

# Outils pour la conduite automatique

## *TIC et mobilité*

*Séminaire In'Tech Sophia — Antibes 10 juin 2004*

*Thierry Fraichard*

*Inria Rhône-Alpes & Laboratoire Gravir*

# eMotion

- ✓ Inria Rhône-Alpes & Laboratoire Gravir, Montbonnot
- ✓ Thématique: **géométrie et probabilité pour le mouvement et l'action**

- ✓ Objectif:

Développer des **modèles** et des **méthodes algorithmiques** pour des **systèmes artificiels** dotés de capacités de perception, de décision, et d'action capables de fonctionner dans des **environnements ouverts** (*ie* partiellement connus), **à forte dynamicité** (*ie* où le temps et la dynamique jouent un rôle essentiel), et conduisant à des **interactions variées avec l'homme**

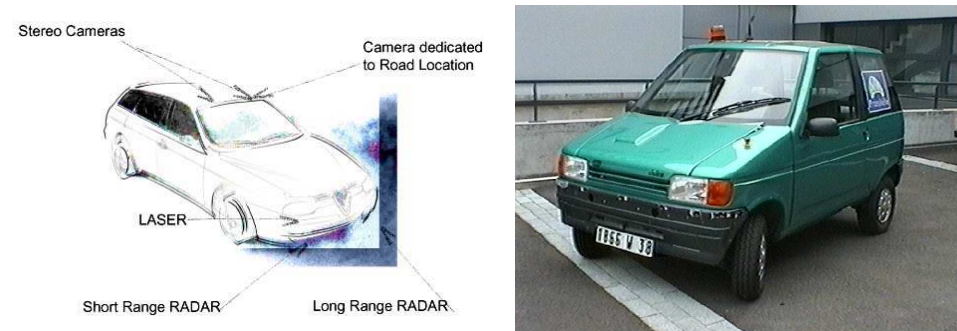
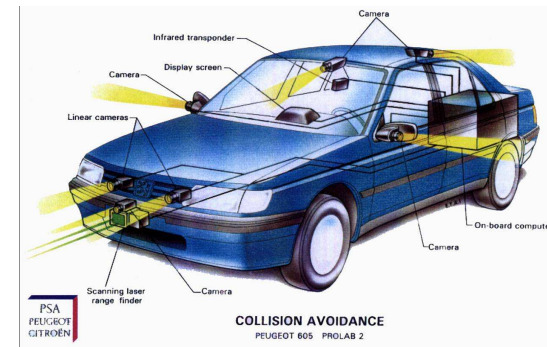
- ✓ Axes de recherche:

- ★ Modélisation multi-modale et incrémentale de l'espace et du mouvement
- ★ Planification de mouvements dans le monde physique
- ★ Inférence probabiliste pour la décision

# eMotion et le “transport intelligent”

Sharp [1987-2003], eMotion [2004[

- ✓ Eurêka Prometheus [1987-1994]
- ✓ Praxitèle [1993-1997]
- ✓ La Route Automatisée [1998-2001]
- ✓ IST Carsense [2000-2002]
- ✓ IST Cybercars [2001-2004]
- ✓ Robea Parknav [2002-2005]
- ✓ Eucar Prevent [2004-2007]
- ✓ Predit Mobivip [2004-2006]
- ✓ Predit Puvame [2004-2006]
- ✓ ...



# Cybercar

- ✓ Nouveau mode de transport, alternative à la **voiture particulière**
- ✓ Concept clé:  
*Transport public individuel*
- ✓ Une voiture, plusieurs utilisateurs  $\rightsquigarrow$  **voiture collective**
- ✓ Complément du Transport public de masse
- ✓ Cybercar:  
“**Car Sharing**” + **automatisation**

# Car Sharing

- ✓ Flotte de véhicules à usage particulier en libre service (1-6 pers.)
- ✓ Prise et dépôt de véhicules dans des stations
- ✓ Service à la demande 24h/24

eg Praxitèle (St Quentin en Yvelines, 97), Liselec (La Rochelle, 99), Crayon (JP, 99), IntelliShare (JP-US, 99), CityCar, (CH, 02)...



# Car Sharing & automatisatisation

## ✓ Pourquoi?

- ★ Redistribution des véhicules
- ★ Prise et dépôt de véhicules n'importe où
- ★ Accessibilité à tous les usagers
- ★ ...

## ✓ Développement **incrémental**

- ★ **Conduite en convoi** (Praxitèle, 1997)
- ★ **Conduite automatique sur sites protégés** (ParkShuttle, 1997)
- ★ **Conduite automatique en zone piétonne** (ParkShuttle II, Serpentine, CyberCab...)
- ★ **Conduite automatique en zone "calme"**
- ★ **Conduite automatique en zone urbaine**
- ★ ...

# Contexte Cybercar

- ✓ Système
  - ★ Véhicule à roues
  - ★ Perception embarquée (proprioception, extéroception)
- ✓ Environnement
  - ★ Connaissances a priori: carte
  - ★ Objets mobiles (piéton, autres véhicules...)
  - ★ Ouvert, partiellement connu
  - ★ Perception “débarquée”
- ✓ Incertitude
  - ★ Perception
  - ★ Action
  - ★ Carte imprécise & incomplète
  - ★ Comportement futur des objets mobiles inconnu

# Outils pour la conduite automatique

- ✓ Contexte “zone calme”
  - ★ Véhicule: vitesse lente
  - ★ Environnement: faible dynamicité

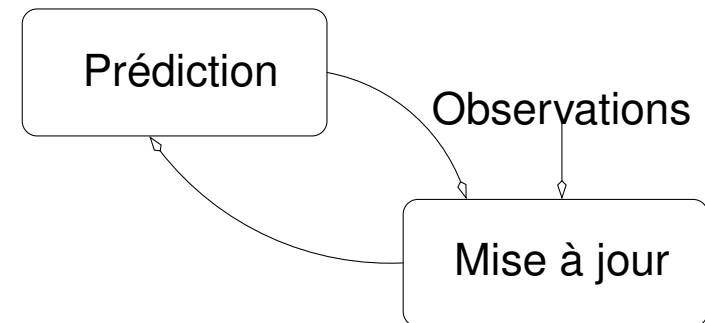
## Conduite automatique en environnement statique Evitement réactif d'obstacles

