicules.

Les problèmes de contrôle-commande peuvent aussi s'étendre aux problèmes de génération de trajectoire, problèmes sur lesquels l'INRIA a développé une forte compétence théorique. Ces problèmes concernent par exemple l'évitement des obstacles ou la génération de trajectoires complexes dans des environnements contraints (e.g. le problème du parking).

Projets impliqués : Sosso, Icare, Sharp

### 3.4. La gestion système

L'un des grands défis de l'industrie automobile dans les années qui viennent est la bonne utilisation des ressources dans un contexte de saturation des infrastructures du à un usage de plus en plus exclusif de la voiture, en particulier en environnement urbain.

Les recherches doivent donc porter sur une optimisation de l'utilisation de ces ressources en jouant sur des paramètres tels que le péage, la tarification des parkings, l'information aux usagers et l'accès aux modes complémentaires.

Les problèmes à traiter concernent pour la route automatisée essentiellement le dimensionnement des infrastructures et la gestion de ces infrastructures. Le dimensionnement peut être abordé par des techniques de modélisation stochastique au niveau microscopique ou plus traditionnellement par des techniques de type recherche opérationnelle. IMARA a déjà utilisé avec succès ces techniques pour le programme Praxitèle et compte les développer dans le cadre de la route automatisée pour fournir des outils qui permettront de justifier les investissements ou dus invalider.

La gestion temps réel des infrastructures est aussi un problème d'optimisation des ressources mais qui est dynamique. Il s'agit de contrôler les accès pour éviter des phénomènes de saturation qui pourraient faire chuter les performances du système. Des études devraient être conduites sur des cas réels, comme par exemple une rocade en région parisienne.

Projets concernés : Meval, Metalo.

### 3.5. Les communications

Il est certain que les communications vont jouer un rôle essentiel dans les transports terrestres dans un futur très proche et ceci est encore plus vrai pour la route automatisée. Les communications sont en effet vraisemblablement indispensables entre les véhicules proches et entre chaque véhicule et l'infrastructure.

Les moyens traditionnels de communication qui sont essentiellement en mode point à point ou en mode diffusion, ne semblent pas les mieux adaptés à la route automatisée. Il semblerait que des modes en réseaux hiérarchisés, comme il en existe pour l'informatique, seraient mieux adaptés au problème. L'INRIA a commencé à travailler sur des réseaux de type ethernet radio et avec des mobiles c'est à dire avec un routage dynamique.

Projet concerné : Hipercom

### 3.6. Les outils de programmation et de certification

L'informatique va jouer un rôle essentiel et critique au niveau de la sécurité des véhicules automatisés ou même simplement sécurisés. Il est donc primordial que les défaillances matérielles ou logicielles soient minimisées au niveau durs conséquences.

Pour cela, il est devenu indispensable de mettre en œuvre de nouvelles techniques de programmation et de certification. Ces travaux sont déjà largement engagés à l'INRIA et à l'Ecole des Mines (Langage ESTEREL et SynDEx) mais le contexte de la route automatisée est encore plus critique que bien des applications que nous essayons d'aborder.

IMARA propose donc de continuer le développement de ses outils de programmation et de certification ORCCAD et SynDEx dans ce contexte automobile c'est à dire dans un environnement très distribué et nécessairement redondant.

Projets concernés : Sosso, Sharp, Icare

### 3.7. Ergonomie, Interaction Homme-Machine

Les systèmes d'aide à la conduite ainsi que les dispositifs de conduite automatisée vont sans doute changer profondément l'interaction entre le conducteur (ou le passager si celui-ci ne conduit plus) et le véhicule. Comme la population concernée ne sera pas formée pour cela, il est impératif que les interfaces soient d'une grande simplicité et ne puissent pas être interprétées de façon incorrecte. La sécurité du système en dépend.

Il sera en particulier important d'étudier les effets pervers d'une utilisation détournée des systèmes envisagés et bien comprendre l'image mentale que se feront les usagers du système, y compris dans ses modes dégradés.

Projet concerné : Eiffel

## 4. Domaines d'application

Les problèmes liés à l'utilisation abusive de la voiture individuelle dans les grandes villes ont conduit les populations et les responsables politiques à favoriser le développement des transports publics. Une demande existe pour un transport de personnes et de marchandises qui associe qualité du service, protection de l'environnement et accès au plus grand nombre. C'est ainsi que le tramway et les métros légers de type VAL récemment introduits dans plusieurs villes en France ont conquis les populations, malgré des coûts d'investissement élevés.

Cependant, ces modes de transport en commun ne sont envisageables que sur des lignes sur lesquelles il existe une forte demande. Dès qu'on s'éloigne de ces lignes de désir ou qu'on s'écarte des horaires de pointe, ces modes deviennent chers et l'offre ne peut donc qu'être limitée dans l'espace et dans le temps.

