Automatique et conduite automobile

S. MAMMAR L. Nouvelière
LSC-CNRS-FRE2494

P. MARTINET B. TUILOT
LASMEA

S. GLASER M. NETTO
LIVIC, INRETS / LCPC

said.mammar@iup.univ-evry.fr, glaser@lcpc.fr

Introduction

- L'automatique est omniprésente dans les véhicules d'aujourd'hui « fonctions électroniques »
  - bon fonctionnement du véhicule et son intégrité et systèmes de confort
  - 30% de la valeur d'une voiture.
- Quelques exemples
  - Les systèmes de contrôle du châssis.
    - tenue de route, la stabilité, la manoeuvrabilité et le freinage du véhicule.
  - Les systèmes ABS obligatoires, les ESP se démocratisent
  - Systèmes encore trop onéreux
    - barres d'anti-roulis pilotées, la direction active ou les suspensions pilotées
- Notre action de recherche
  - Le véhicule est enrichi
    - de moyens de perception de l'environnement, de moyens localisation ou de communication, De moyens de coopération entre les véhicules et l'infrastructure
    - Perception anticipée du danger
  - Développer des assistances active au conducteur non seulement en situation limite, mais aussi en prévention d'un danger
  - Fiabiliser les moyens de perception et de commande
  - Faire évoluer l'aide apportée au conducteur vers l'automatisation de certaines tâches de conduite, voir même de l'intégralité du processus de conduite.

Introduction

- Plan de la présentation
  - un panorama des systèmes commerciaux existants
  - projets de recherche sur le domaine.
  - Assistance au contrôle latéral et longitudinal.
  - automatisation de la conduite
    - véhicule autonome
    - conduite en file associant

- L'essentiel des résultats présentés dans cet article ont été obtenus par plusieurs équipes de recherche
  - LIVIC, LSC, LASMEA, SUPELEC, LAG, UTC et INRIA (IMARA, IRISA, Sophia-Antipolis)

Quelques chiffres

- L'équipement de sécurité et de confort est devenu un argument de vente fort
- Un véhicule vendu à moins de 10K€ sont équipés
  - ABS avec répartiteur électronique de freinage,
    - aide au freinage d'urgence avec allumage automatique des feux de détresse,
    - d'ordinateur de bord et de climatisation automatique.
  - Ne pas oublier l'automatique enfouie
    - gestion de la combustion, du moteur, de l'échappement et de la transmission.
- Les système sur les véhicules de gamme supérieure
  - Régulation de vitesse
  - Aide à la stabilité latérale (ESP, ASR,…)

Quelques chiffres

- Les véhicules plus haut de gamme
  - La répartition des forces motrices (4WD)
  - Le contrôle des efforts verticaux, par le pilotage des suspensions ou des barres d'anti-roulis (ABC)
  - Le contôle actif du braquage des roues avant (AFS)
  - les quatre roues directrices (4WS)
- Un véhicule haut de gamme dispose aujourd'hui
  - Plusieurs dizaines de capteurs, moteurs électriques, et unités de contrôle.
  - Le coût total de ces systèmes mécatroniques représente 25% du prix total d'un véhicule.
- Généralisation des technologies "X-by-wire"
- Développement de la localisation et de la cartographie numérique
  - Alertent le conducteur ou limitent automatiquement la vitesse selon la signalisation embarquée.

Quelques chiffres

- Les systèmes actifs associant perception de l'environnement peinent à sortir
  - manque de fiabilité, de performance et de
  - Le régulateur de vitesse et d'interdistance
  - systèmes de maintien de voie à base de capteur vidéo sont actuellement sur le marché au Japon.

- L'enjeu de la recherche
  - Développement de fonction d'assistance active ayant une réelle incidence sur l'amélioration de la sécurité.

Les recherches dans le monde

- USA : Projet Intelligent Vehicle Initiative
  - La prévention des accidents consécutifs aux changements de voie.
  - La prévention des collisions aux intersections.
  - La prévention des sorties de route.
  - La détection de la baisse de vigilance.

- JAPON : coordination forte entre cinq ministères (construction, industrie, transport, intérieur et télécommunications) et d'associations de constructeurs (JARI)
  - Projet ASV s'emploie à la sécurisation de 7 situations de conduites
    - importants équipements de l'infrastructure
- Europe
  - En avance à la fin du projet PROMETHEUS (90).
  - Le 6ème PCRD fait maintenant la part belle aux systèmes d'aide à la conduite
    - Projets intégrés PReVENT, SAFESPOT, CVIS

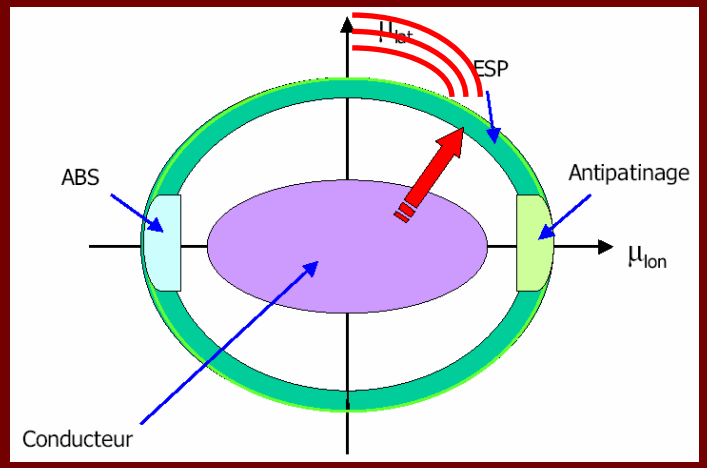
- France PREDIT/ANR,
  - Action fédératrice ARCOS2004,
    - cinquante huit partenaires
    - 4 fonctions de sécurité : la gestion des interdistances, l'évitement des sorties de route, l'anticollision, l'alerte en amont d'un accident.
  - Pôle de compétitivité VESTAPOLIS

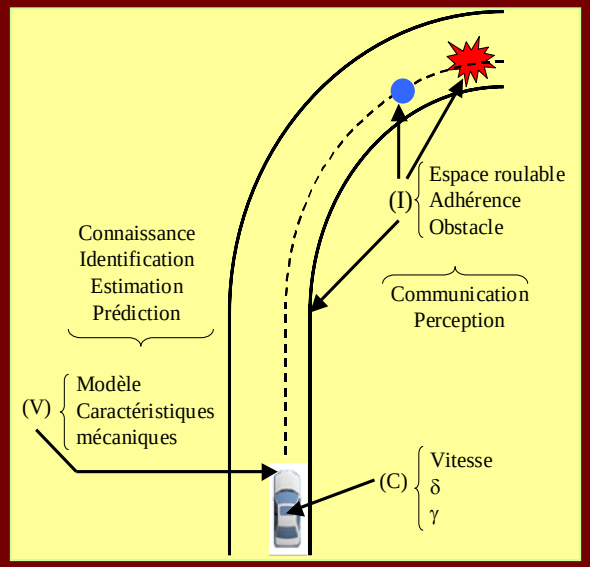
Echelle spatio-temporelle pour la sécurité

Dernier recours

Sécurité passive

Anticiper une situation potentiellement dangereuse
Le conducteur n'a pas conscience du danger :
Événement redouté
Développer des indicateurs du risque et réduire (maîtriser) le risque