- ✓ Perception
  - ★ Localisation du véhicule
  - ★ Modélisation de l'environnement
- ✓ Décision
  - ★ Planification de mouvement
- ✓ Action
  - ★ Navigation

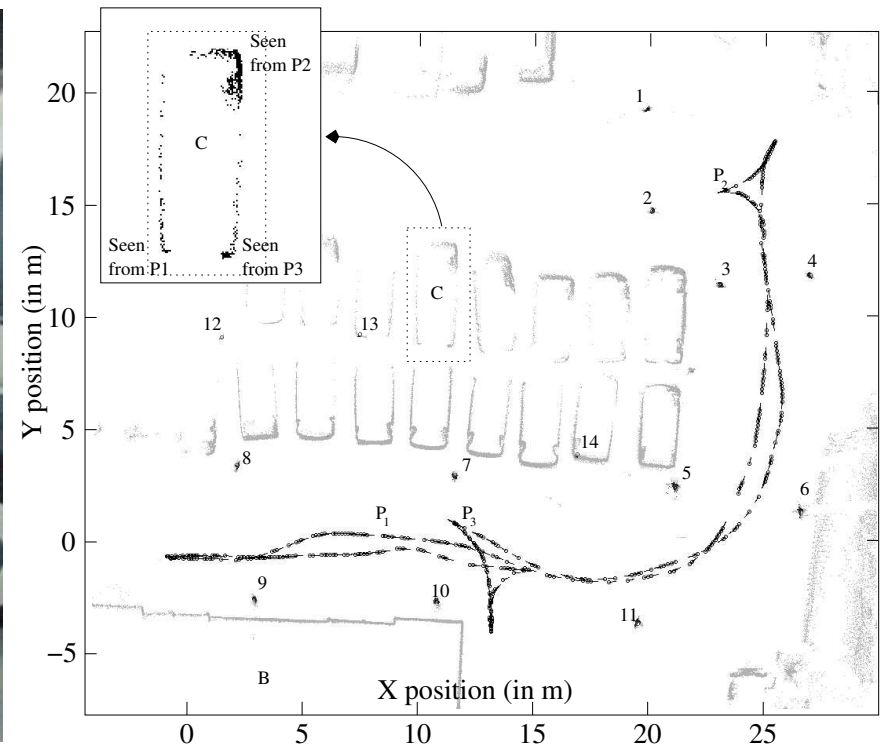
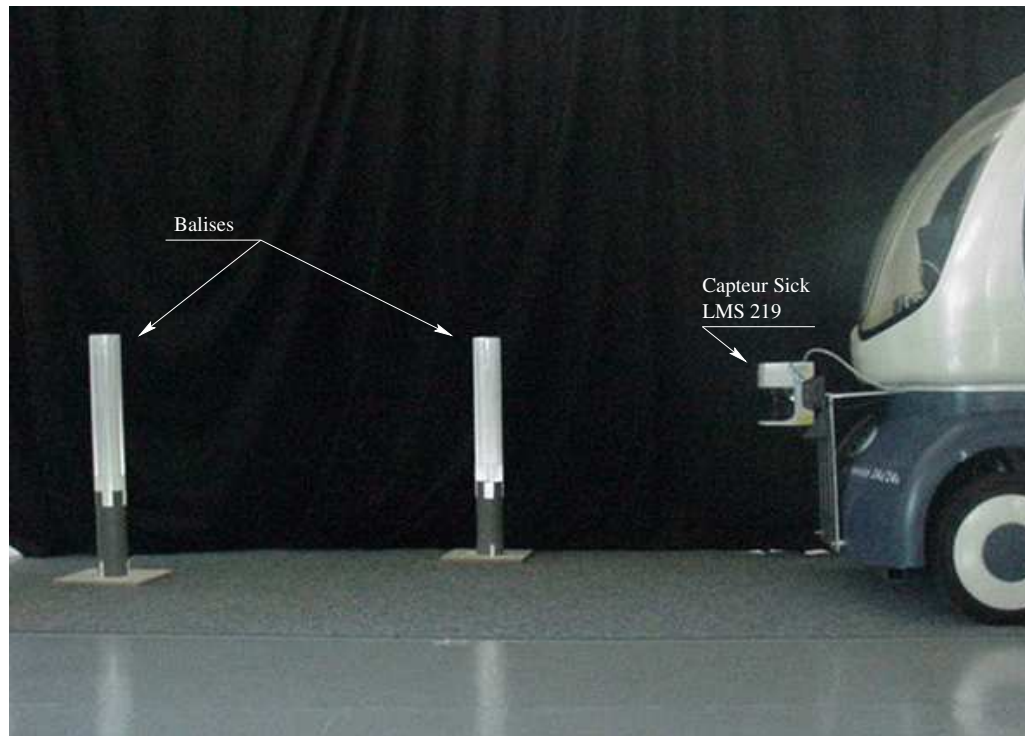


# Localisation & modélisation

- ✓ Perception
  - ★ **Proprioception**: odométrie, centrale inertielle
  - ★ **Extéroception**: “bumper” tactile, proximètre, capteur ultra-sonore, radar, télémètre laser, vision. . .
  - ★ **Embarquée** ou “débarquée”
- ✓ Localisation
  - ★ **Dérive proprioceptive** ⇒ localisation / **amers** de l’environnement
  - ★ Amers **artificiels** ou **naturels**
  - ★ Localisation **relative** ou **absolue**
- ✓ Connaissances a priori: **cartes**
- ✓ Capteurs multiples: **fusion de données**
- ✓ Approche générale: **filtre bayésien**  
(synchronisation, association, fusion)



