



LIVIC

**Laboratoire sur les Interactions
Véhicules-infrastructure-conducteurs**

La conduite en conditions limite par contrôle sur un modèle non-linéaire du véhicule : approche affine par morceaux, robustesse prouvée

**Mariana NETTO **, André BENINE NETO **, Stefano SCALZI ++,
William PASILLAS-LEPINE § , Saïd MAMMAR #**

**** LIVIC – LCPC/INRETS, Versailles**

En collaboration avec :

++ Electronic Eng. Department, Univ. of Rome Tor Vergata

§ L2S – CNRS, SUPELEC, Gif-sur-Yvette

IBISC, Evry

Plan de la presentation

Partie I : problématique et nouveaux concepts

- Motivation
 - accidents et forts changements actuels
- Nouveau concept pour les ADAS
- Situations cibles

Partie II : Contrôle

- Pourquoi un modèle non-linéaire
- Modélisation affine par morceaux
- Littérature sur les systèmes PWA : les défis en automatique
- Analyse fonctionnelle du problème à résoudre
- Rappel sur les fonctions de Lyapunov quadratiques par morceaux
- Solution proposée
- Analyse de robustesse
- Evolutions actuelles
- Evolutions futures

Partie I : problématique et nouveaux concepts

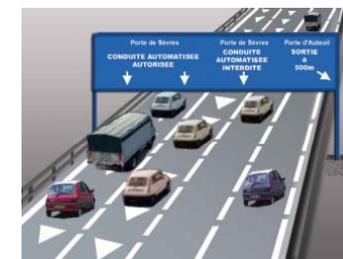
Motivation

1. Accidentologie

- Collisions latérales :
 - Aux Etats-Unis, 28.5% des accidents mortels
 - En France, 30% des accidents corporels à 16% des accidents mortels.
- + collisions frontales

2. Changements actuels

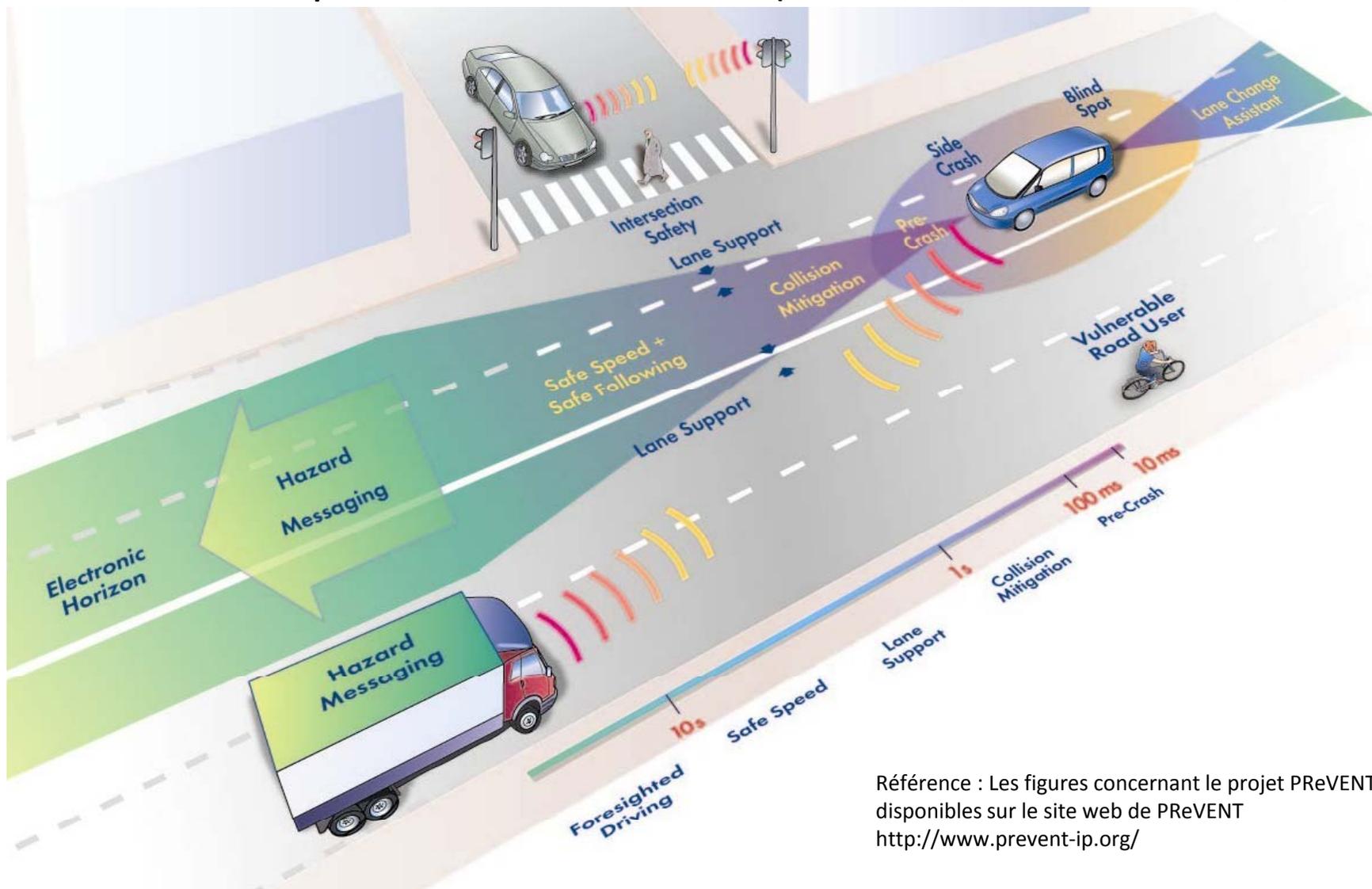
- L'introduction de nouvelles philosophies et de nouveaux concepts de mobilité en ville
- La route communicante et intelligente
- Véhicules décartonnés



➔ **Prise en compte de ces changements de contexte dans l'évolution des ADAS**

Expérience acquise dans PReVENT

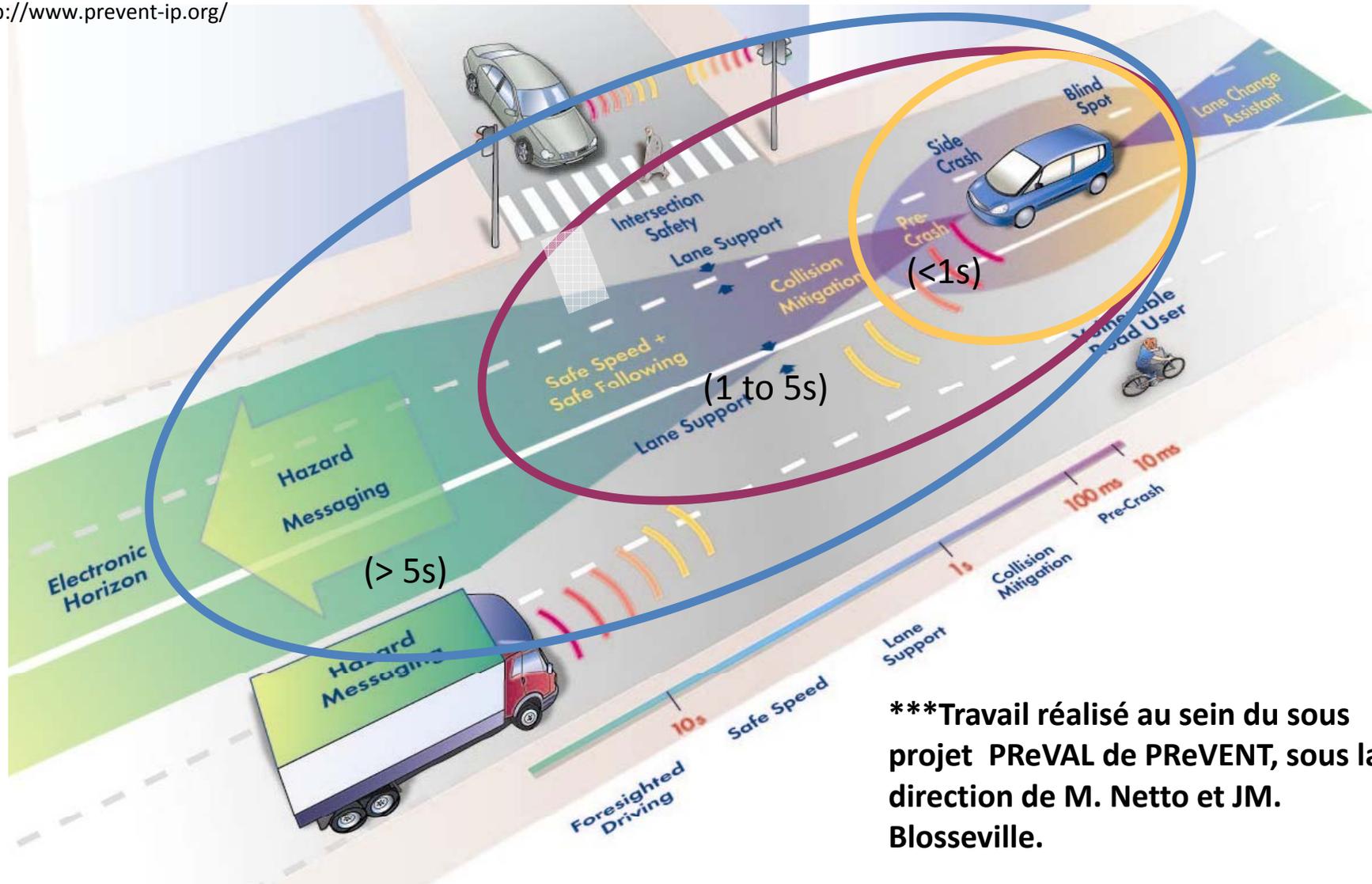
Différentes temporalités d'assistance: ($< 1 \text{ sec}$), ($1 \text{ sec} < t < 5 \text{ sec}$), ($> 5 \text{ sec}$)