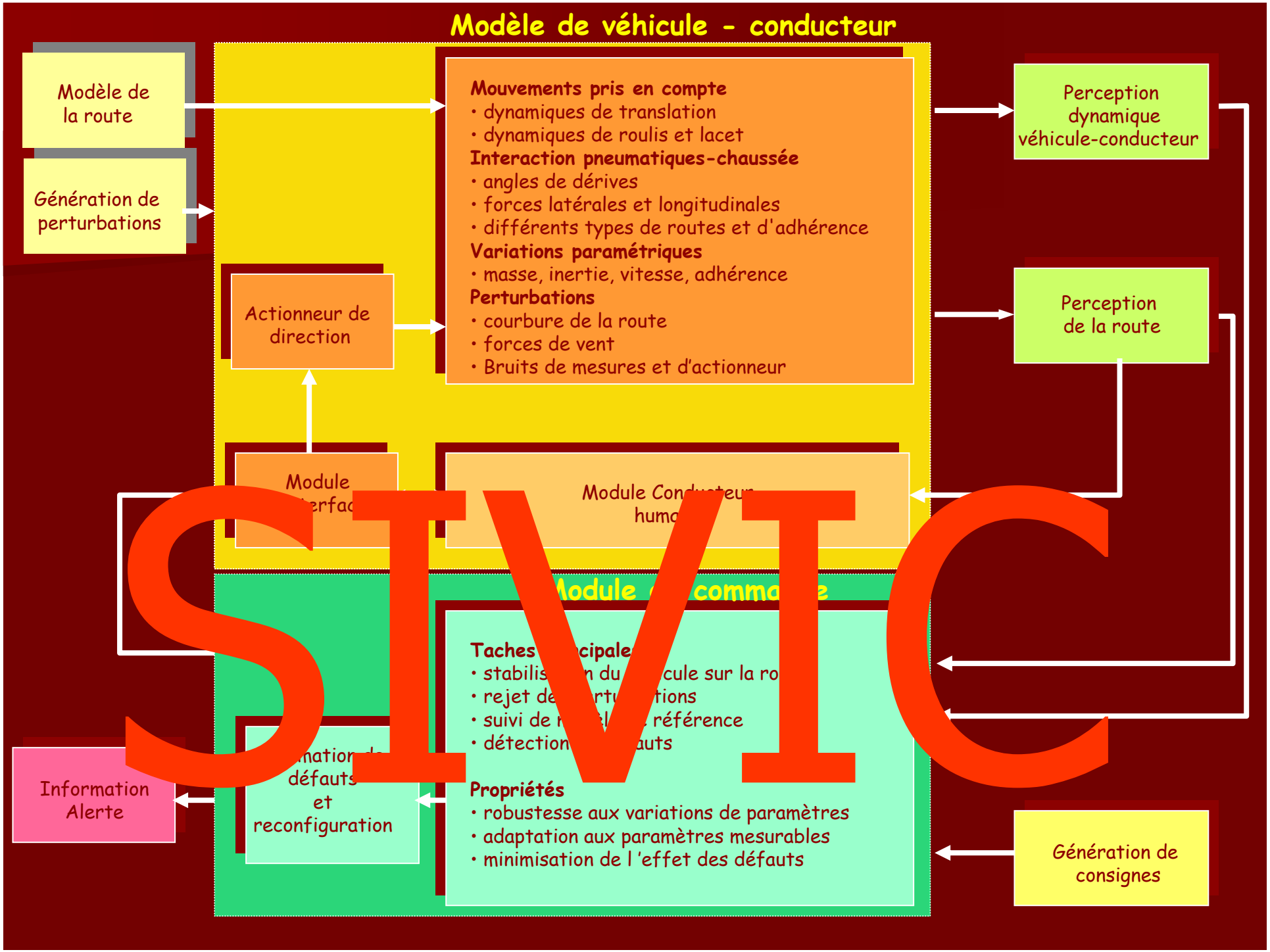




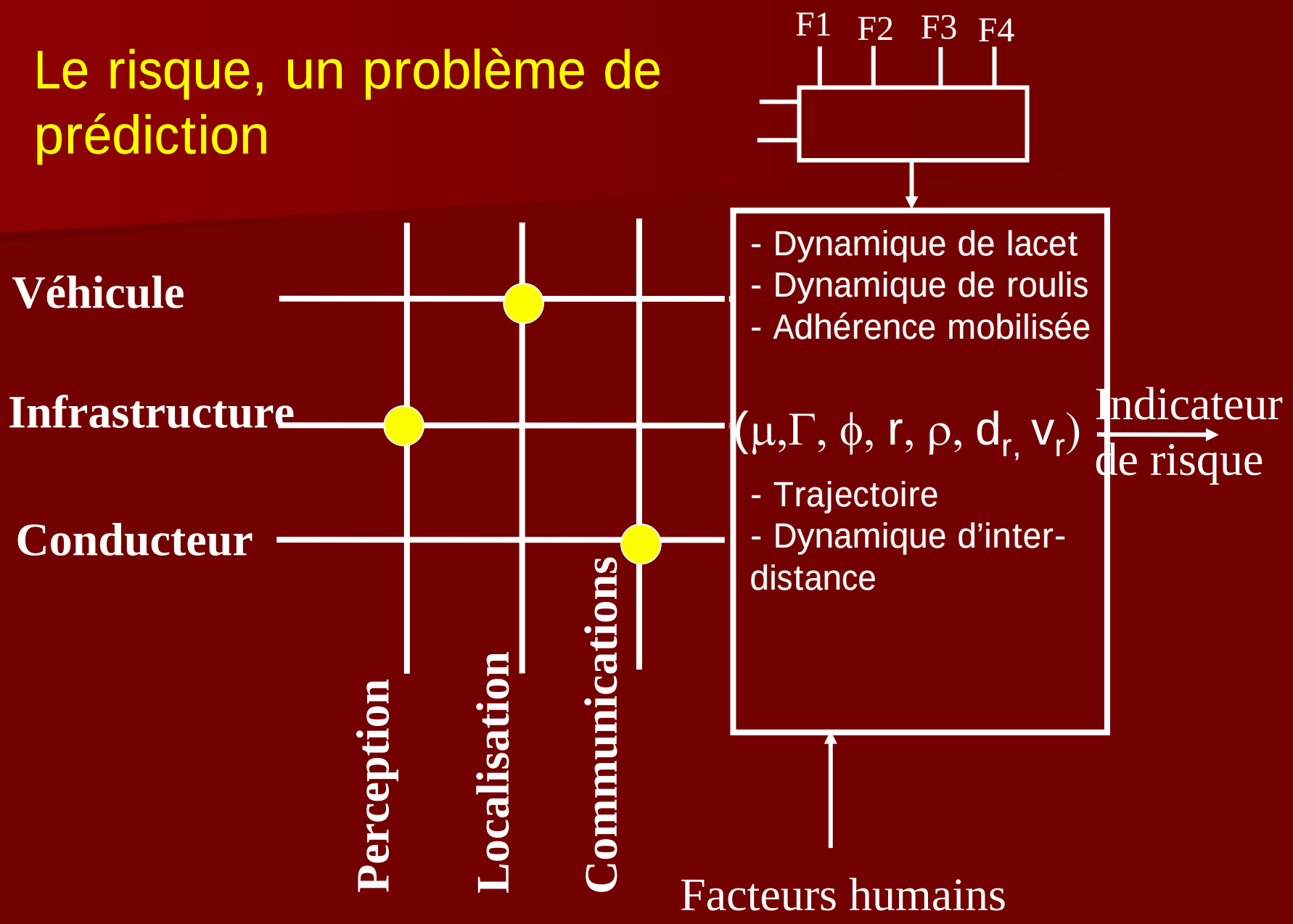
Vigilance
Visibilité
Détection d'obstacle
Estimation d'adhérence
…