# Localisation & modélisation

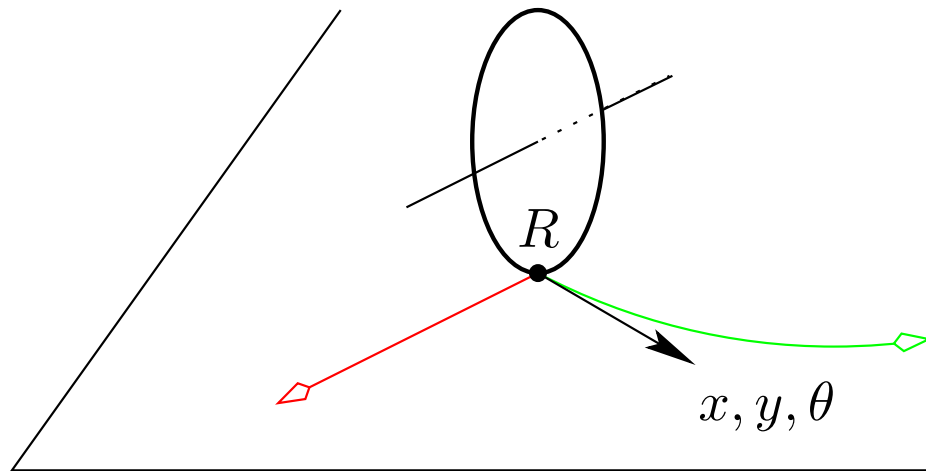


- ✓ Amers artificiels, localisation relative/absolue [Pradalier et al, 02]
- ✓ Travaux en cours: amers naturels, couplage avec vision débarquée

# Planification de mouvement

- ✓ Calcul **préalable** du mouvement à accomplir entre état courant et état désiré
  - ★ Modèle du système
  - ★ Modèle de l'environnement
  
- ✓ Problème de base: **planification de chemin**
  - ★ Système "libre de ses mouvements"
  - ★ Environnement statique
  
- ✓ Extensions:
  - ★ Contraintes cinématiques, **non holonomie**
  - ★ Contraintes dynamiques, **objets mobiles**
  - ★ ...

# Contraintes cinématiques: roue

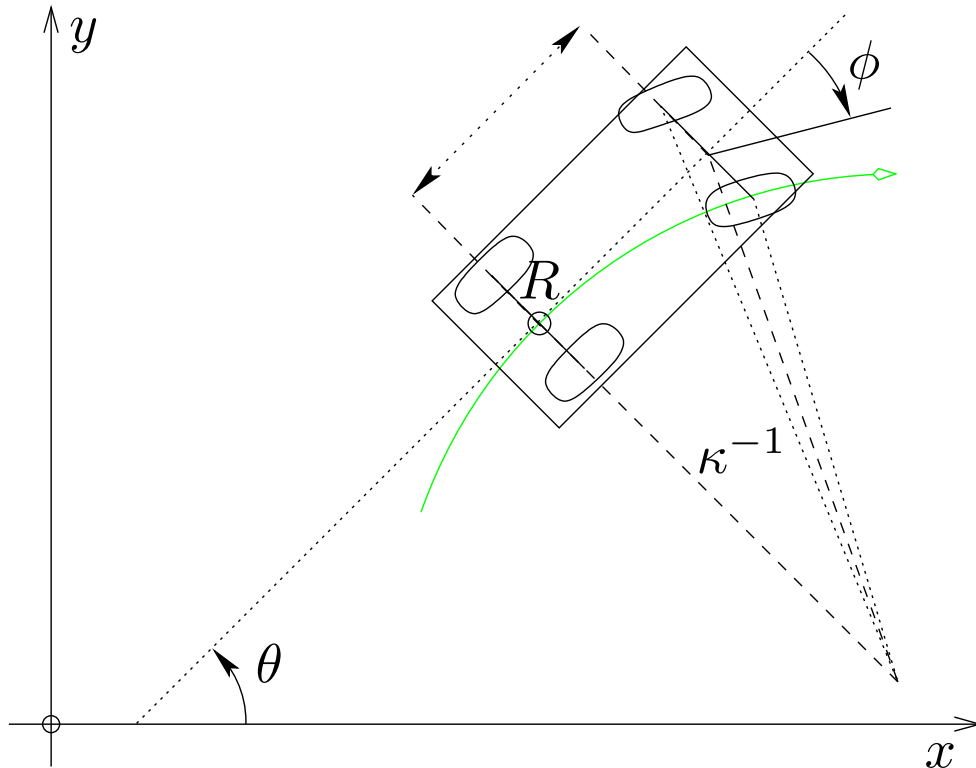


Problème de la **non holonomie**

- ✓ Roulement sans glissement de  $R$
- ✓  $\dot{x} \sin \theta - \dot{y} \cos \theta = 0$  (1)
- ✓ Le chemin planifié doit respecter cette contrainte

- ✓ Chemin: séquence continue de  $(x, y, \theta)$
- ✓ Chemin: courbe du plan  $xy$  vérifiant (1)