Référence : Les figures concernant le projet PReVENT sont disponibles sur le site web de PReVENT <http://www.prevent-ip.org/>

Systemes d'assistance à la conduite classifiés en 3 groupes***

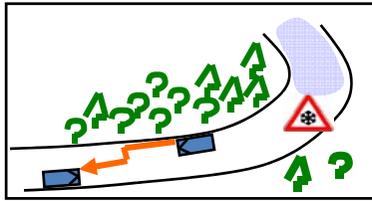
Référence : Les figures concernant le projet PREVENT sont disponibles sur le site web de PREVENT <http://www.prevent-ip.org/>



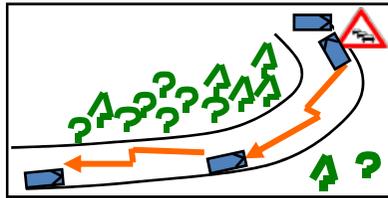
***Travail réalisé au sein du sous projet PREVAL de PREVENT, sous la direction de M. Netto et JM. Blosseville.

Systèmes d'assistance à la conduite en 3 groupes***

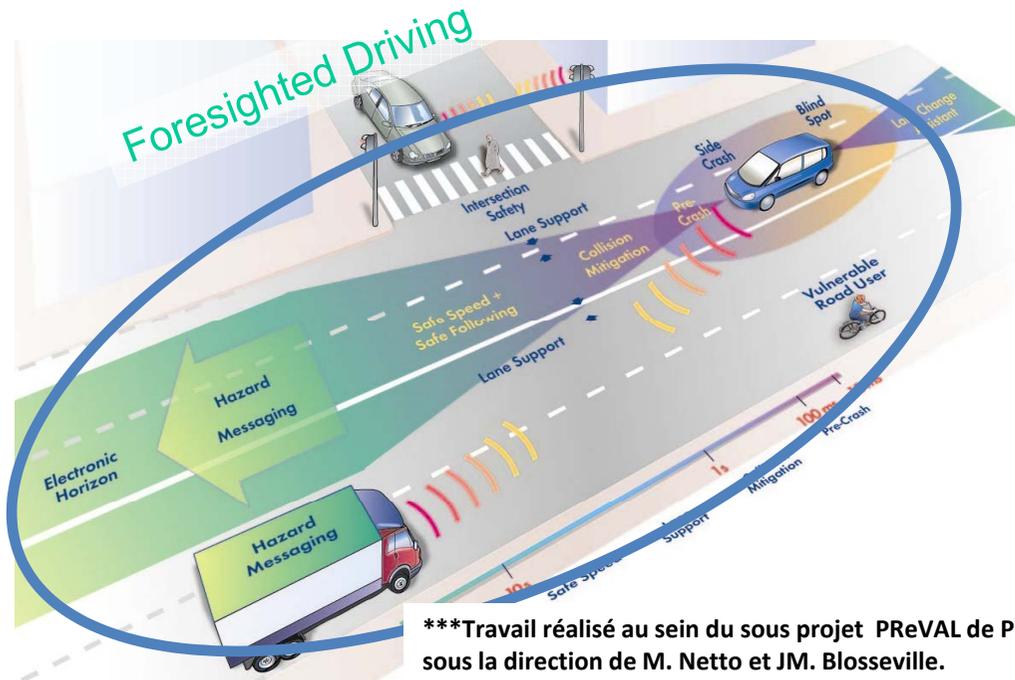
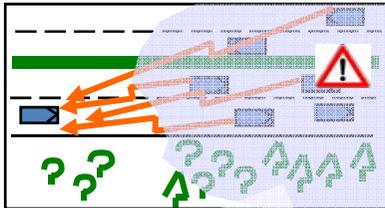
Low friction
on rural
road



Obstacle
behind a
curve



Low
visibility



***Travail réalisé au sein du sous projet PREVAL de PREVENT, sous la direction de M. Netto et JM. Blosseville.

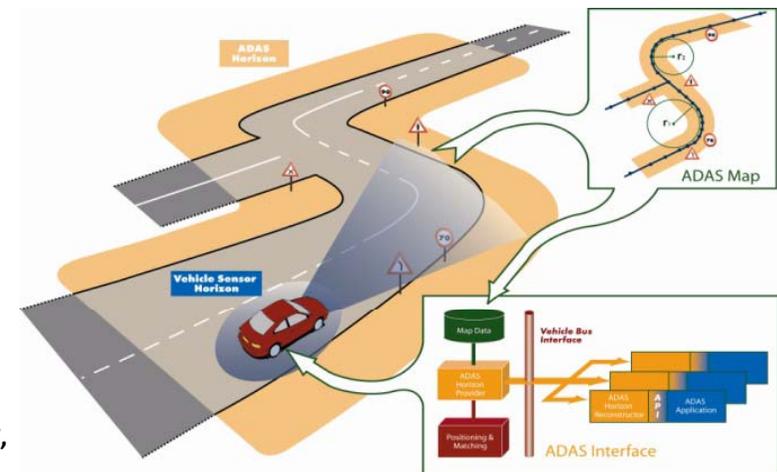
Référence : Les figures concernant le projet PREVENT sont disponibles sur le site web de PREVENT <http://www.prevent-ip.org/>

GRUPE 1

- Interactions distantes (>5s)
(Précaution plus que prévention d'accidents)

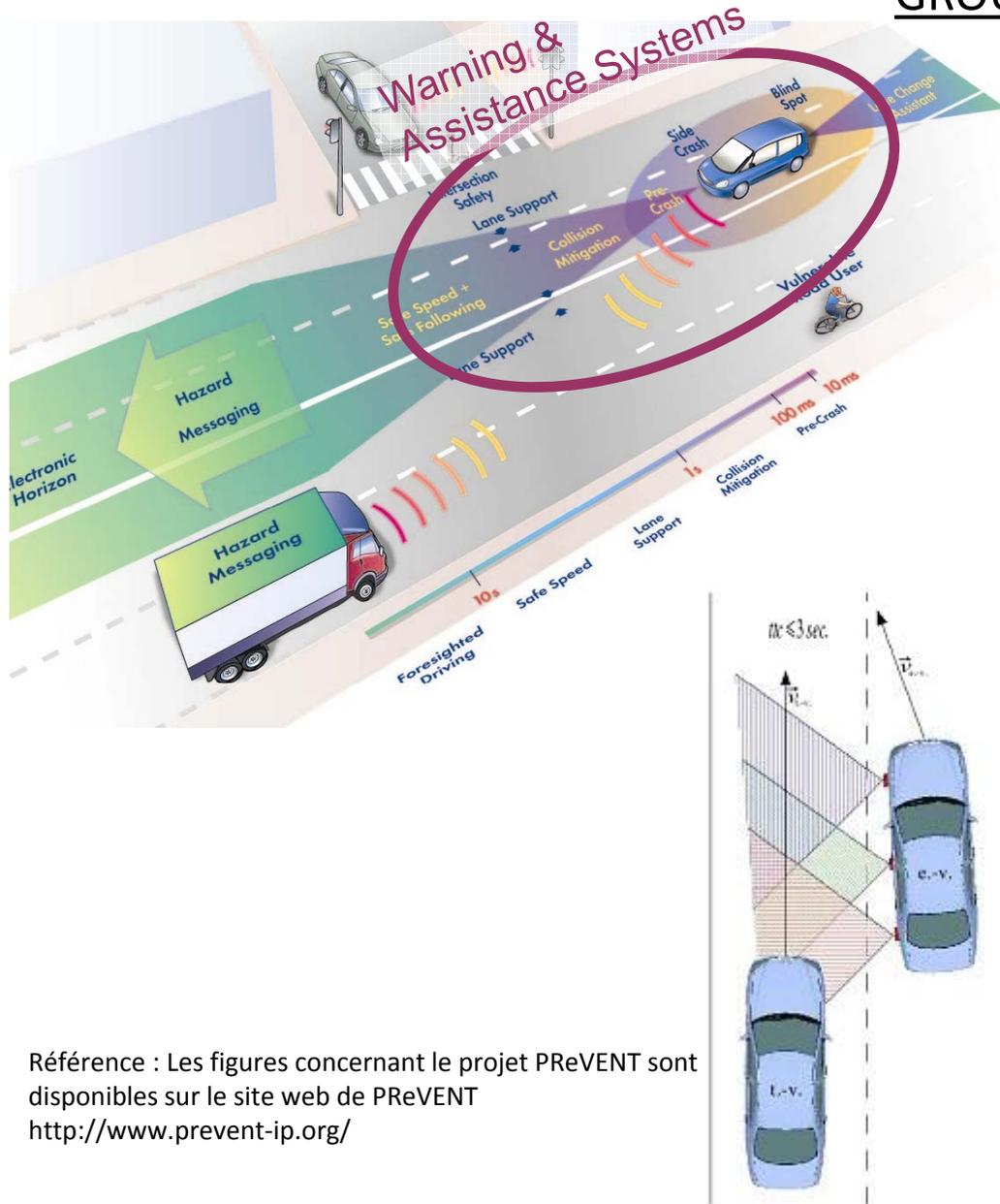
- Technologies embarquées ou non
- Mode informatif
- Challenges :