Le risque

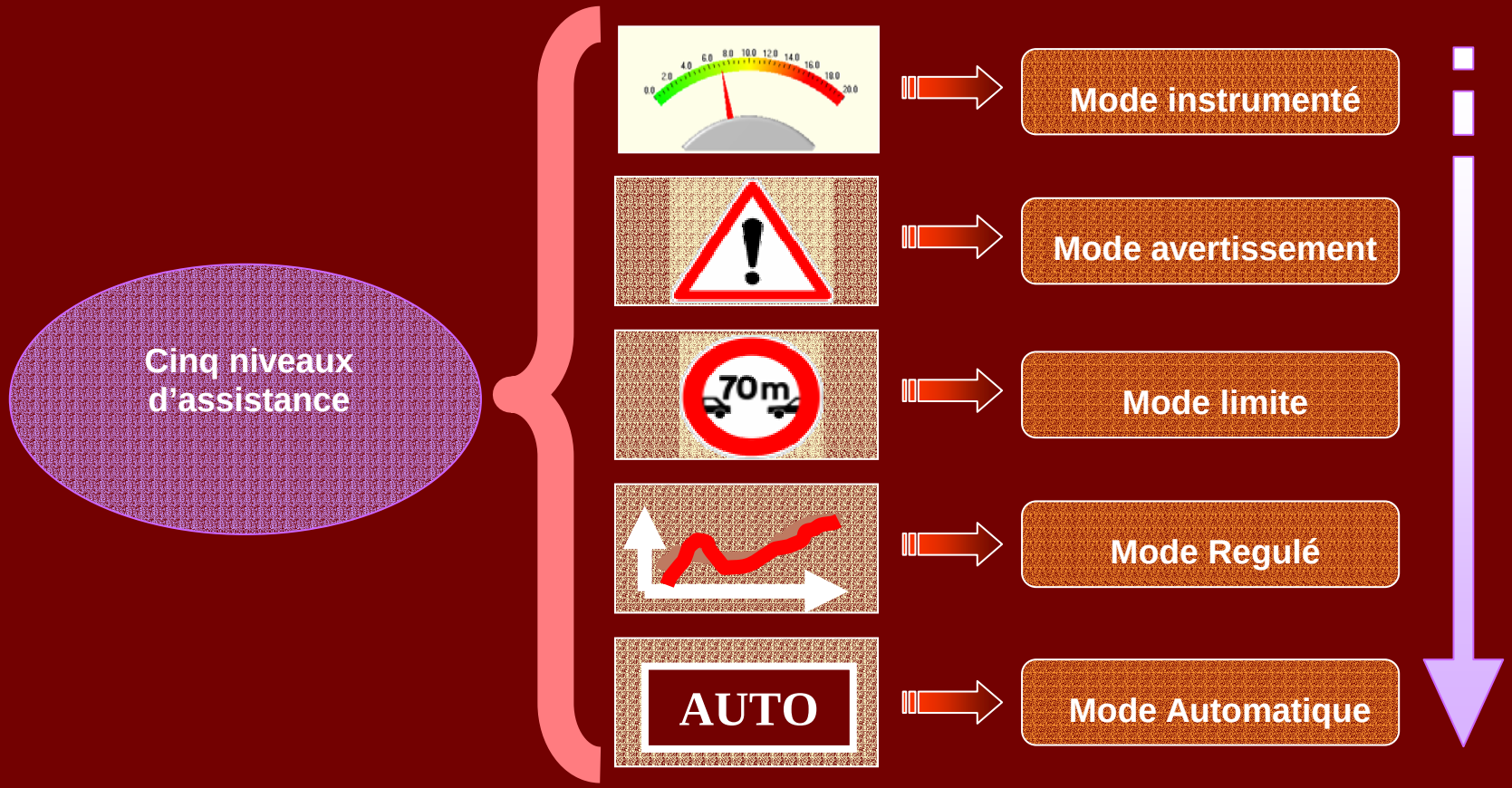
- Risque = événement redouté (conséquences) et probabilité.
- Les notions de risque abordées
  - Guidage sur la voie
  - Perception de la route (horizon électronique)
  - Dynamique véhicule
  - Gestion des inter-distances et des obstacles
- Développement et évaluation d'indicateur sur la base d'apports
  - de capteurs de la dynamique et d'estimateurs
  - de moyens de perception de la route et des obstacles
  - de bases de données et cartographies
  - de communications


Modèle de véhicule - conducteur
Modèle de la route
Génération de perturbations
Mouvements pris en compte
• dynamiques de translation
• dynamiques de roulis et lacet
Interaction pneumatiques-chaussée
• angles de dérives
• forces latérales et longitudinales
• différents types de routes et d'adhérence
Variations paramétriques
• masse, inertie, vitesse, adhérence
Perturbations
• courbure de la route
• forces de vent
• Bruits de mesures et d'actionneur
Perception dynamique véhicule-conducteur
Actionneur de direction
Perception de la route
Module
Module Con
humo
Module
Taches
• stabilis
• rejet de
• suivi de
• détection
Propriétés
• robustesse aux variations de paramètres
• adaptation aux paramètres mesurables
• minimisation de l 'effet des défauts
défauts
et
reconfiguration
Information Alerte
Génération de consignes
SIVIC

Le risque, un problème de prédiction



Les modes de partage de la conduite (IRCCyN, LIVIC, LSC)



Les indicateurs de risque

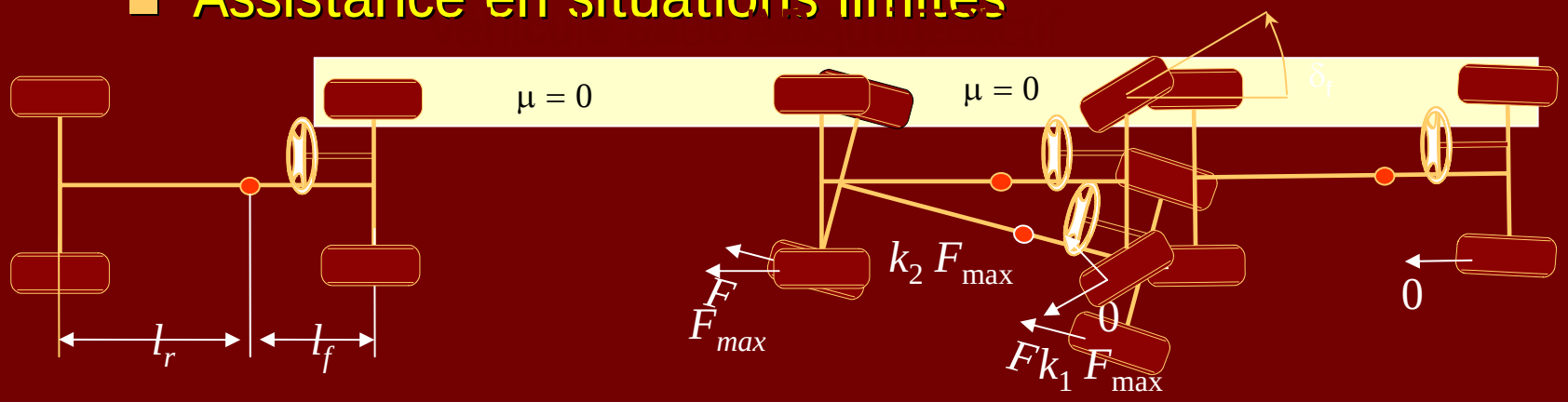
- Indicateurs pour le mode latéral
  - Un premier groupe d'indicateurs directement lié à la dynamique proprioceptive du véhicule :
    - L'accélération latérale, directement obtenue à partir d'un accéléromètre
    - La vitesse de lacet, combinée à la vitesse longitudinale et à l'angle de roues est révélatrice d'un effet de survirage ou de sous-virage.
    - Ces éléments,
    - La vitesse latérale. non directement mesurable
  - Un deuxième groupe d'indicateurs nécessite la présence de capteurs extéroceptifs
    - Le déplacement latéral du véhicule par rapport l'axe de la voie
    - Le cap relatif,
    - Le temps à sortie de voie (TLC), qui représente le temps nécessaire, étant donnée la vitesse du véhicule, pour franchir un des bords de la voie.

Les indicateurs de risque

- Indicateurs pour le mode longitudinal
  - Véhicule isolé, donc en mode "régulation de vitesse",
    - la vitesse en régime permanent
    - l'accélération longitudinale.
  - En mode suivi de véhicule,
    - L'interdistance, à comparer à l'interdistance minimale dite de sécurité.
    - Le temps intervéhiculaire obtenu en divisant l'interdistance par la vitesse. Un temps intervéhiculaire minimal de 2sec est actuellement imposé sur les voies rapides par la législation.
    - La vitesse relative, normalement nulle.
    - Le temps à collision (TTC)