Pour arriver à une offre plus flexible, il faut nécessairement envisager des modes plus individuels qui se rapprochent de la voiture telle que nous la connaissons. Cependant, si on veut bénéficier des avantages de la voiture individuelle sans en subir les inconvénients, il faut essayer de répondre à plusieurs critères :

- rendre son usage accessible en tout lieu et à toute heure au plus grand nombre,
- diminuer les pollutions atmosphérique, sonore et des sols,
- réduire l'espace occupé au sol,
- éliminer les accidents,
- minimiser son coût d'usage,
- contrôler et guider son usage.

Les véhicules électriques ou à gaz en libre-service comme dans le système Praxitèle apportent un début de réponse à ces critères. Pour pouvoir encore mieux répondre aux besoins, il faut cependant revoir la conception des véhicules sur les points suivants :

- faciliter les déplacements à vide afin de rendre disponibles en tout lieu,
- améliorer les débits sur une infrastructure donnée,
- revoir les modes de conduite pour les rendre accessibles à un plus grand nombre (adolescents, personnes âgées, handicapés, ...) et plus sûrs,
- rendre le véhicule plus pratique pour des déplacements urbains,
- introduire des systèmes d'information à bord et au sol pour guider l'utilisateur.

Les véhicules privés et les véhicules de transport de marchandises peuvent aussi bénéficier de ces technologies et de ces infrastructures. On arriverait ainsi à améliorer la sécurité et la facilité d'emploi des véhicules privés sans toutefois conduire à des effets indésirables au niveau collectif.

Les technologies de l'informatique et de l'automatique permettent maintenant d'envisager à relativement court terme le développement de tels véhicules et des infrastructures adaptées. C'est le but de IMARA d'utiliser ces technologies sur des plates-formes expérimentales (véhicules et infrastructures) pour accélérer le transfert technologiques et innover dans ce domaine.

IMARA a innové encore une fois cette année avec des recherches sur un nouveau type de véhicule à conduite soit manuelle (au joystick ou par déplacement du corps), soit automatique. Il s'agit d'un véhicule à 2 places avec seulement 2 roues (placés latéralement). Ce véhicule est naturellement instable mais il peut être stabilisé par des capteurs (gyromètres) et un contrôle-commande de type classique ou flou. Une maquette de faisabilité à échelle un est maintenant opérationnelle. Ce concept permet de faire un véhicule à très bas coût, de très faible encombrement, à très grande mobilité (rotation autour de n'importe quel point de l'axe des roues) et pouvant être facilement automatisé. Des discussions sont en cours avec des industriels pour en faire un projet de grande envergure.

## 5. Logiciels

IMARA se focalise sur le développement de plusieurs types de logiciels :

- les outils d'aide à la conception de système : simulation, modèles mathématiques,
- les outils de programmation : programmation temps-réel, certification,...
- les logiciels embarqués : traitement d'image, localisation précise, contrôle-commande, communications,...

Tous ces logiciels seront expérimentés sur les véhicules et les systèmes qui seront évalués dans le cadre du projet.

## 7. Contrats industriels

Le programme de travail de IMARA est essentiellement conditionné par les nombreux contrats qui ont été obtenus ces deux dernières années. Ces contrats sont les suivants :

CARSENSE (01/99-12/02). Dans ce projet européen, l'Inria est chargé des développements sur la vision et la fusion de données. IMARA assure la coopération avec SHARP et VISTA et fait ses propres recherches sur la vision stéréoscopique. L'année 2002 a vu la poursuite d'une coopération étroite avec le MIT avec l'envoi d'une personne de l'équipe pendant 4 mois. Une collaboration avec FRACTALES s'est concrétisée avec le financement d'un doctorant travaillant sur une approche originale en utilisant les techniques évolutionnaires (« algorithme des mouches ») pour la vision stéréoscopique.

YAMAHA (04/99-12/01). Ce contrat avec Yamaha est maintenant terminé mais la coopération avec eux continue avec des nouveaux développements sur l'architecture de commande des véhicules et l'utilisation de SynDEX.

STARDUST (03/01-02/04). Ce projet européen (Growth), vise à évaluer l'impact des diverses technologies des véhicules intelligents sur les villes. IMARA est impliqué sur l'analyse des techniques existantes et sur les scénarios qui peuvent être analysés.

CYBERCARS (08/01-07/04). Ce gros projet européen a mobilisé une grande partie des ressources de IMARA tant pour la négociation du contrat que pour son lancement en Août 2001. IMARA est coordinateur de ce projet qui porte sur l'amélioration des technologies nécessaires pour les véhicules routiers automatiques baptisés depuis, cybercars. Plusieurs projets de l'Inria sont impliqués sous la direction de IMARA.

CYBERMOVE (12/01-11/04). Ce projet est complémentaire de CyberCars et concerne les expérimentations dans les villes. IMARA est impliqué en coopération étroite avec le projet de développement VISA monté spécifiquement pour ces deux projets à Sophia.

ARCOS (12/01-11/04). Cette action de recherche concertée au niveau français a été montée par le LIVIC (laboratoire commun INRETS-LCPC sur les aides à la conduite) et IMARA assure la coordination et certaines des recherches au niveau de l'Inria.