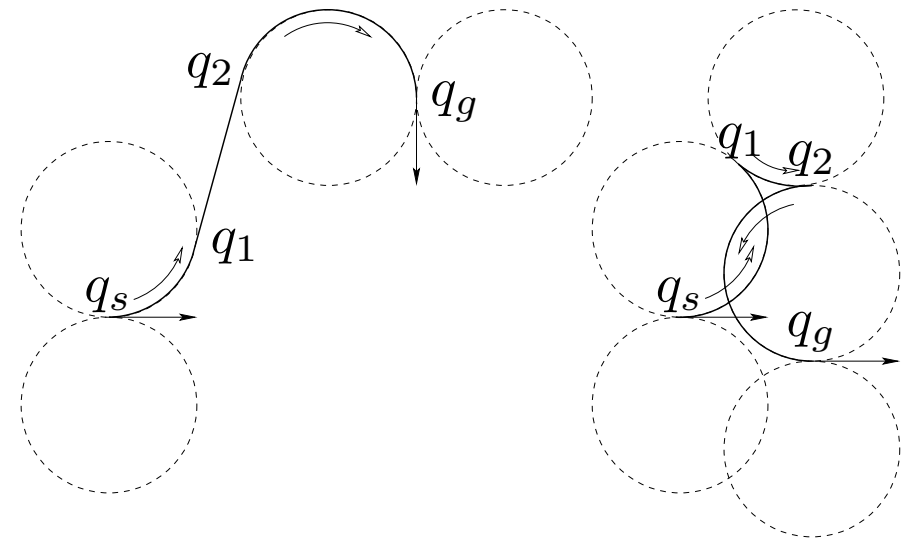
# Contraintes cinématiques: voiture



✓  $\dot{x} \sin \theta - \dot{y} \cos \theta = 0$

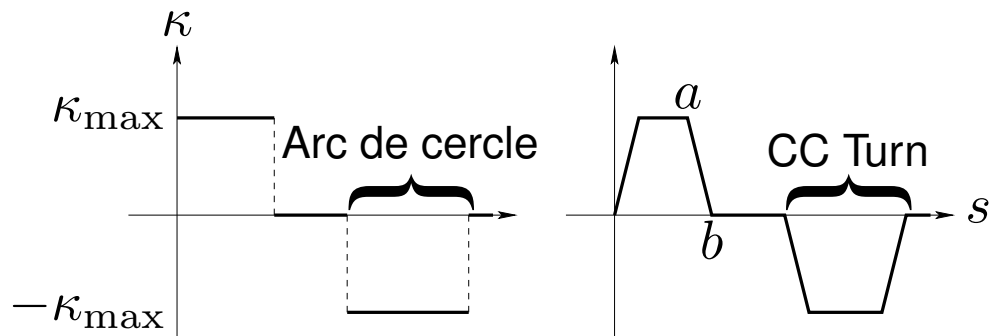
✓  $|\phi| \leq \phi_{\max} \Leftrightarrow |\kappa| \leq \kappa_{\max}$

✓ Solution "classique"

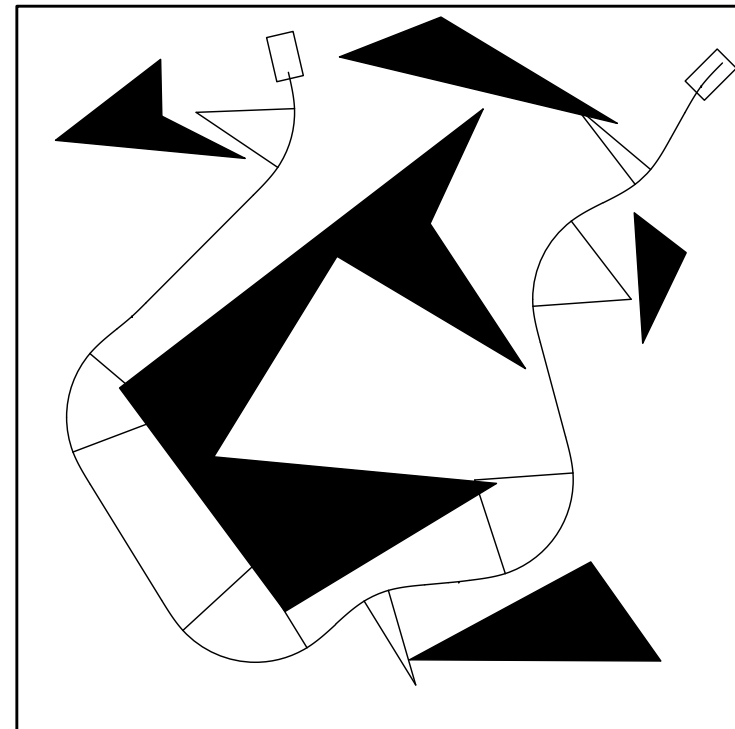
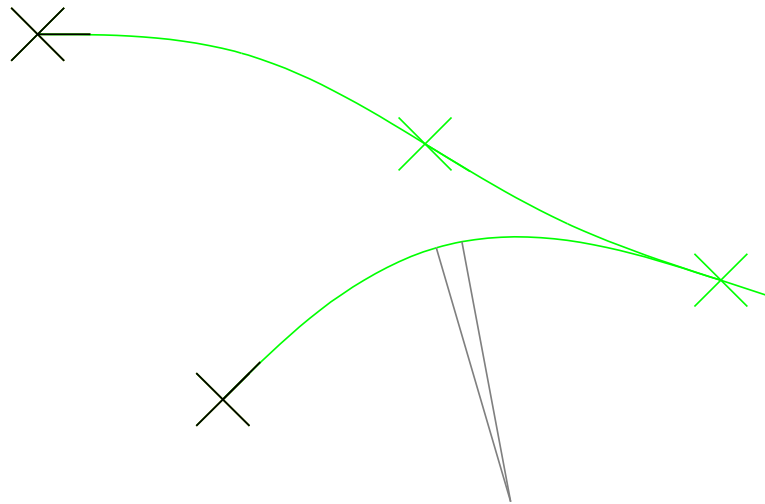


✓ Mais... **courbure discontinue**

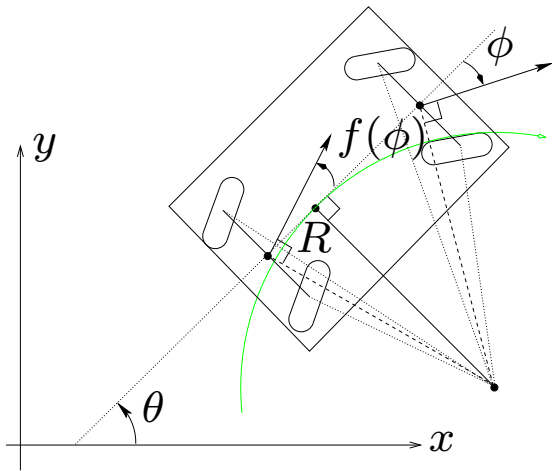
# Chemins à courbure continue [Fraichard et al, 90s]