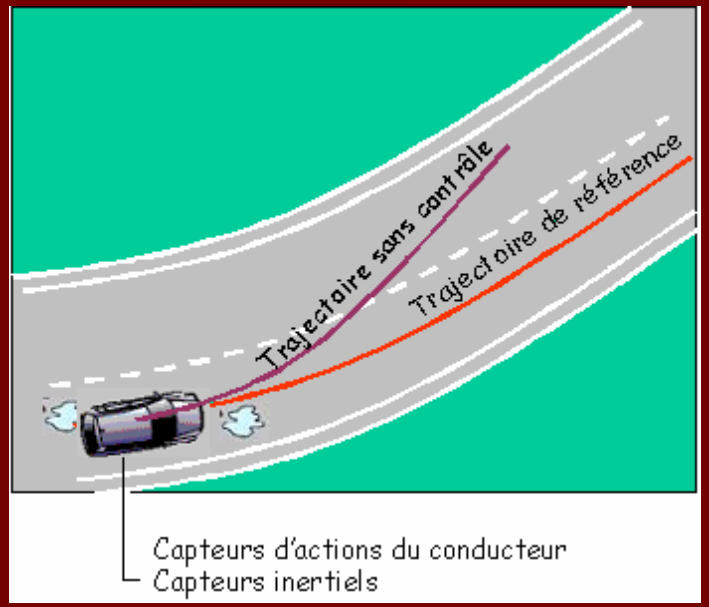
Les aides en contrôle latéral

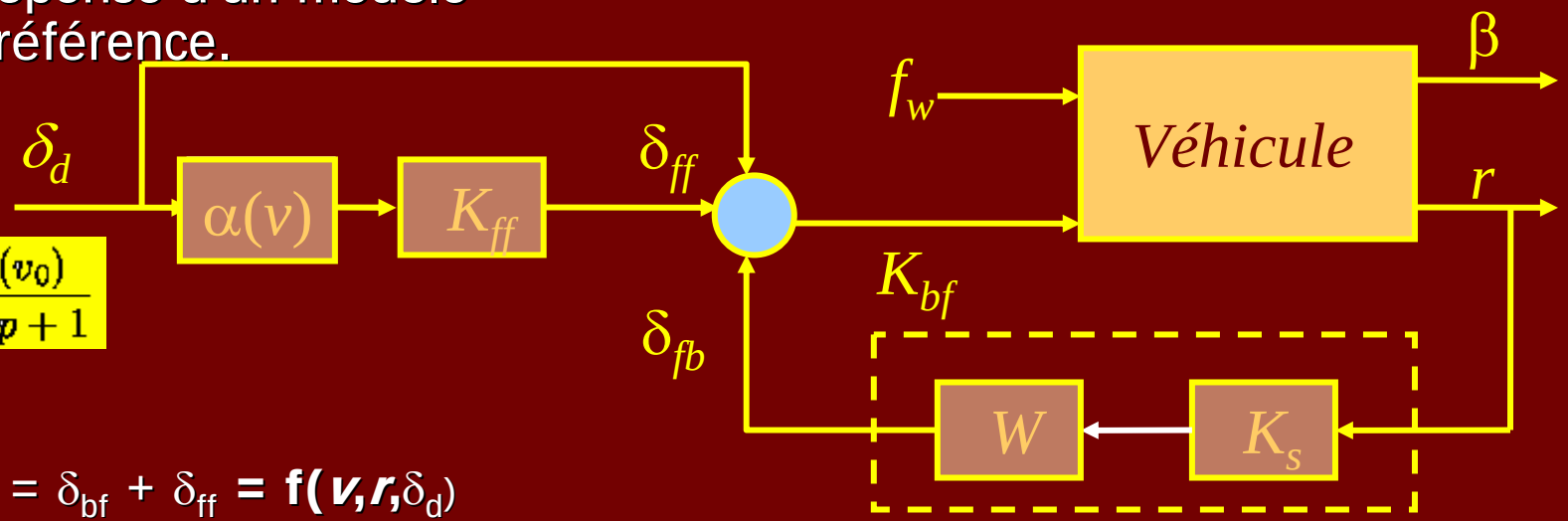
- L'assistance au contrôle latéral (alerte, action)
  - Assistance au conducteur pour l'amélioration de la manœuvrabilité
  - Assistance au conducteur dans les situations de maintien de voie
- Assistance en situations limites



Aide à la manœuvrabilité

- Instrumentation
  - Capteurs inertiels (v, r)
  - Capteur d'action conducteur
  - Différents systèmes de direction
- Ajout d'un angle de braquage
  - Rejet de perturbation
  - Le véhicule suit de façon robuste la réponse d'un modèle de référence.

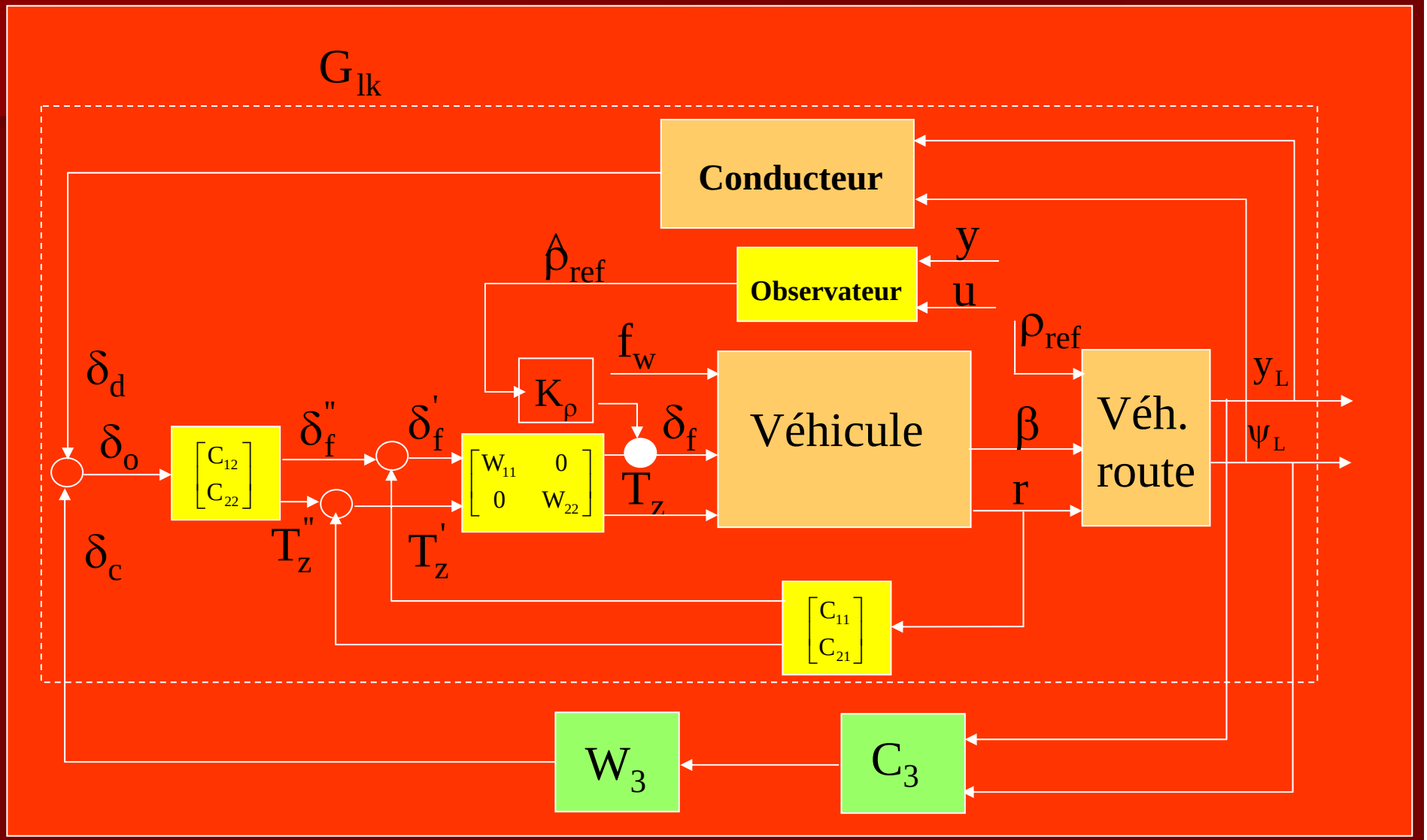




$$T_m(p) = \frac{G(v_0)}{0.2p + 1}$$

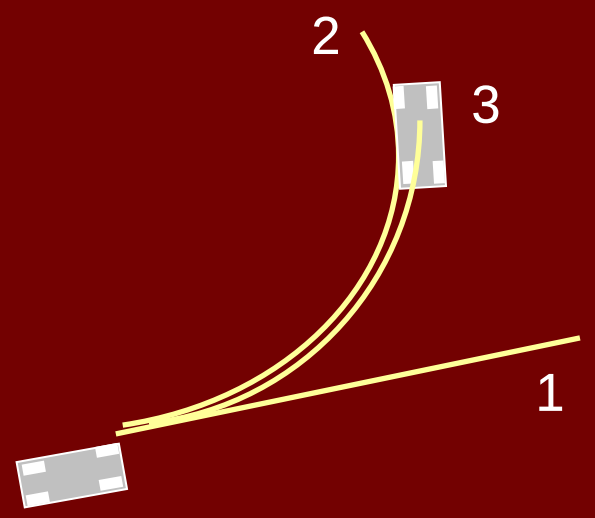
$\delta_c = \delta_{bf} + \delta_{ff} = \mathbf{f}(\boldsymbol{v}, \boldsymbol{r}, \delta_d)$

Vers un ESP perceptif



Le calcul du TLC

Prédiction de la trajectoire du véhicule pour évaluer le temps à sortie de voie → TLC/DLC