Distributing awareness of distant hazards



Systemes d'assistance à la conduite en 3 groupes***

GROUPE 2



Empan temporel court/moyen (1 to 5s).

- Interactions à 360°
 - Fort niveau de coopération entre le conducteur et l'assistance → Perception, Système de décision et HMI
 - 360° *bird view monitoring*
 - Interactions avec les véhicules autour (TTC<3s)
 - Système de contrôle actif qui puisse tenir compte de ces interactions
 - Ou système d'alerte

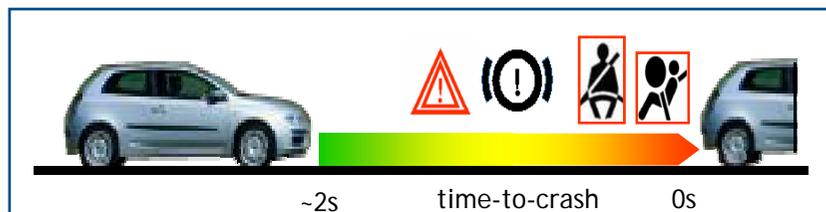
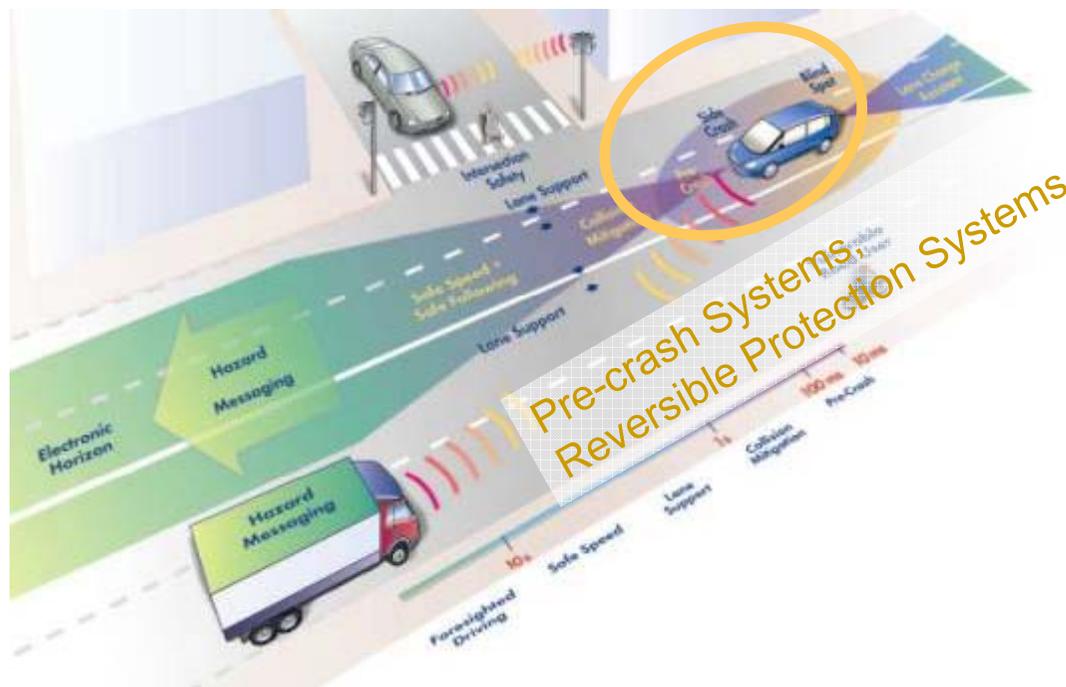
Référence : Les figures concernant le projet PREVENT sont disponibles sur le site web de PREVENT <http://www.prevent-ip.org/>

***Travail réalisé au sein du sous projet PREVAL de PREVENT, sous la direction de M. Netto et JM. Blosseville.

Systemes d'assistance à la conduite en 3 groupes***

GROUPE 3

Référence : Les figures concernant le projet PREVENT sont disponibles sur le site web de PREVENT <http://www.prevent-ip.org/>



– Interactions très courtes (<1s)

- Technologies embarquées
- Pre-crash, prévention et mitigation de collision, **par freinage actif**

- Collisions frontales imminentes,
- Collisions frontales et latérales dans les carrefours

• Challenges

- Détection dans un empan temporel très court
- Prédiction de la trajectoire (notamment dans les carrefours) afin de déterminer l'occurrence ou pas, de la collision

***Travail réalisé au sein du sous projet PREVAL de PREVENT, sous la direction de M. Netto et JM. Blosseville.

Quelques systèmes déployés dans le marché et les 3 groupes

Systèmes pour maintenir le véhicule dans sa voie de circulation :

1. Nissan : par caméra, le couple du système s'ajuste pour garder le conducteur actif
2. Toyota Lexus LS 460 : système de braquage actif, par caméra.
3. Honda : adaptive cruise control + LKS pour réduire la charge du conducteur

80% du couple fourni par l'assistance

LKS = Lane Keeping system

20% fourni par le conducteur

4. AFIL, de PSA, système d'alerte, HMI

➔ Systèmes appartenant au groupe 2 :

- action sur le braquage **ou** sur le mode longitudinal (ACC)
- capteurs embarqués, empan temporel moyen

Quelques systèmes déployés dans le marché et les 3 groupes

Systemes pour maitriser la dynamique du véhicule dans des situations d'urgence ou pas:

1. ESP
2. ABS
3. Ratio variable entre l'angle au volant et l'angle aux roues pour l'aide à la manoeuvrabilité du véhicule : Toyota Lexus LS 460

➔ Systemes qui ne font pas partie des 3 groupes de PReVENT. Pourquoi? Parce que ils ne contiennent pas de capteurs exteroceptifs et donc ne perçoivent pas l'environnement autour.

Evolution des systèmes d'assistance vers un nouveau concept

Systemes :

→ qui puissent agir dans un empan temporel très court, **tel que dans le groupe 3.**

→ équipés de capteurs pour monitorer les événements autour du véhicule et qui agissent sur le braquage des roues, **tel que dans le groupe 2.**

→ équipés de communications V-V et V-I, dans le cadre d'une route intelligente, **tel que dans le groupe 3.**

→ et qui intègrent **l'action sur plusieurs actionneurs**, tels que

- l'actionneur sur la colonne de direction
- les freinage/ accélération
- le moment de lacet généré par un freinage différentiel dans chaque roue.

Situations cibles, habilitées par le concept défini

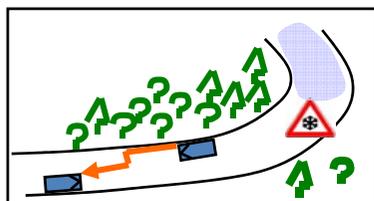
SC1. Evitement d'obstacle en situations d'urgence

SC2. Changement de voie automatisé dans un trafic dense

SC3. Retour à la voie après glissement sur verglas

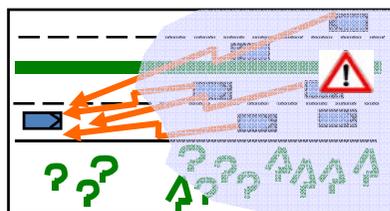
Quel influence des communications dans les paramétrage des assistances pour ces situations cibles?

Low friction
on rural
road



- Dans SC3, le véhicule serait informé avant de zones de basse adhérence et arriverait dans ces zones à une vitesse longitudinale moins élevée.

Low
visibility



- Dans SC1, de la même façon, le conducteur étant informé d'une basse visibilité, la vitesse longitudinale de l'évitement de l'obstacle serait moins élevée.

Nouveaux concepts de sécurité dans les véhicules et évolution des véhicules

Le véhicule électrique, notamment, dans la configuration de quatre roues actionnées par des moteurs indépendants, renforce l'analyse faite précédemment.