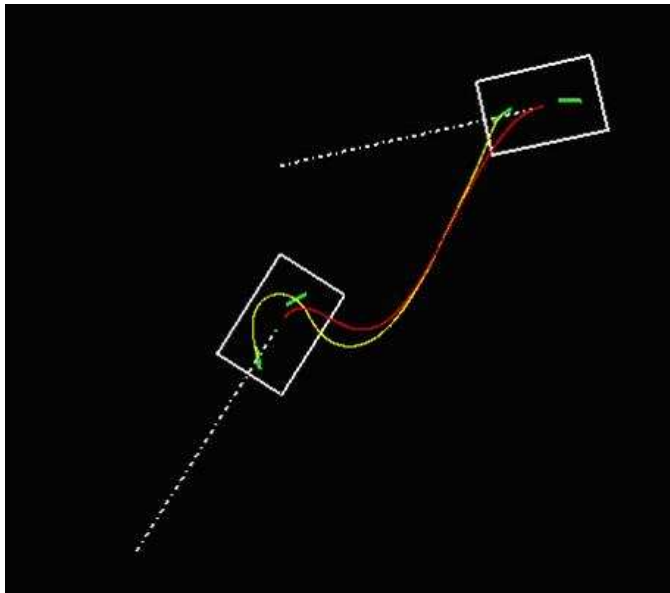
- ✓  $\kappa$  continue et bornée
- ✓  $\dot{\kappa}$  bornée (vitesse de braquage)
- ⇒ **Vitesse nominale de suivi**



# Contraintes cinématiques: Cycab [Hermosillo et al, 03]



- ✓ Manoeuvrabilité accrue mais  $R$  mobile...
- ✓ Théorie de la platitude différentielle
- ✓ Planification pour les **sorties plates** du Cycab
- ✓ Commande en boucle fermée

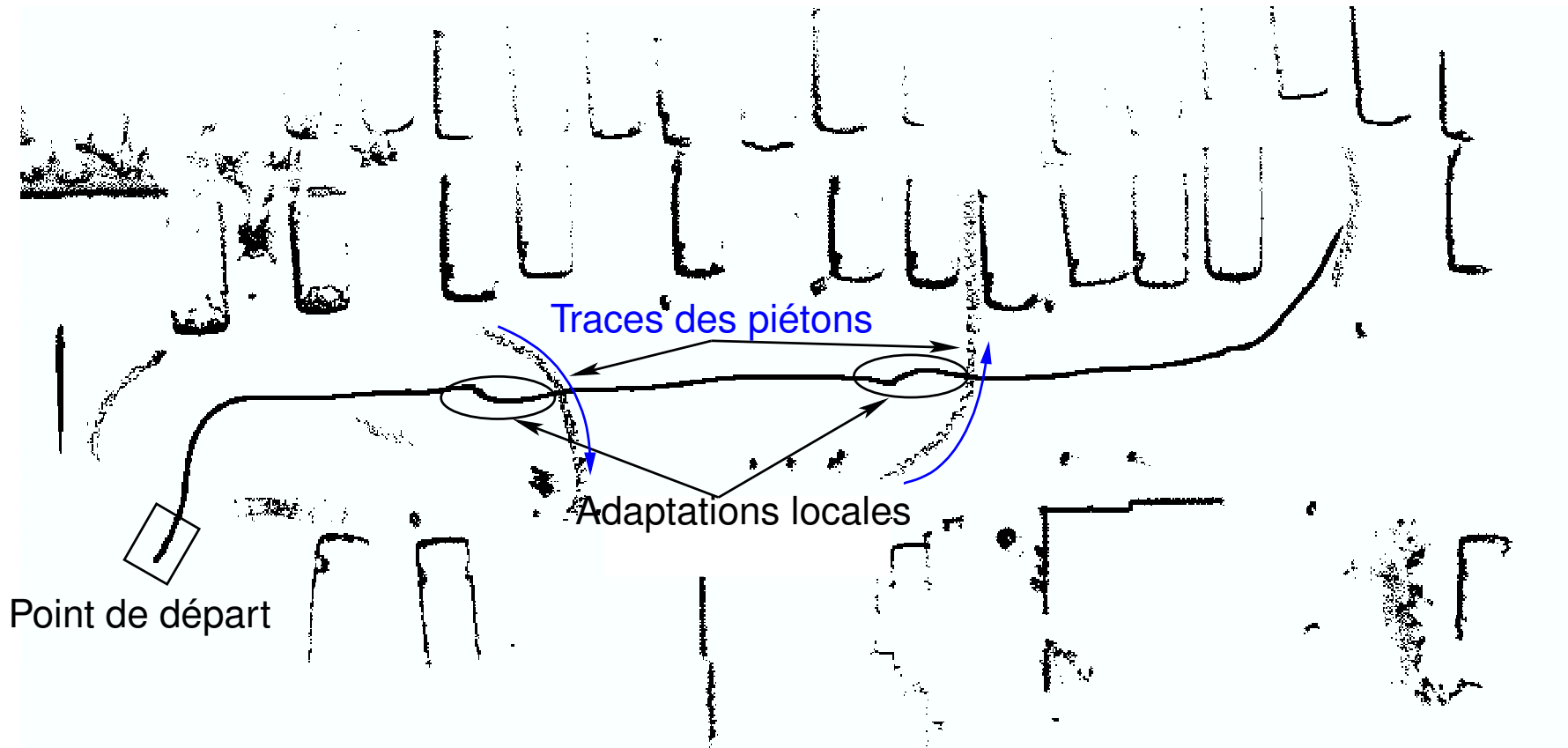


# Navigation

- ✓ Double exigence (parfois contradictoire)
  - ★ **Suivi du mouvement nominal**
  - ★ **Sécurité**: évitement d'obstacles imprévus
- ✓ A chaque  $\delta t$ , choix de la “**meilleure**” commande
  