1. Calcul en ligne droite

   Connaissance de la route

   Écart latéral, angle de cap

2. Approximation circulaire

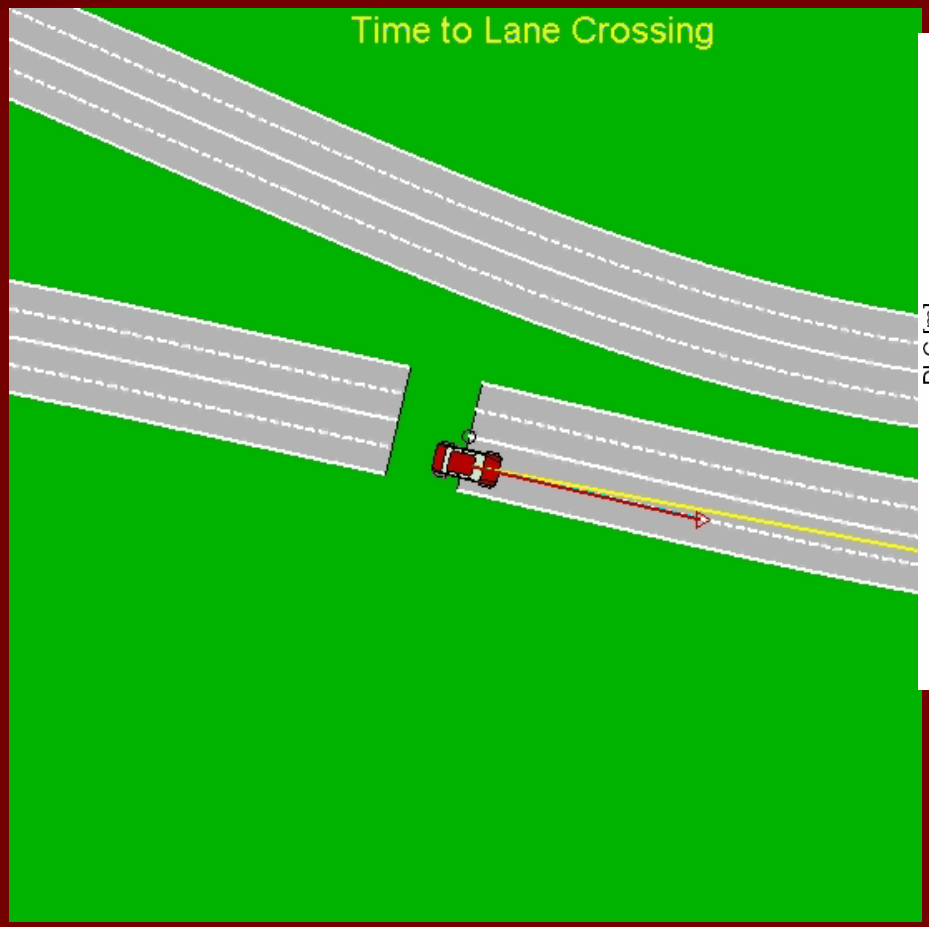
   Conducteur δ,r

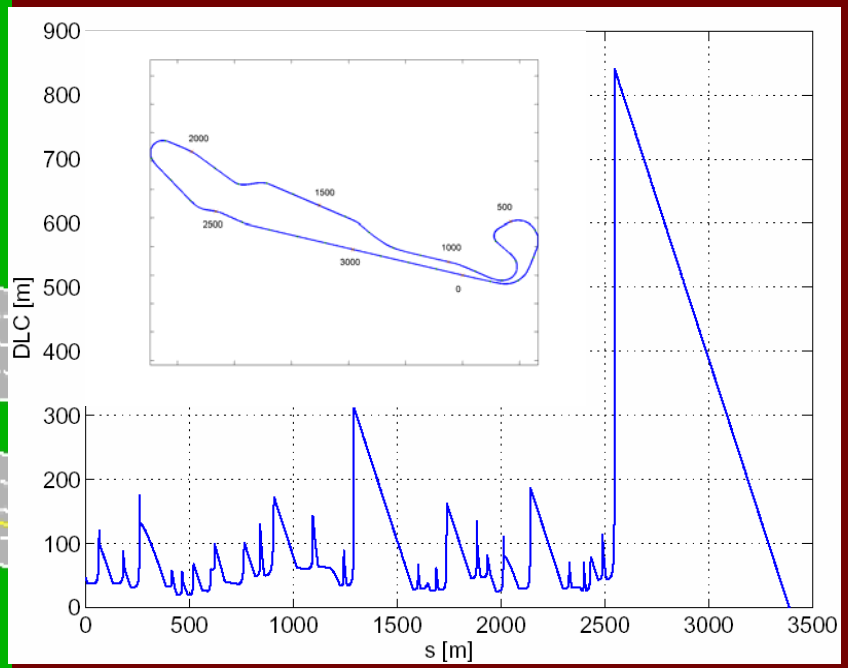
3. Prédiction d'un modèle de véhicule

   Modélisation et estimation

Evaluation sur la piste de Satory

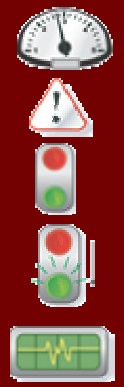
Véhicule : LOLA, BD centimétrique, GPS RTK, Capteurs de la dynamique

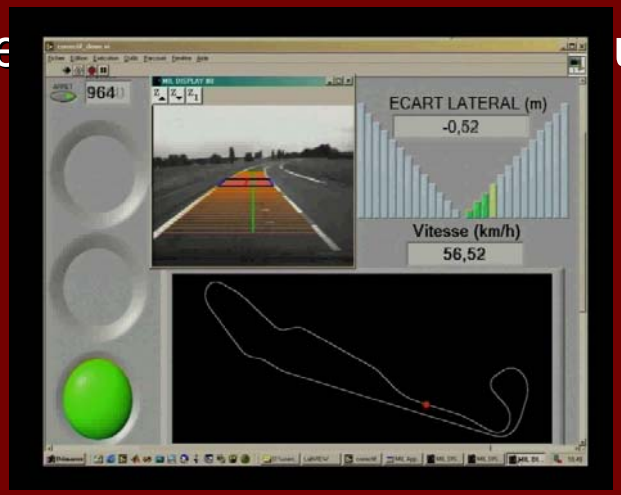


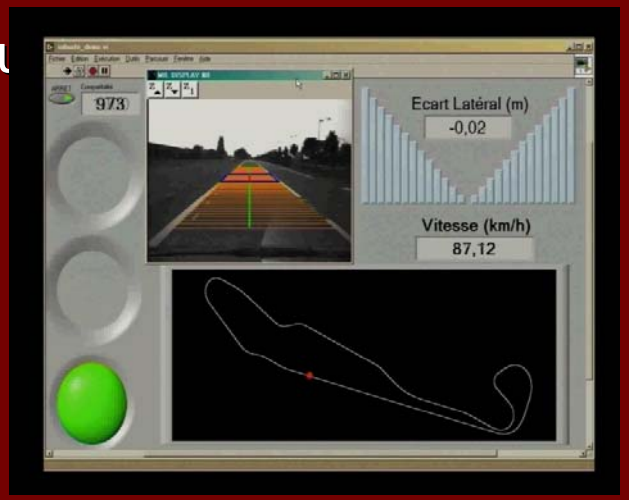


Réduire le risque en sortie de voie

- Combiner des modes passifs et actifs sur le volant
  - Mode perceptif : information visuelle de IR
  - Mode avertissement : vibrations haptiques, retour sonore
  - Mode suggestion d'action : vibrations directives
  - Mode correctif : Corriger les excursions latérales
  - Mode régulé : Assurer le guidage péri-axial :
- CHM-IHM
  - Assurer la cohérence des interactions avec le conducteur