- aussi, nouveaux paramètres liés au poids, à la force d'accélération – une étude nouvelle!.....

Partie II : Contrôle

Défis en automatique pour la conception de ces systèmes

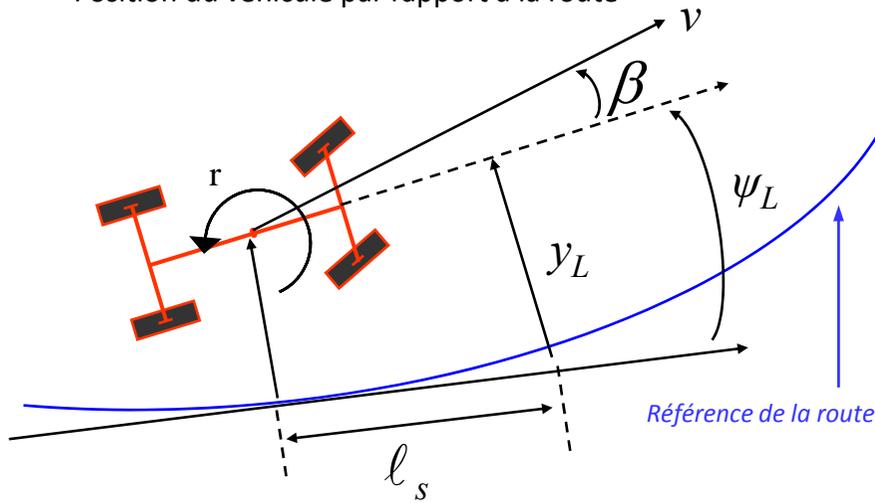
- Commande sur modèle non-linéaire, notamment pour la prise en compte des forces de contact non-linéaires pneumatique-chaussée (1)
- Commande multivariable, car sur plusieurs actionneurs (2)
- Commande simultanée de la dynamique et du positionnement du véhicule, compte tenu de (1) et (2)

.... En supposant que nous avons les bonnes entrées de positionnement relatif vis-à-vis des autres véhicules et de la route – défis également liés à la perception de la route...

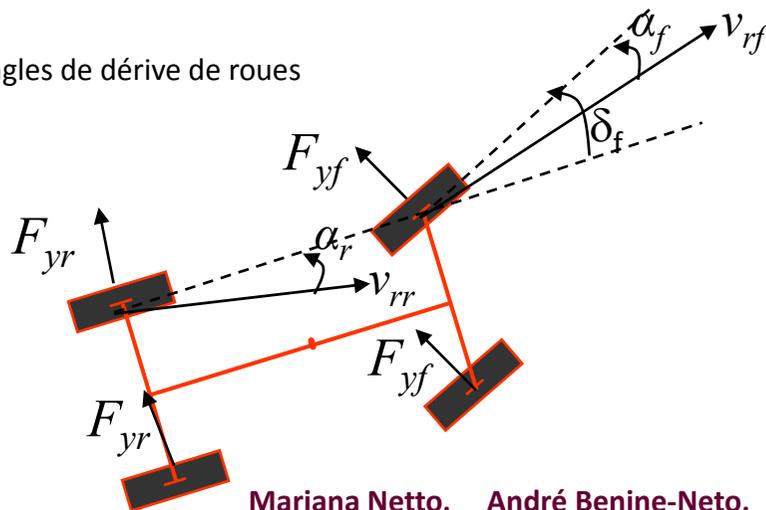
Modélisation non-linéaire

Dynamique Latérale

Position du véhicule par rapport à la route



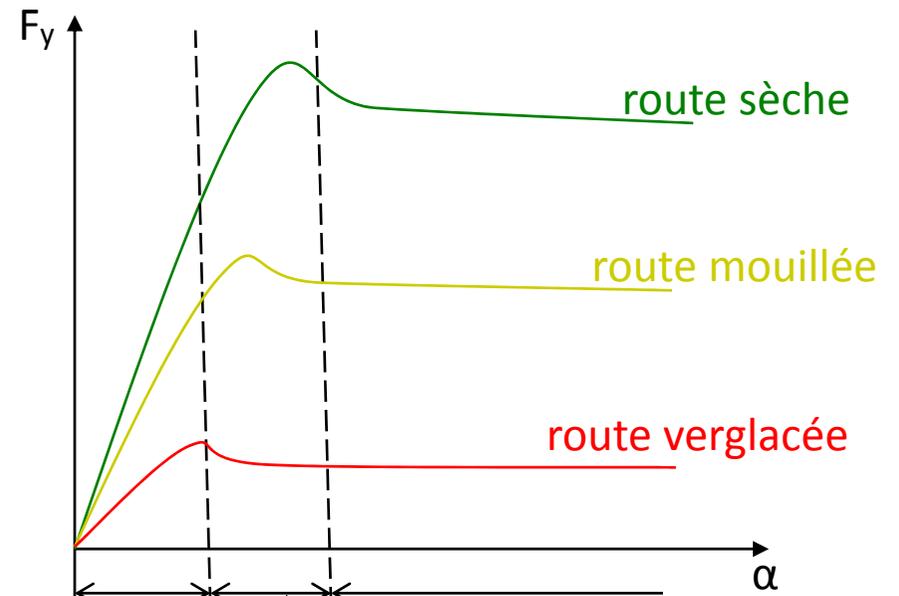
Angles de dérive de roues



Force de contact pneumatique chaussée

expression non-linéaire:

$$F_y = D \cdot \sin\{C \cdot \text{atan}[B \cdot \alpha - E \cdot (B \cdot \alpha - \text{atan}(B \cdot \alpha))]\}$$



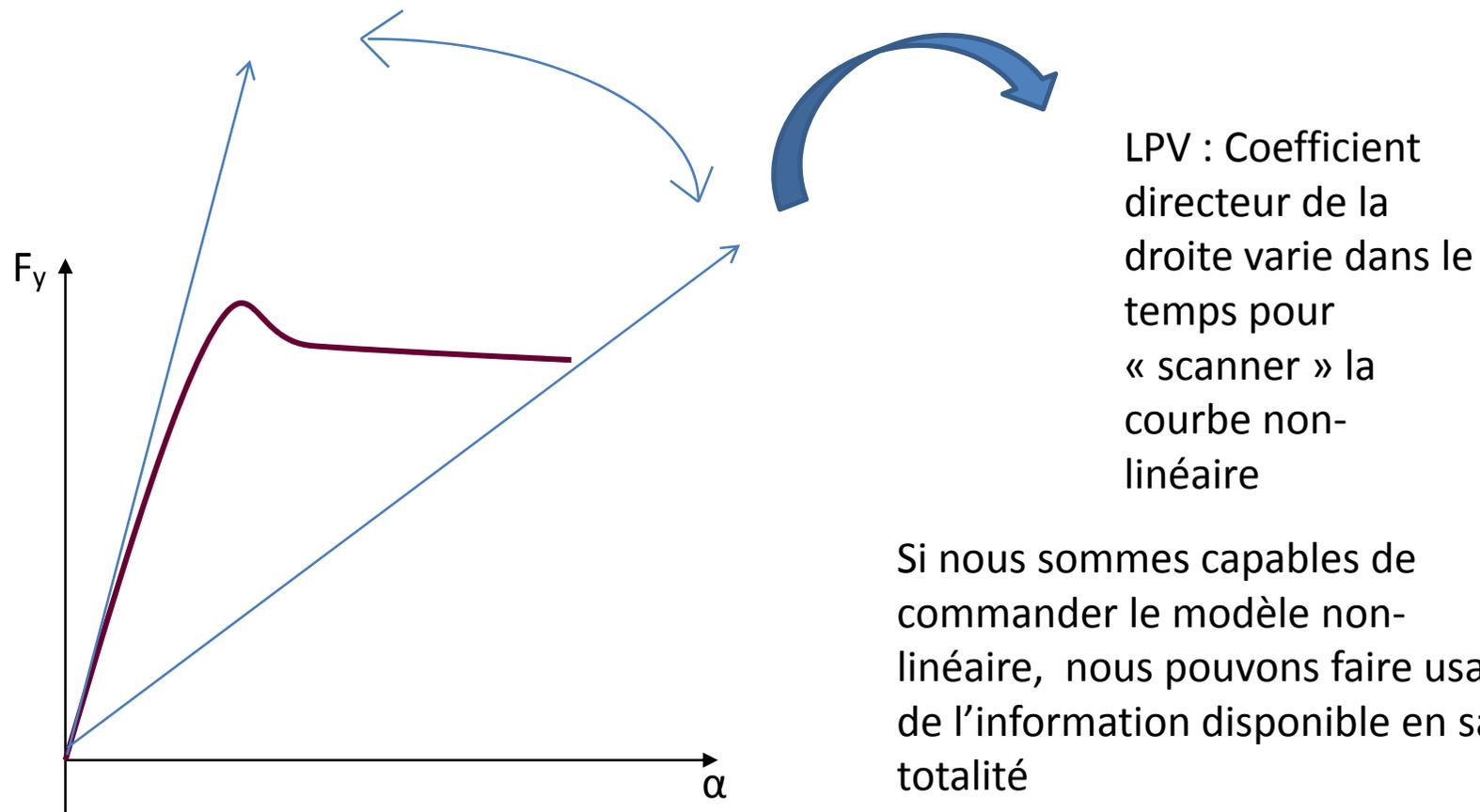
pseudo glissement linéaire

glissement total

pseudo glissement et glissement

Pourquoi un modèle non-linéaire et non un modèle linéaire à paramètres variants?