- ✓ Cadre bayésien
  - ★ **Modèles d'incertitude**: perception & action
  - ★ Capteur  $\rightsquigarrow$  distribution de probabilité sur les **commandes sûres**
  - ★ Contrôleur  $\rightsquigarrow$  distribution de probabilité sur les **commandes de suivi**
  - ★ Inférence bayésienne: fusion, sélection de la commande *probablement* la meilleure



# Navigation



✓ **Adaptation locale** du mouvement

# Outils pour la conduite automatique

- ✓ Contexte “zone urbaine”
  - ★ Véhicule: vitesse élevée
  - ★ Environnement: dynamicité élevée
  
- ✓ Navigation: adaptation locale insuffisante
- ✓ Planification:
  - ★ Prise en compte des objets mobiles
  - ★ Prise en compte de la dynamique du véhicule
  - ~> Planification réactive
- ✓ Modélisation:
  - ★ Détection des objets mobiles
  - ★ Prédiction de leur comportement futur

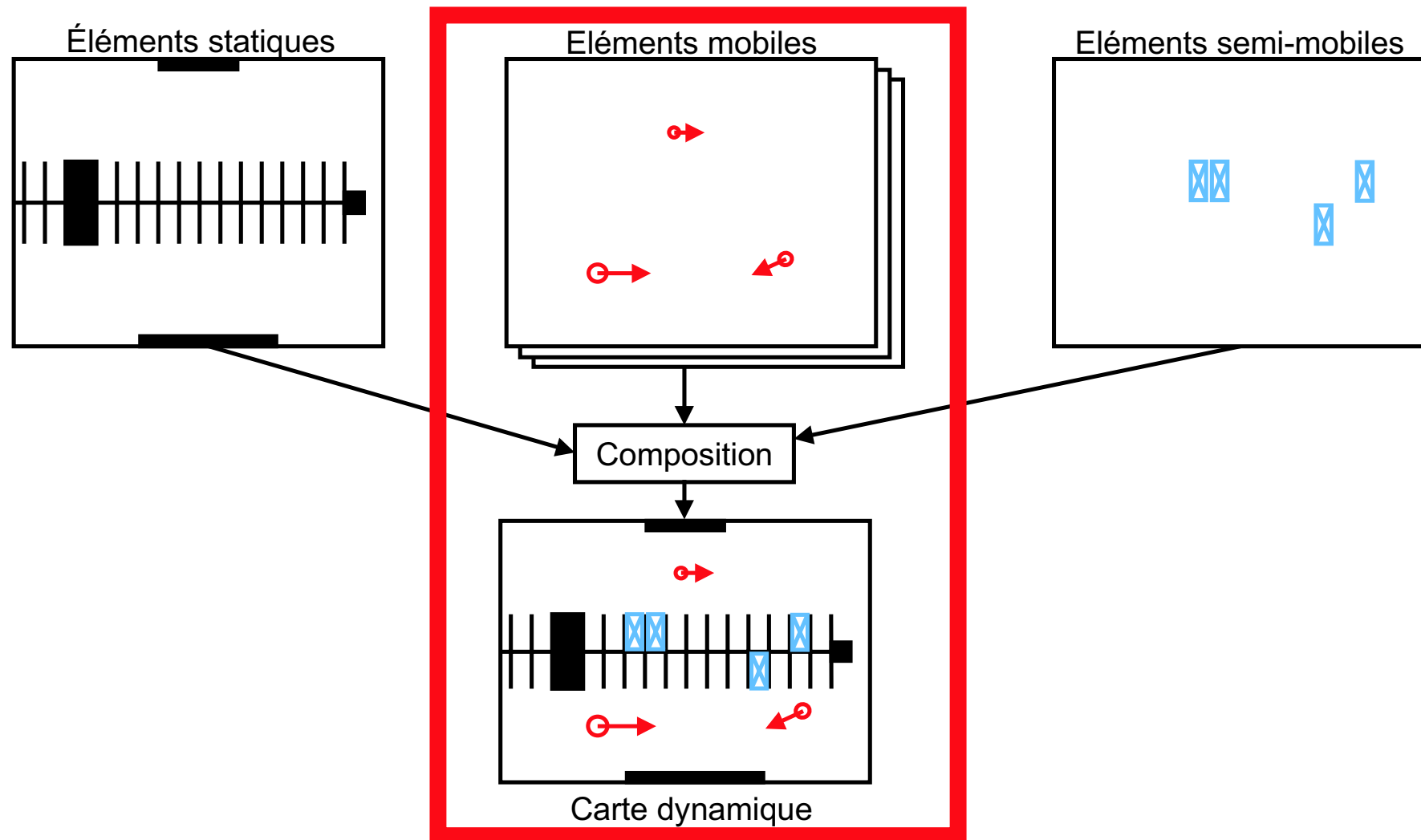
# Modélisation & objets mobiles

- ✓ Interprétation visuelle de scènes dynamiques complexes
- ✓ Environnement extérieur
- ✓ Connaissances a priori: carte de l'environnement statique
- ✓ Extéroception embarquée & débarquée
- ✓ Caméras vidéo multiples
- ✓ Détection, suivi et identification d'objets mobiles