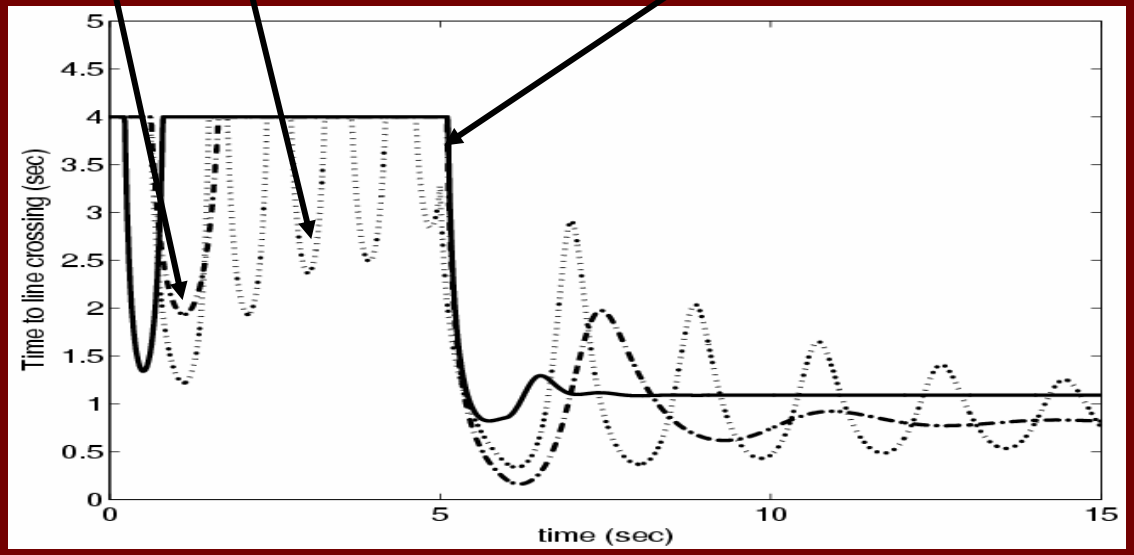






Evaluation d'une assistance sur le TLC

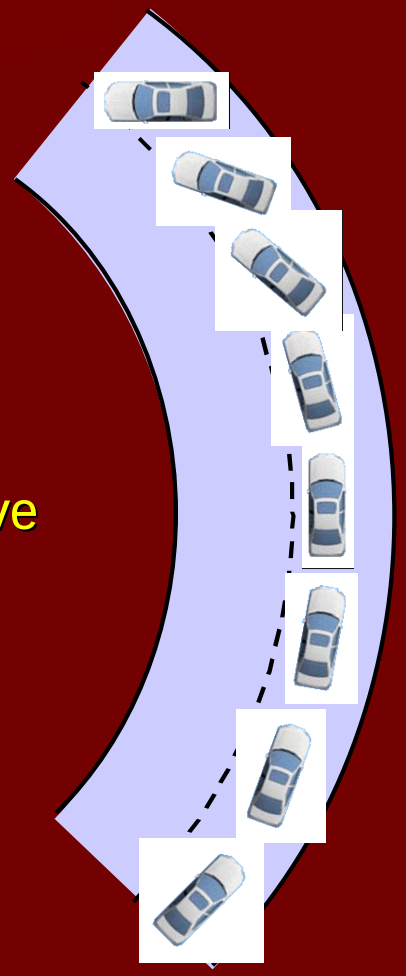
- Déplacement latéral initial de 50cm
- Entrée dans un virage de rayon 500m
- 3 comportements sont comparés
  - Conducteur seul **(pas d'assistance)**
  - Conducteur + contrôle en lacet
  - Conducteur + contrôle en lacet + aide en maitien de voie



Problème de perception des virages

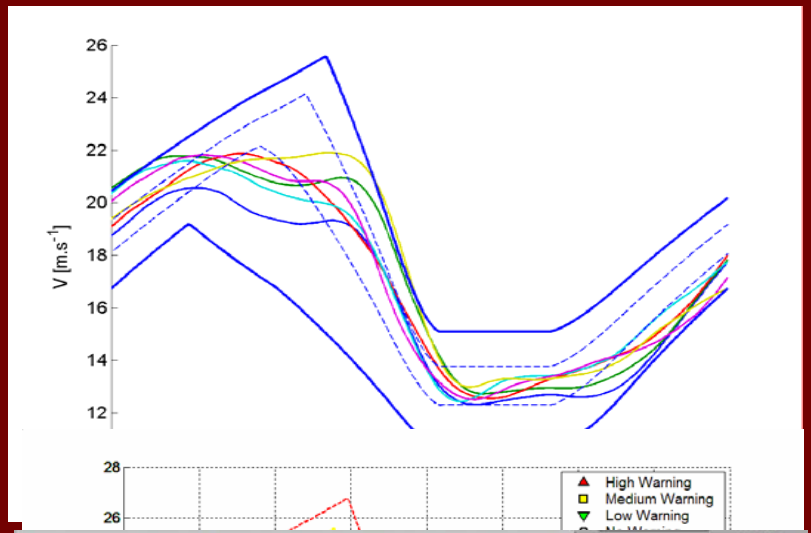
Le conducteur n'a pas adapté sa vitesse

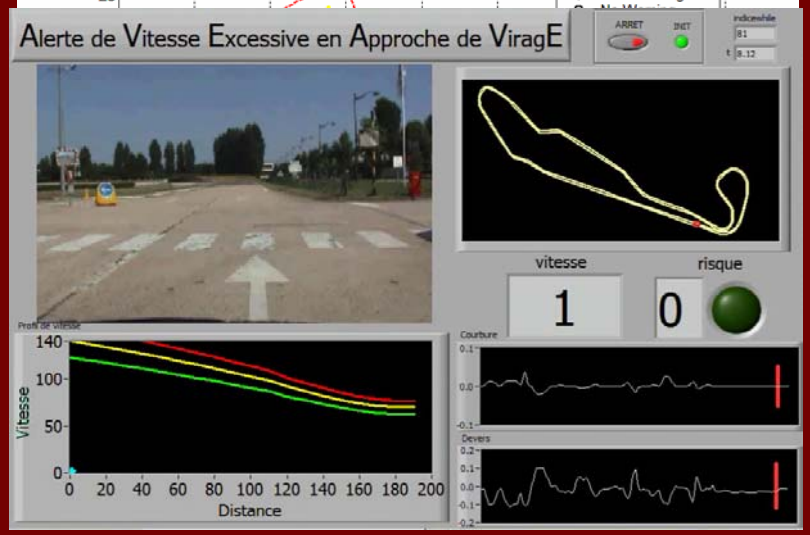
- Causes de l'accidents
  - Inexpérience,
  - Visibilité-lisibilité
  - Vitesse excessive, …
- Facteurs aggravants
  - Chaussée humide
  - Réactions inadaptées
- Événement redouté : mobilisation excessive d'adhérence latérale
- Indicateur de risque : prédiction de l'adhérence mobilisée en virage
  - L'horizon électronique
    - Le GPS & la cartographie,
    - l'information bord de voie,
    - les autres véhicules
  - Le comportement conducteur



Évaluation et prédiction de l'adhérence mobilisée

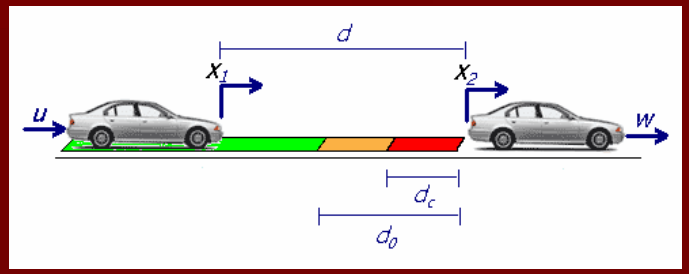
- Bande de roulement
  - Géométrie : Courbure, dévers, pente
  - Adhérence
- Le véhicule
  - Évaluation des efforts
  - Couplage
- Le conducteur
  - Vitesse et accélération
  - Horizon temporel
- Les actions SAVV
  - Plusieurs niveaux d'alerte
  - Réduire la vitesse