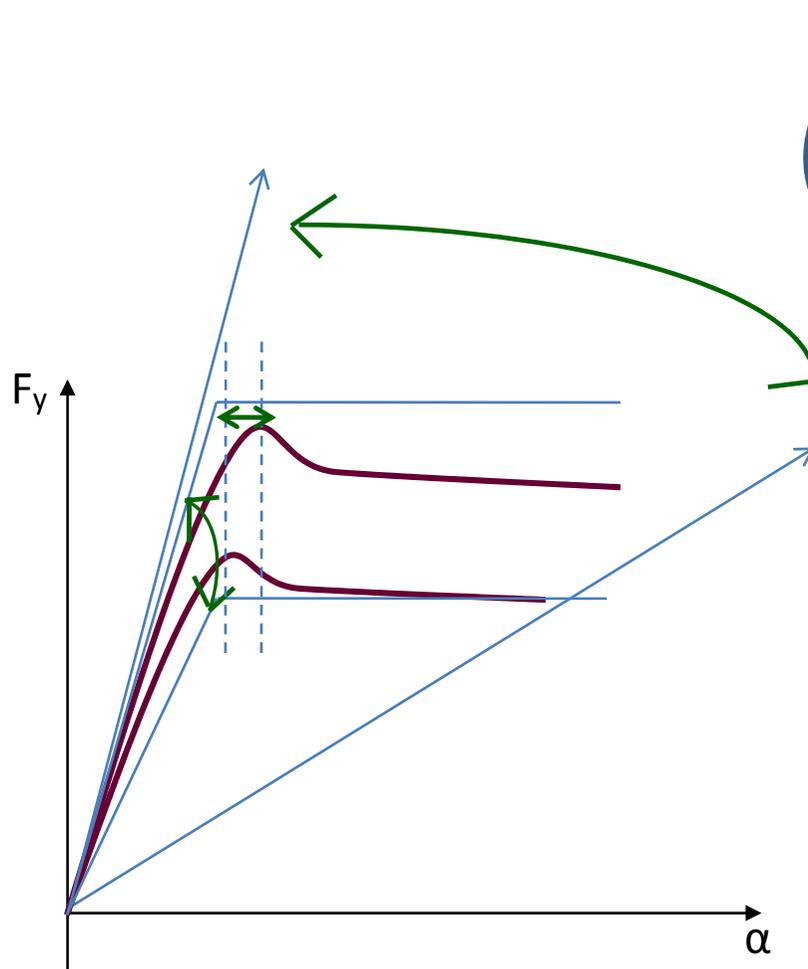
Prenez le contexte d'une route d'adhérence connue et caractéristiques du pneu connues



Si nous sommes capables de commander le modèle non-linéaire, nous pouvons faire usage de l'information disponible en sa totalité

Pourquoi un modèle non-linéaire et non un modèle linéaire à paramètres variants?

E dans le cas d'incertitudes sur la courbe :



L'incertitude se fait dans des intervalles beaucoup plus faibles, par moyen de deux paramètres

→ Route sèche, ou pluie (information qui peut venir par la route communicante)

Pourquoi un modèle non-linéaire et non un modèle linéaire à paramètres variants?

Dans le modèle de Ackerman du véhicule, linéaire à paramètres variants, la matrice \mathbf{A} est non-linéairement paramétrée en \mathbf{v} (vitesse).

Tenant compte de deux paramètres \mathbf{C}_f et \mathbf{C}_r , pour « scanner » les deux courbes de forces non-linéaires et de \mathbf{v} , \mathbf{A}_i contient 3 paramètres. On introduit un quatrième pour rendre \mathbf{A}_i linéairement paramétrée;

On doit satisfaire (sans rebouclage):

$$A_i(p_1, p_2, p_3, p_4)^T P + P A_i(p_1, p_2, p_3, p_4) < 0$$
$$p_1 \in [a_1, a_2], \quad p_2 \in [b_1, b_2], \quad p_3 \in [c_1, c_2], \quad p_4 \in [d_1, d_2]$$

⇒ si A_i est linéaire dans p_1, p_2, p_3 et p_4 , alors, il suffit des tester l'équation de Lyapunov dans chaque vertice

→ 16 équations de Lyapunov

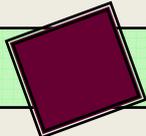
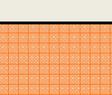
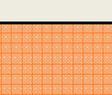
Pourquoi un modèle non-linéaire et non un modèle linéaire à paramètres variants?

Deux solutions :

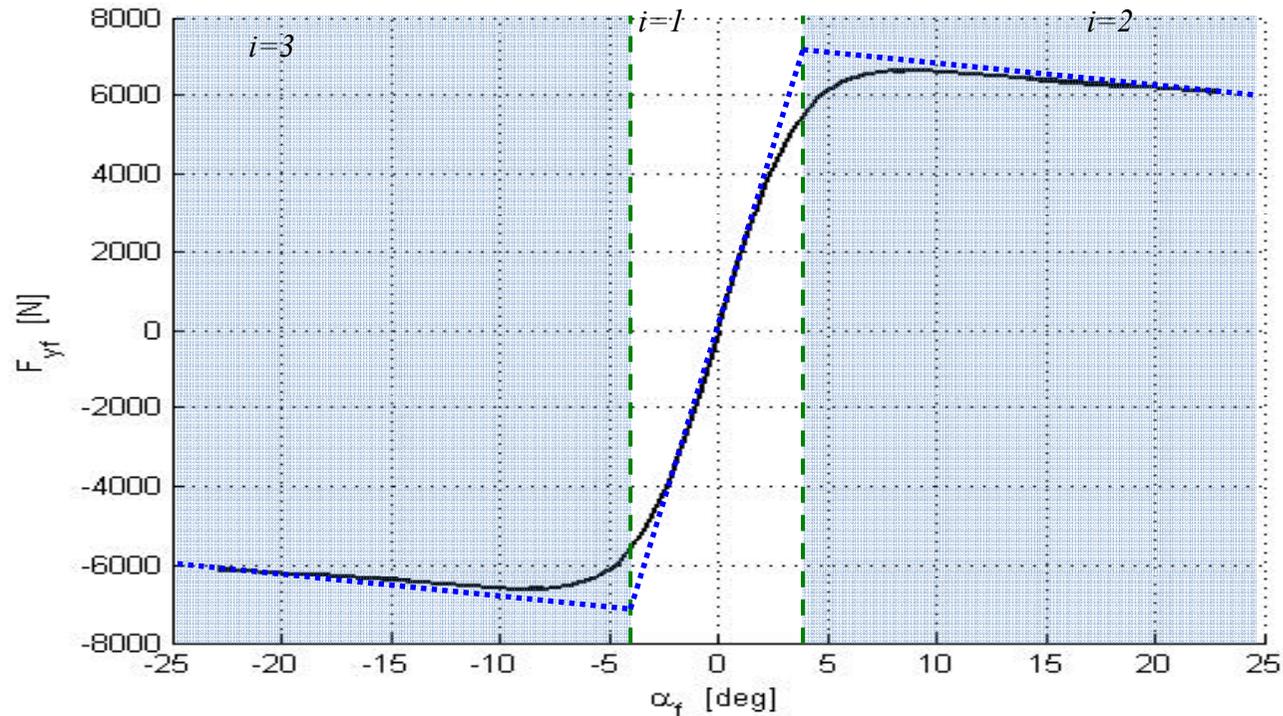
- Commander le système non-linéairement paramétrée (netto et al, 2001 (IJC) et 2006 (ISTE book)).
Soumission à IEEE TAC, en collaboration avec le MIT, Supélec et Rome, prévue bientôt (Netto, Annaswamy, Ortega, Scalzi)
- éviter des paramètres variants dans le temps ou réduire l'intervalle d'incertitude (discussion précédente)

→ En réduisant de 4 à 3 paramètres, au lieu de 16, nous avons à satisfaire 8 équations de Lyapunov!

Commande à fortes instabilités : analyse fonctionnelle du problème à résoudre

	Dynamique (β, r)	Dynamique & Positionnement (β, r, y_L, ψ_L)
Modèle linéaire		
		
Modèle non-linéaire		
		

Solution par une modélisation affine par morceaux



$$\dot{x} = A_i x + a_i + B_i u \quad x = \begin{bmatrix} \beta \\ r \end{bmatrix}$$

Bibliographie, systèmes PWA

- Contrôle prédictif: (*A. Bemporad et al*)
- Contrôle optimal linéaire quadratique (*M. Johansson*)
- Contrôle par retour d'état avec Fonction de Lyapunov globale quadratique (*A. Hassibi et al*)
- Ding, Lazar, ..