B2. Il s'agit du véhicule à 2 roues dont les travaux ont commencé en 2002 mais qui ne fait pas l'objet de contrat pour le moment.

## 9. Diffusion des résultats

En 2002, le projet IMARA a continué à participer à de nombreuses manifestations, en particulier en mettant en avant les véhicules CyCab et les véhicules Yamaha qui sont devenus en peu de temps les exemples type du « véhicule du futur ». Ceci nous a conduit à être présents dans une demi-douzaine d'émissions de télévision, et d'être l'une des démonstrations phares de la conférence Intelligent Véhicules organisée cette année par IMARA sur Versailles (après Detroit et Tokyo).

L'année 2002 a vu la croissance du site Internet de IMARA qui est l'un des sites les plus consultés sur le thème des véhicules intelligents. Il est à l'heure actuelle référencé par de très nombreux sites à travers le

monde. Ce site permet à IMARA et à ses partenaires dans les projets de l'INRIA, de diffuser largement leurs travaux et leurs idées. C'est aussi un excellent moyen de se faire connaître par les organismes qui recherchent des partenaires pour monter des projets.

Les travaux de IMARA ont aussi été présentés au cours de l'année 2002 dans les principaux congrès scientifiques internationaux sur les transports intelligents (Transportation Research Board, Intelligent Transportation Systems, Intelligent Vehicles, Electric Vehicle Symposium,...). Michel Parent a été invité à plusieurs reprises pour faire des conférences dans des séminaires ou dans des colloques (dont plusieurs « keynotes »).

En 2002, IMARA a été l'organisateur de la conférence annuelle « Intelligent Vehicles » qui s'est donc tenue à Versailles en Juin après Detroit et Tokyo. Cette conférence très spécialisée attire tous les ans les meilleurs spécialistes mondiaux tant de la recherche publique ou universitaire que de la recherche industrielle. Plus de 250 personnes d'une vingtaine de pays ont assisté cette année ce qui est la plus grosse participation jusqu'à maintenant. Pendant et après la conférence, des démonstrations sur pistes ont été organisées en coopération avec le LIVIC (INRETS/LCPC) à Satory. Ces démonstrations ont eu un grand succès et ont attiré la presse et la télévision et plus de 500 visiteurs spécialisés.

## 10. Bibliographie

### Bibliographie de référence

[1] M. KAÏS, N. HAFEZ, M. PARENT. *An Intelligent Vehicle Architecture for Automated Transportation in Cities*. Porto, September, 2001.

[2] J. LANGHEIM. *Carsense - New Environment Sensing for Advanced Driver Assistance Systems*. Sydney, October, 2001.

### Communications à des congrès, colloques, etc.

[3] J. LANGHEIM, A. J. BUCHANAN, V. WILHOEFT, G. GYORY. *CARSENSE - Sensor Fusion for DAS*. Chicago, October, 2002.

[4] M. McDONALD, A. HENRY, S. ESPIÉ, M. PARENT, T. VAA. *Stardust - A Research on Deployment of Urban Sustainable Transport Systems*. Chicago, October, 2002.

[5] E. OLLIVIER, M. PARENT. *Odometric Navigation with Matching of Landscape Features*. Singapore, December, 2002.

[6] M. PARENT, G. GALLAIS. *Intelligent Transportation in Cities with CTS*. Chicago, October, 2002.

[7] M. PARENT, G. GALLAIS. *Intelligent Transportation in Cities with CTS*. Singapore, September, 2002.

[8] C. PRADALIER, S. SEKHAVAT. *Concurrent Matching, Localization and Map Building Using Invariant Features*. Lausanne, September 30 - October 4, 2002.

[9] H. TIRMANT, M. BALOH, L. V. T.-M. GUERRA, M. PARENT. *Etude, Modélisation et Commande d'un Véhicule à Deux Roues : le B2*. Nantes, 2-10 Juillet, 2002.

- [10] H. TIRMANT, M. BALOH, L. VERMEIREN, T.-M. GUERRA, M. PARENT. *B2, An Alternative Two-Wheeled Vehicle for an Automated Urban Transportation System*. Versailles, 18-20 Juin, 2002.
- [11] H. TIRMANT, L. VERMEIREN, T.-M. GUERRA, M. PARENT. *Modèle Flou et Stabilisation d'un Véhicule à Deux Roues*. Montpellier, 21-22 Octobre, 2002.
- [12] H. TIRMANT, L. VERMEIREN, T.-M. GUERRA, M. PARENT. *Stabilization of a Two-Wheeled Vehicle*. Versailles, Juin, 2002.

### **Rapports de recherche et publications internes**

- [13] C. BOUSSION. *Les Systèmes GPS*. 2001-2002.
- [14] B. D. L. FOREST. *Installation Electrique de l'AGV*. 2002.
- [15] A. GUALINO. *Etude d'un Système de Transport Bimodal*. 2002.
- [16] E. KAMENETSKAYA. *Navigation System with GPS and Gyrometry*. 2002.
- [17] C. SÈNERAY. *Path Planning - Détection d'Obstacle et Evitement de Collision*. 2002.