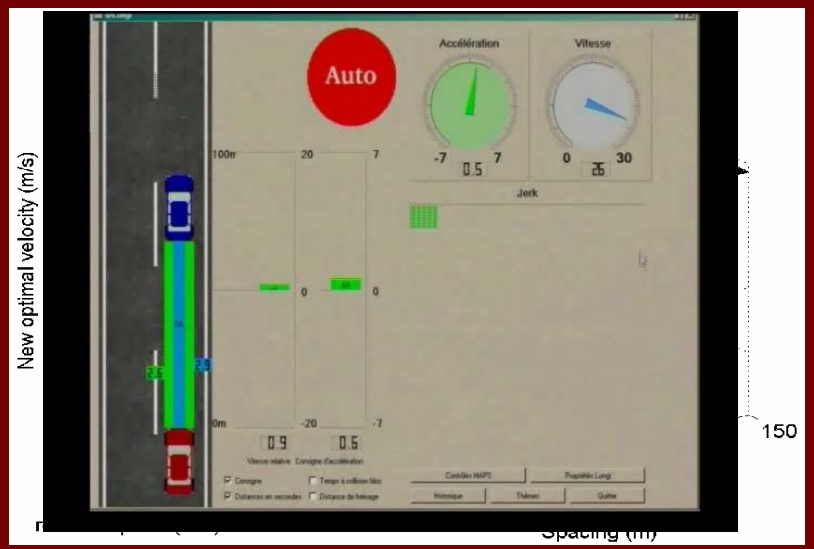


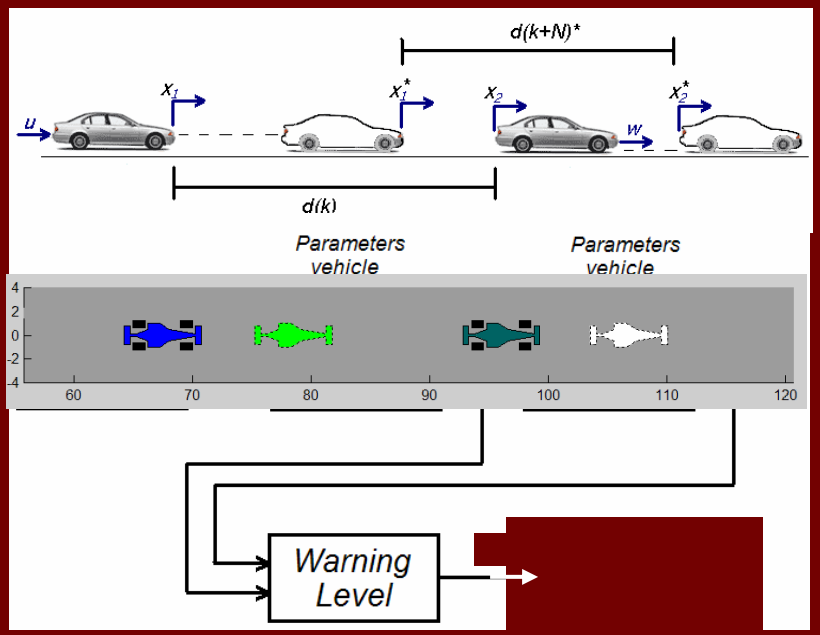


Inter-distance et risque de collision

- Un modèle de référence dynamique
  combinant confort et sécurité
  - Vert : zone de confort
  - Orange : zone d'alerte
  - Rouge : zone de collision
- Perception des mobiles et obstacles, visibilité
- Deux approches pour le risque
  - La prédiction (modèle dynamique, adhérence, transfert de charge,...)
  - Le TTC et la vitesse optimale

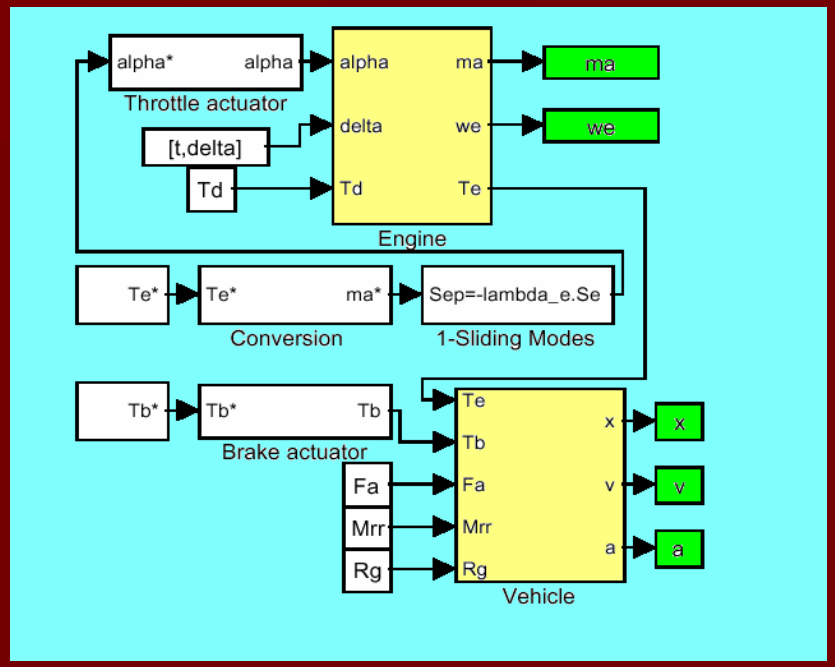




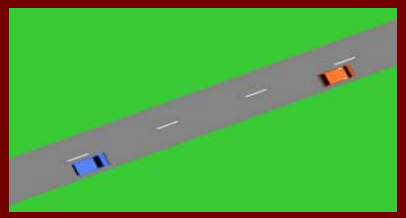


$$S = (x - x_l) + (L + h\dot{x})$$

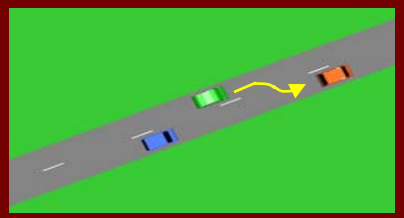
$$\dot{u} = \begin{cases} -u \quad if \quad |u| > |u_{eq}| \\ -K_M sign(S) \quad if \quad S\dot{S} > 0 \ and \ |u| \leqslant |u_{eq}| \\ -k_m sign(S) \quad if \quad S\dot{S} \leqslant 0 \ and \ |u| \leqslant |u_{eq}| \end{cases}$$