Fonctions de Lyapunov pour les systèmes PWA et défis

- Fonction de Lyapunov quadratique globale (QG)
 - Fonction de Lyapunov quadratique par parties (QPP)
- $$\begin{cases} \dot{x} = A_i x + a_i + B_i u \\ y = C_i x + c_i + D_i u \end{cases}$$

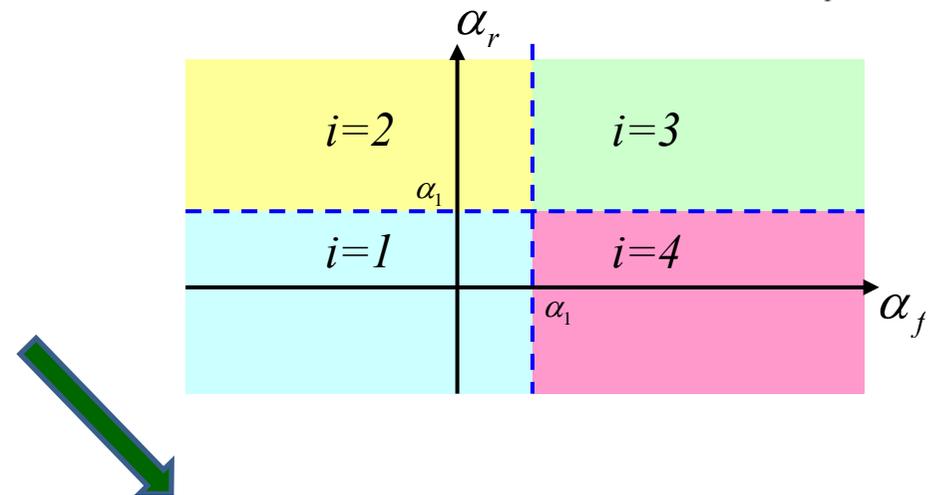
$$x \in X_i.$$

→ Défis 1 : il est difficile d'intégrer la :

(connaissance de dynamiques différentes pour chaque partie)

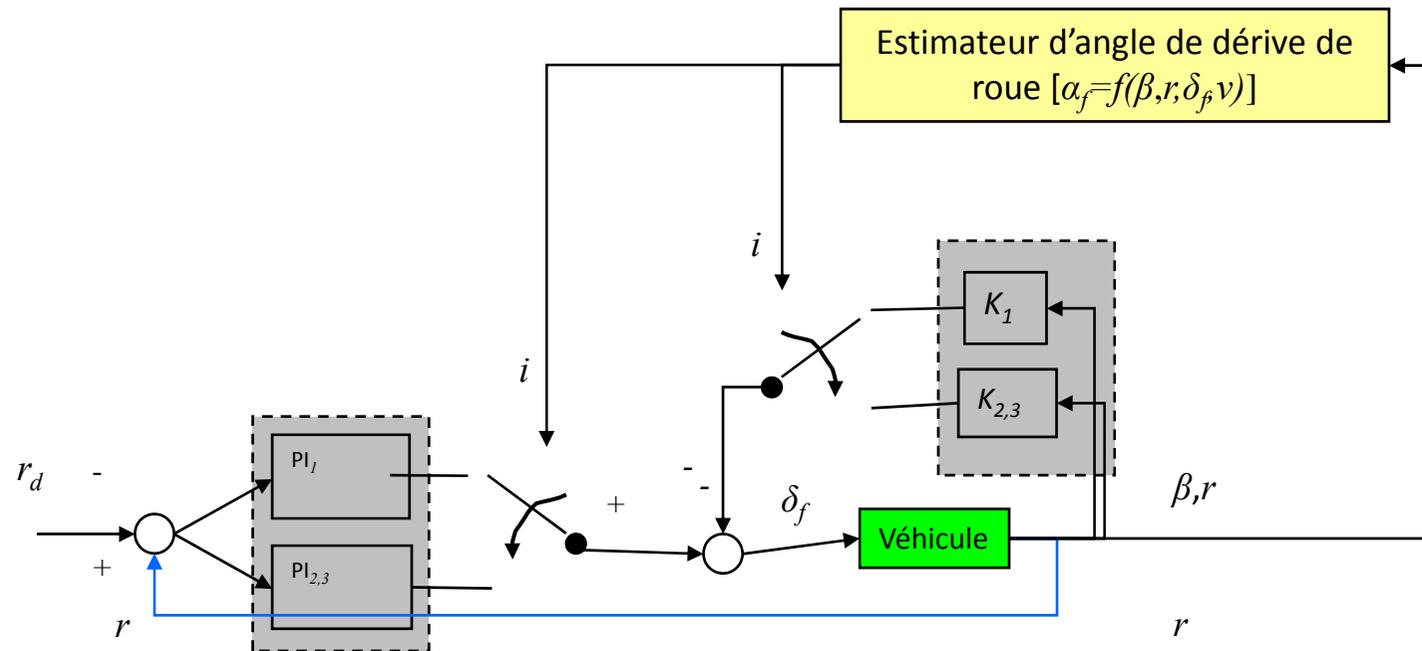
car la plupart des résultats avec stabilité assurée utilisent une Fc de Lyapunov QG

→ Défis 2 : beaucoup plus de résultats avec stabilité assurée pour les systèmes PWL que pour PWA



$$\begin{cases} 0 < P = P^T \\ 0 > A_i^T P + P A_i \quad i = 1, \dots, L \end{cases}$$

Structure de la commande



Contrôleur affine par morceaux synthétisé par placement de pôles

$$\delta_f = -K_{xi}x + \delta_{fPI} \quad \delta_{fPI} = -K_{Pi}(r - r_d) - K_{Ii} \int_0^t (r - r_d) dv$$

$$x = [\beta, r]^T \quad = -K_{Pi}(r - r_d) - K_{Ii}\alpha_0. \quad i = 1, 2$$

Etapes pour l'analyse de stabilité

Changement de coordonnées :
Tq partitions fc de l'état

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} \alpha_f \\ \alpha_r \\ \alpha_0 \end{bmatrix}$$

$$\dot{\bar{x}} = \bar{A}_i \bar{x} + \bar{B}_i r_d + \bar{a}_i$$

De PWA à
PWL :