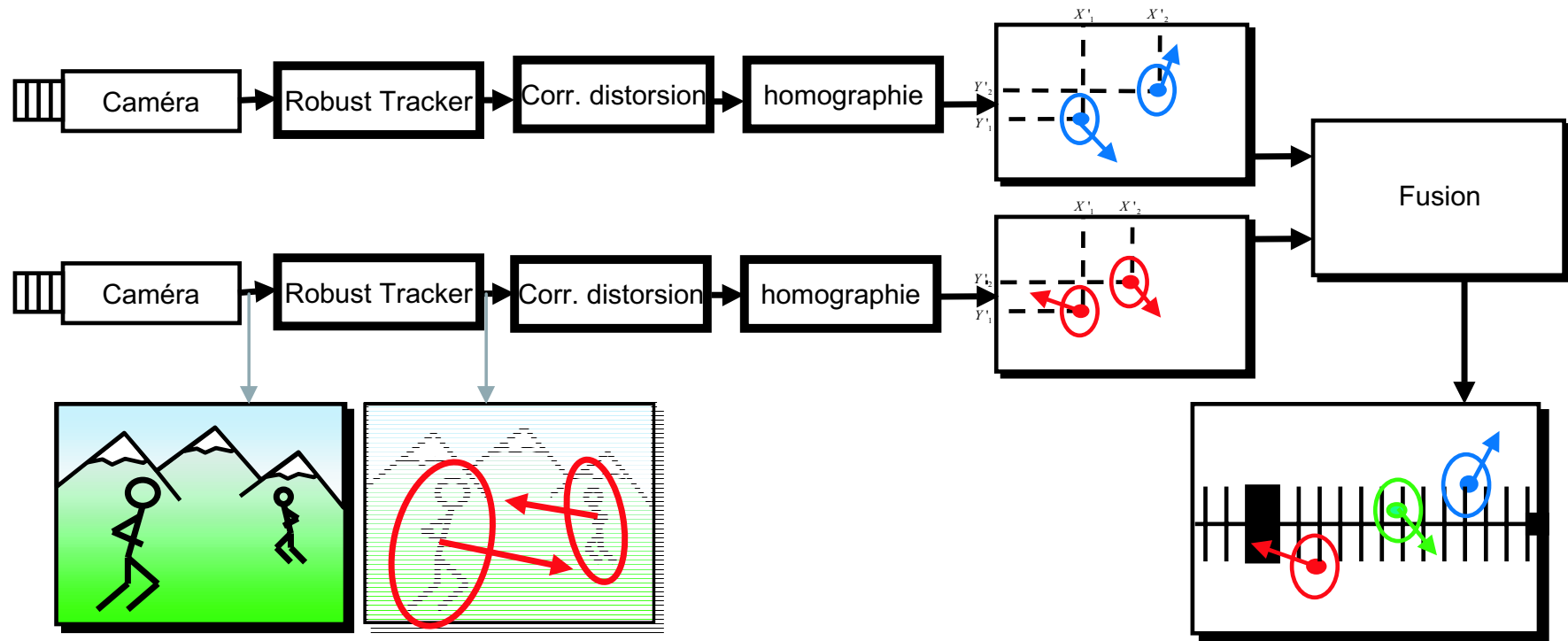
# Dispositif expérimental



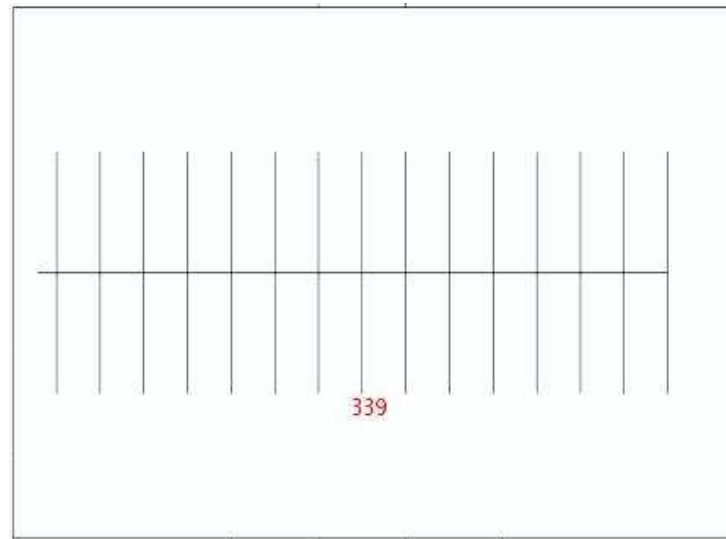
# Cartographie “dynamique”



# Suivi des objets mobiles



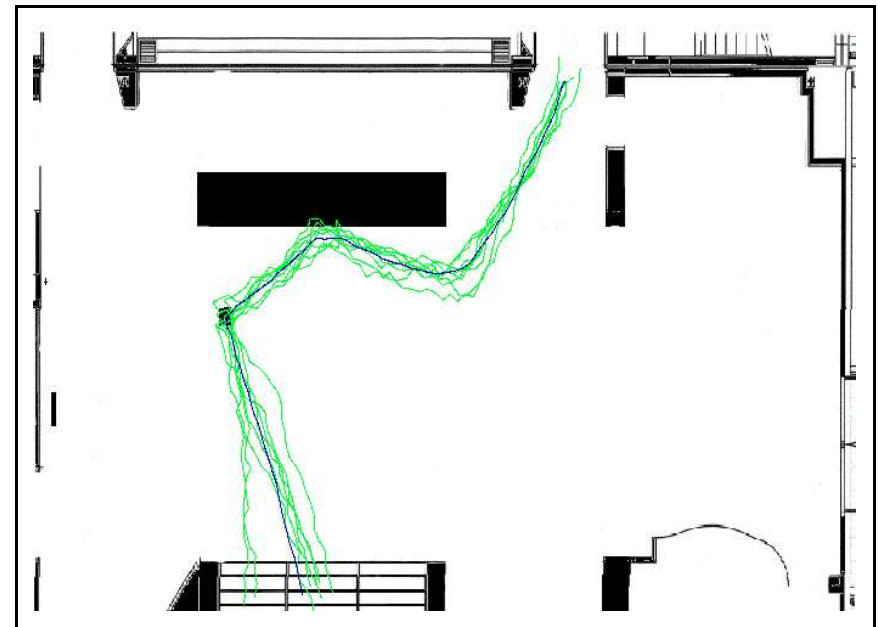
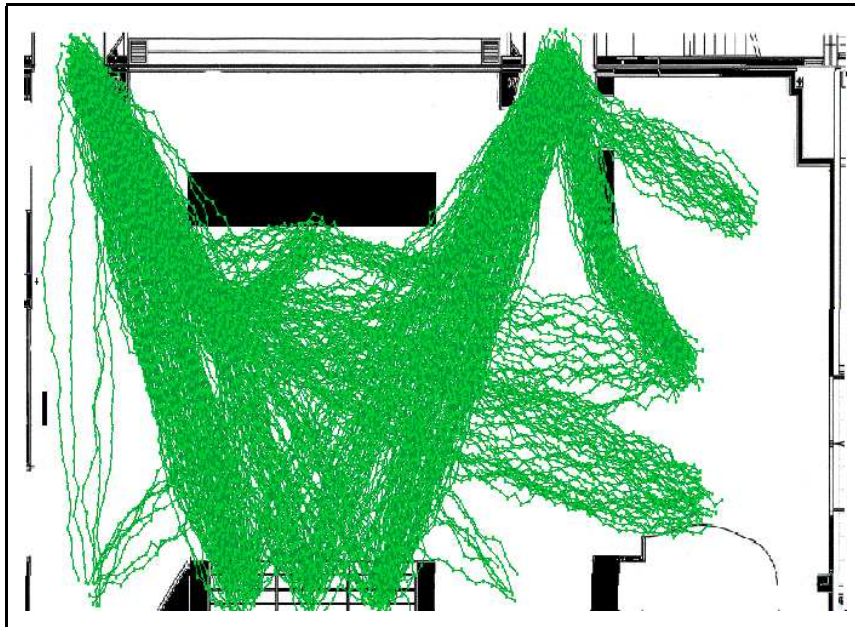
# Résultats expérimentaux