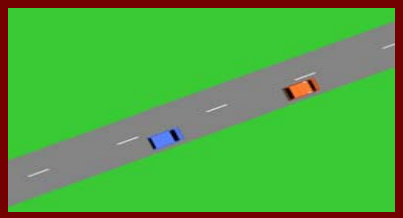
Scenarios testés



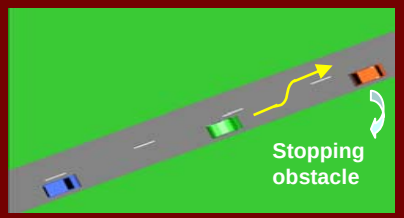
Suivi de véhicule



Suivi de véhicule avec insertions

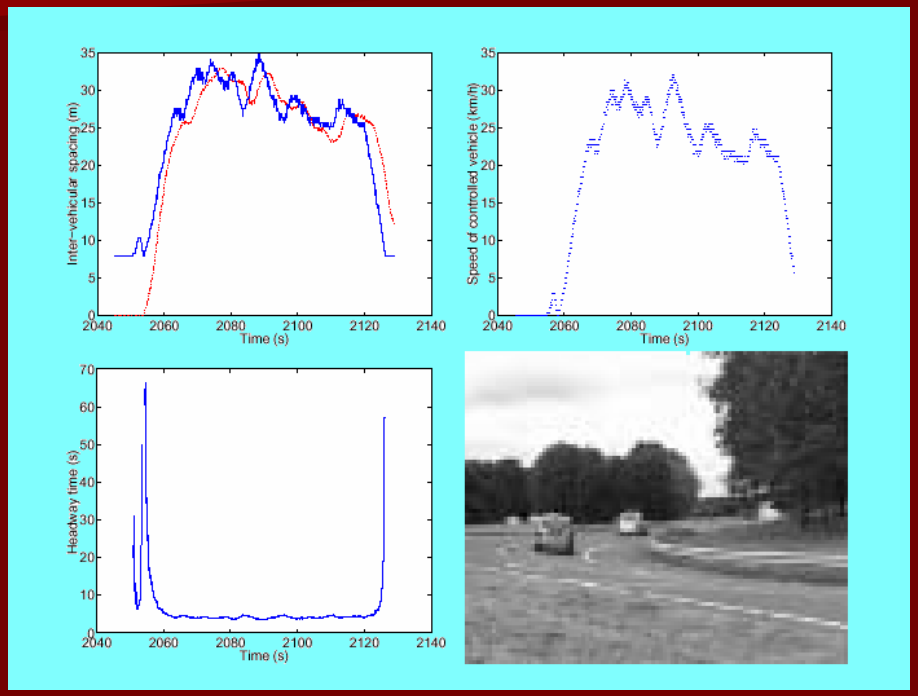


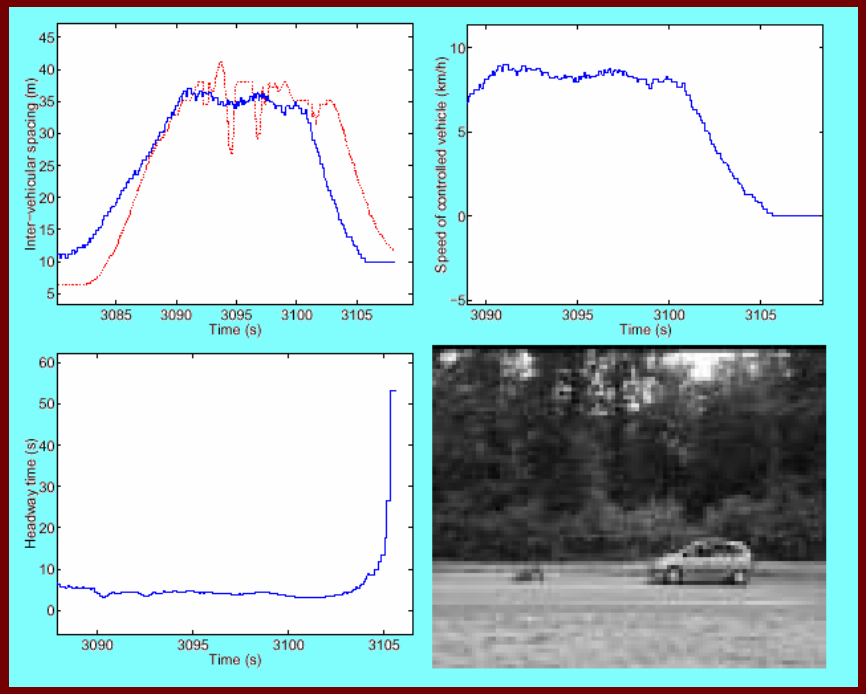
Stop & Go



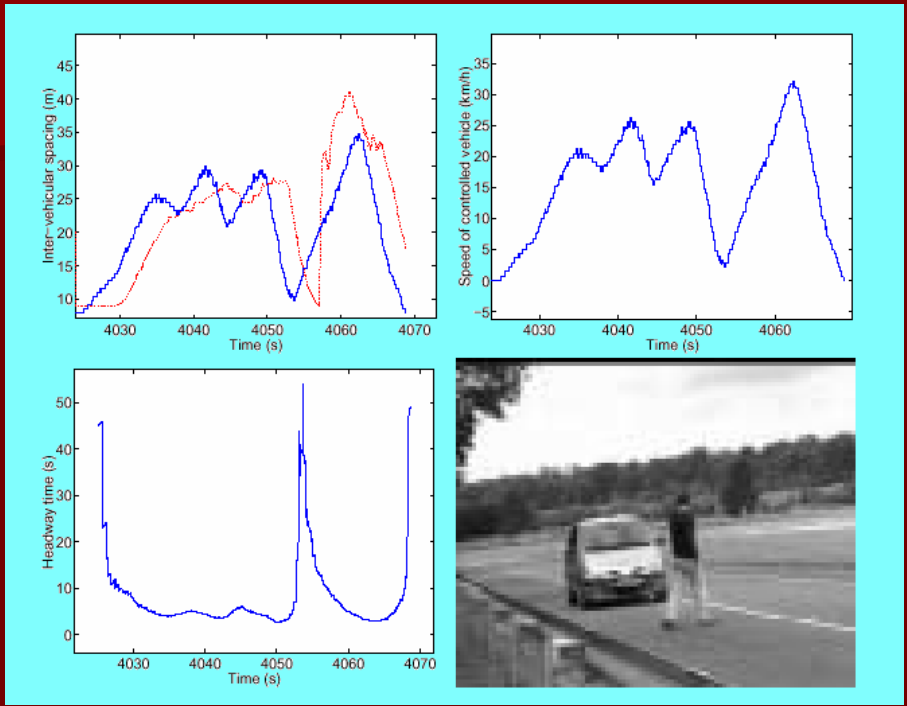
Suivi de véhicule avec arrêt sur obstacle

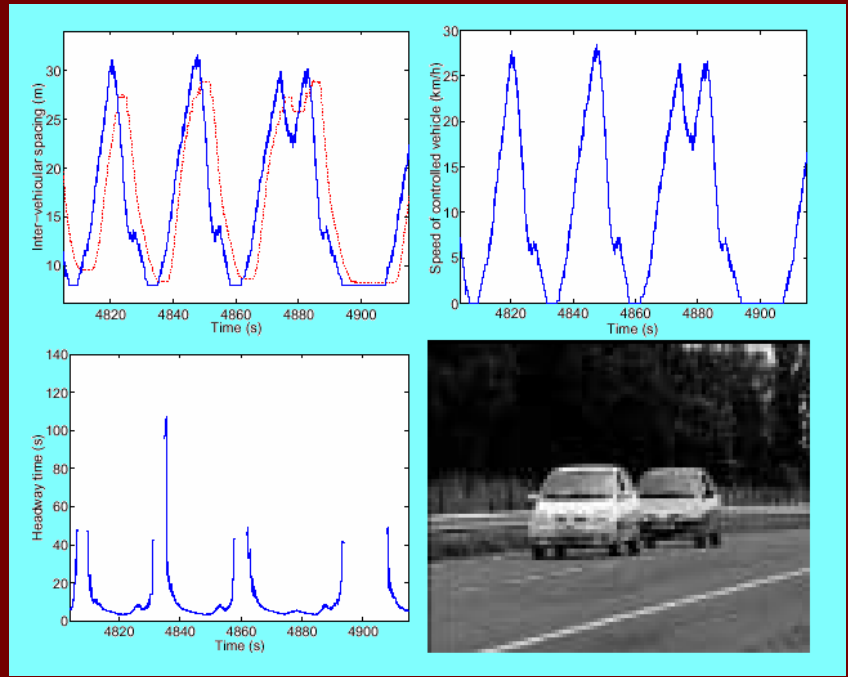
Scénario 1 : Suivi automatique de véhicule

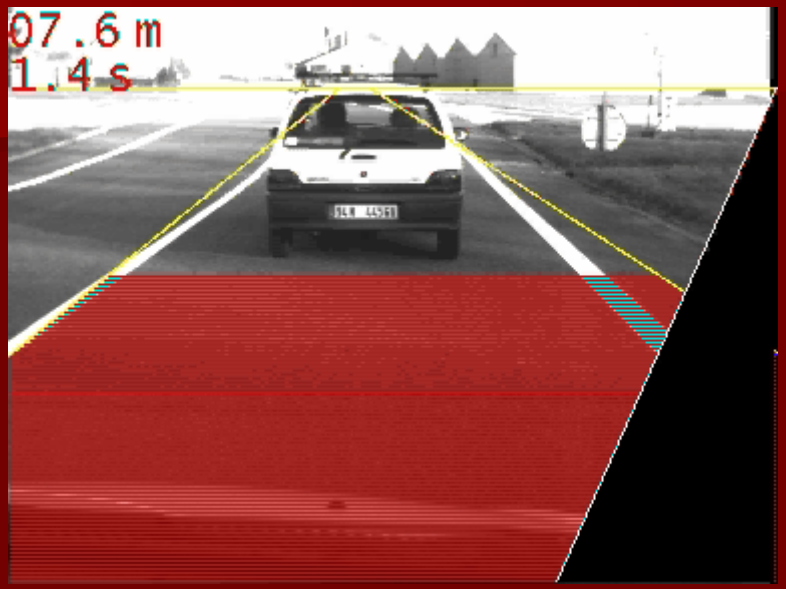


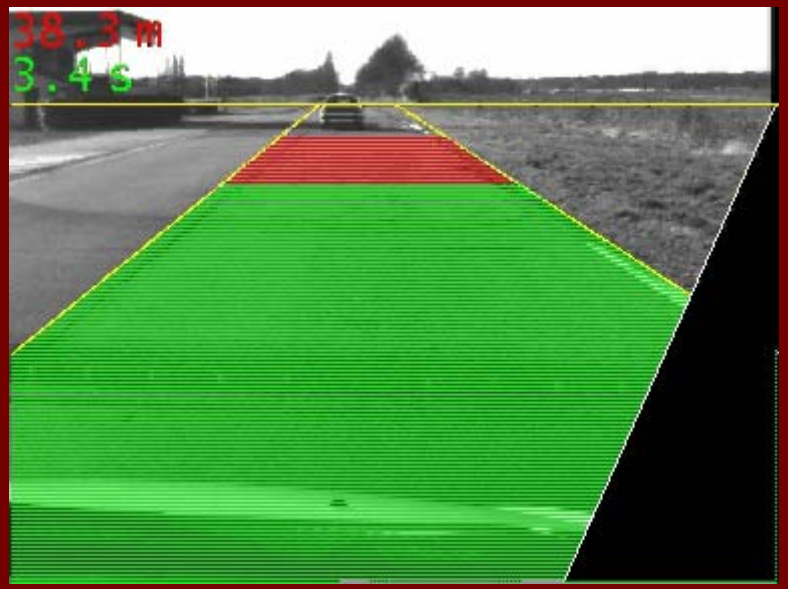


Scénario 3 : Arrêt sur piéton






07.6 m
1.4 s


38.3 m
3.4 s

Conclusion partielle et perspectives

- Le risque dans le domaine routier est une notion complexe
  - Environnement non maîtrisé
  - Le conducteur peut être conscient ou pas du danger
  - Différents horizons temporels doivent être considérés et combinés
- La notion de risque est fortement liée
  - au temps de réaction du conducteur,
  - à l'adéquation des actions conducteurs avec la situation,
  - au comportement des autres usagers
- La maîtrise du risque
  - Anticiper et maîtriser un événement non perçu
  - Limiter les conséquences d'un événement
  - Les difficultés
    - La mesure ou le calcul des grandeurs
    - Effet des couplages
    - En faire une grandeur de commande
    - Quantifier l'effet combiné des actions conducteur et automate