Système en
boucle
fermée
augmenté

$$\dot{x}_a = A_{ai} x_a + B_{ai} u_a + a_{ai}$$

$$x_a = [\beta, r, \alpha_0]^T$$

$$\bar{x}_e = [\bar{x} \quad 1]^T$$

$$\dot{\bar{x}}_e = \bar{A}_{e(i)} \bar{x}_e + \bar{B}_{e(i)} r_d$$

Modélisation
PWA

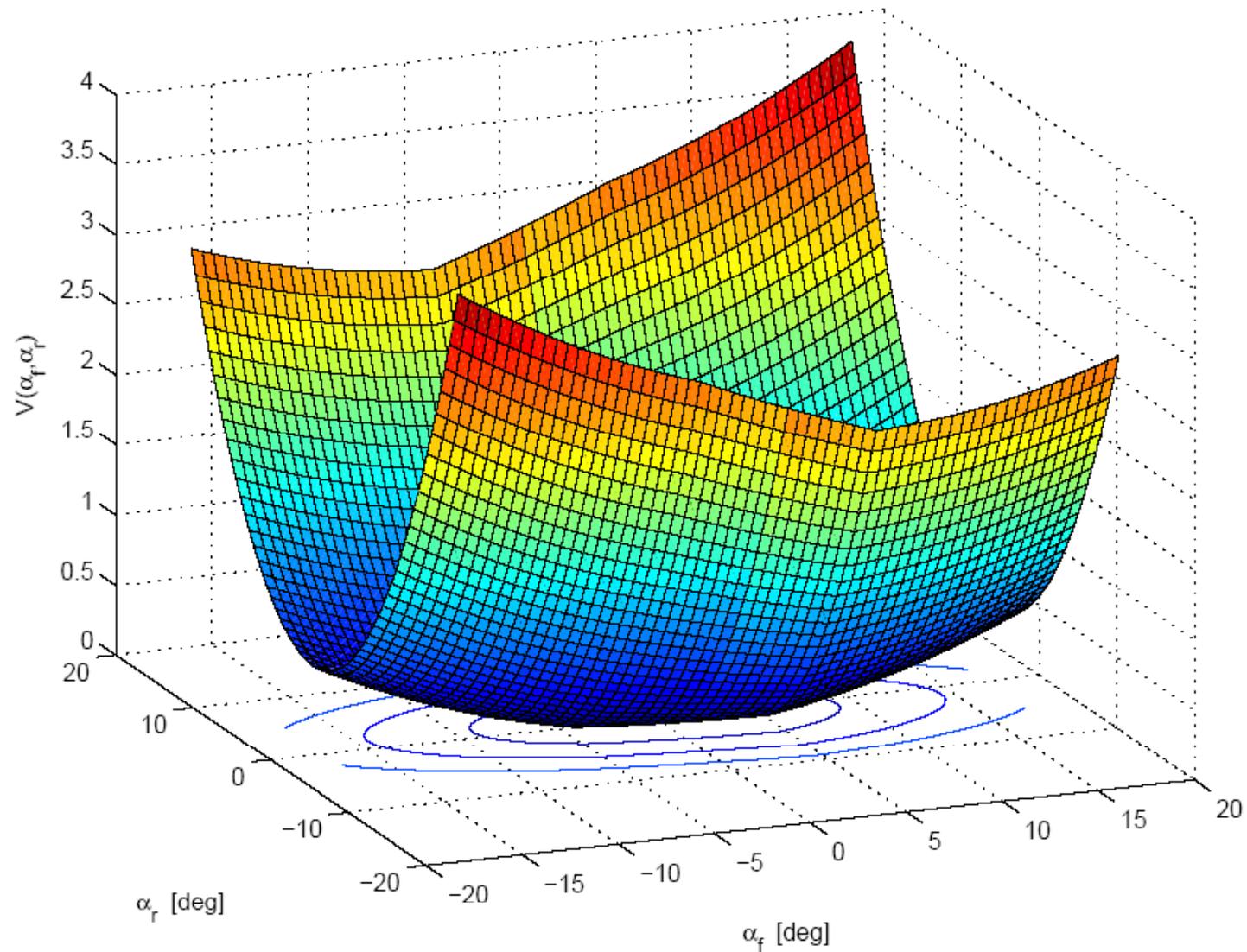
$$\dot{x} = A_i x + B_i u + a_i$$

$$x = [\beta, r]^T$$

Théorème de stabilité, dans
Mikael Johansson's pour la
preuve de stabilité (rd=0)

Système non-linéaire

Fonction de Lyapunov quadratique par morceaux



Simulations sur la robustesse

Simulations sur le modèle CarSim :

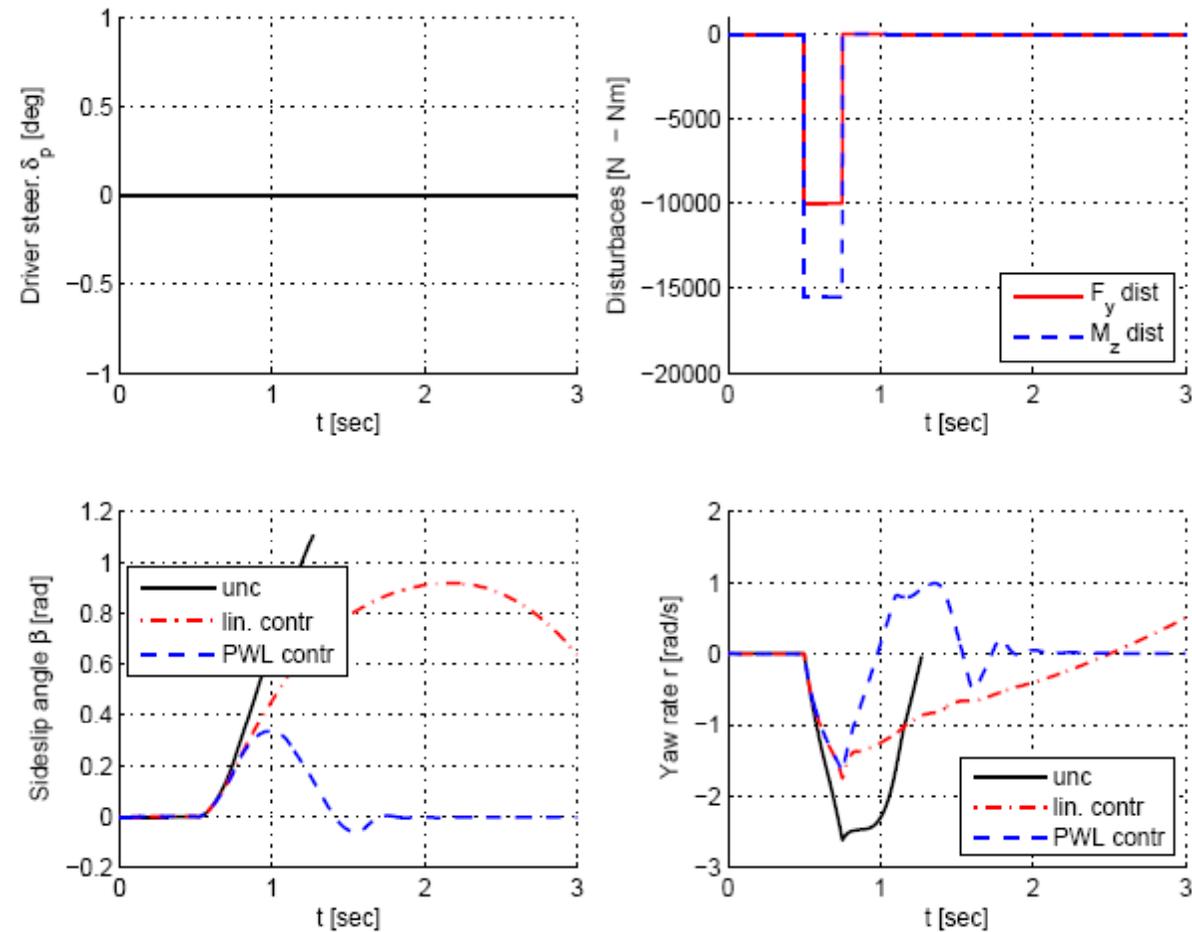
- Pour valider la solution proposée vis-à-vis des dynamiques non-modélisées (forces latérale et longitudinale non-linéaires combinées, effets non-linéaires de la suspension)
- Evaluer les améliorations de la solution PWA sur des différents scénarios ($v = 33$ [m/s]).

Simulations sur 3 configurations :

- véhicule non contrôlé
- véhicule équipé avec le contrôle sur la région linéaire uniquement
- véhicule équipé avec le contrôle PWA

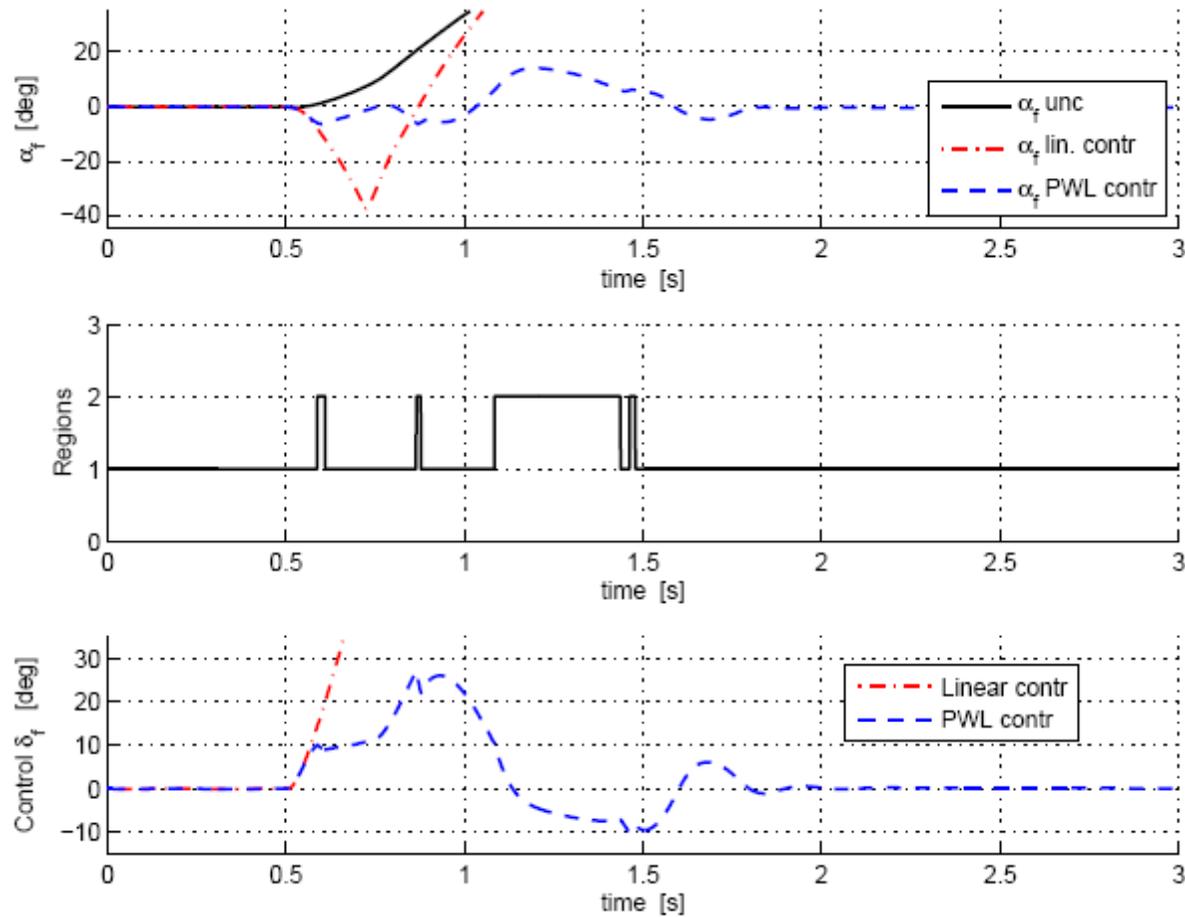
Simulations sur la robustesse

Réponse à des perturbations soudaines :