# Prédiction du mouvement des objets mobiles

- ✓ Prédiction “à long terme” souhaitée
- ✓ Hypothèse: les mobiles ont des comportements typiques
- ✓ Approche statistique en deux étapes [Vasquez et al, 03]

## 1. Apprentissage

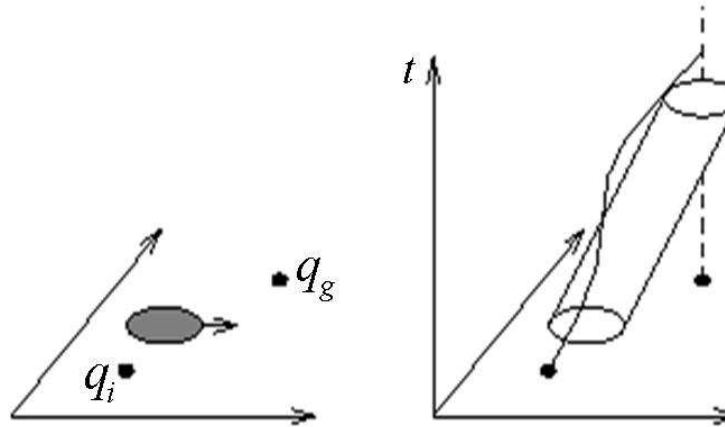


## 2. Prédiction



# Planification de mouvement & contraintes dynamiques

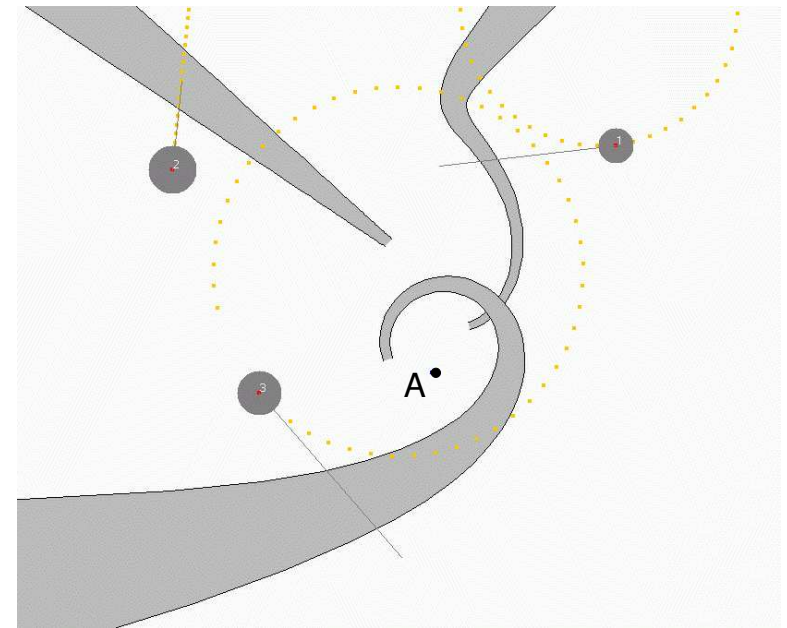
- ✓ Dynamique du système robotique: espace des états:  $(q, \dot{q})$
- ✓ Objets mobiles: espace-temps des configurations:  $(q, t)$



- ✓ Cadre unificateur: espace-temps des états:  $(q, \dot{q}, t)$  [Fraichard, 92]
- ✓ Mais... complexité

# Planification réactive [*Large et al, 03*]

- ✓ Concept de “Velocity Obstacle”
- ✓ Dynamique du véhicule
- ✓ Comportement futur des objets mobiles
- ✓ Planification itérative partielle



Robot de service dans une foule  
Véhicules dans un échangeur

# Conclusion

- ✓ Les Cybercars ont fait beaucoup de progrès en dix ans
- ✓ Zone “calme”: ok
- ✓ Zone “urbaine”: validation expérimentale
  
- ✓ Il reste encore beaucoup à faire...
  - ★ Fiabilité
  - ★ Sécurité
  - ★ Performance

« D’ici vingt ans, seuls les Cybercars seront autorisés à pénétrer dans la plupart des villes des pays industrialisés »

Michel Parent, juillet 2003