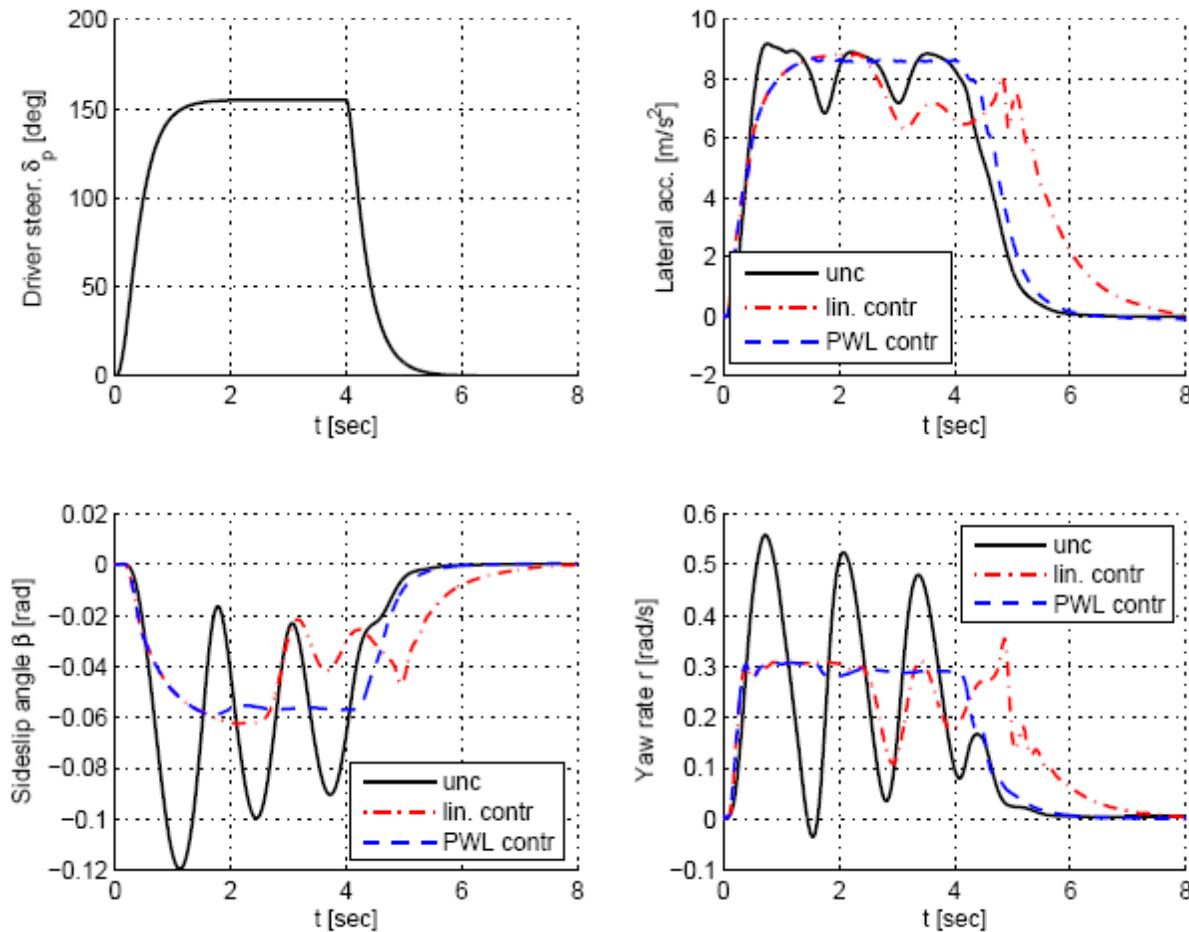
Simulations sur la robustesse

Réponse à des perturbations soudaines :



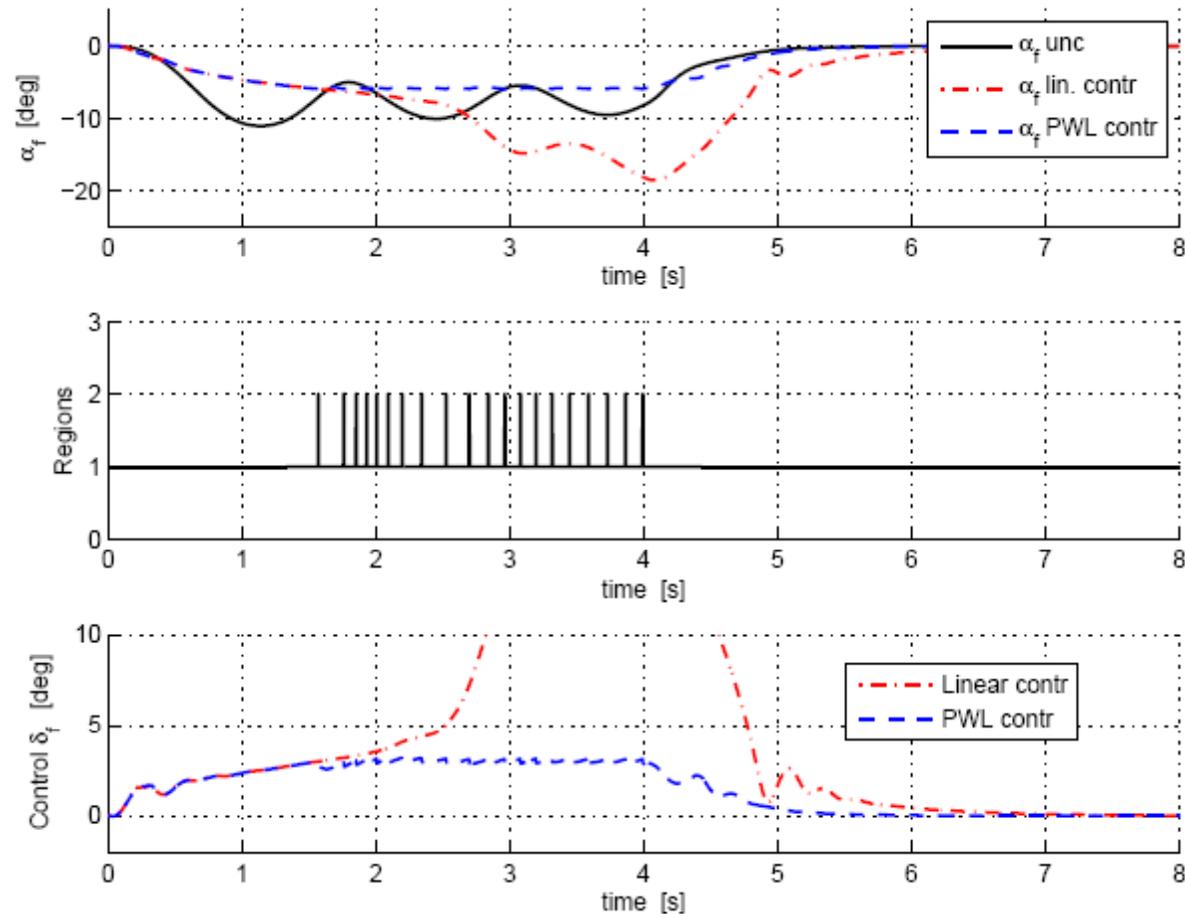
Simulations sur la robustesse

Réponse à des changements de direction soudains



Simulations sur la robustesse

Réponse à des changements de direction soudains :



Evolution actuelles

- Output feedback (CIFA)
- Contrôle de la dynamique + positionnement
 - Par une extension de cette approche sur modèle étendu
 - Via l'approche l'approche de Hassibi

Evolution futures

Il y a beaucoup à faire.... :

1. Avec action sur le braquage :

- Poursuivre l'étude du contrôle de la dynamique + positionnement
- Introduire l'incertitude sur la courbe des forces de contact
- Introduire la vitesse variable

2. Evoluer vers la réalisation du contrôle avec action sur le braquage et le moment de lacet sur modèle PWA

→ Etude des uses cases : benchmark pour l'étude de quelle assistance pour quel niveau d'instabilité?

Publications :

A. Benine-Neto, S. Scalzi, M. Netto, W. Pasillas-Lepine, S. Mammar, **La conduite en conditions limite : contrôle d'un modèle non-linéaire du véhicule par une approche affine par morceaux via le suivi d'une référence en vitesse de lacet**

CIFA, 2010, section invité commande robuste, → output feedback

S. Scalzi, M. Netto, A. Benine-Neto, S. Mammar, W. Pasillas-Lepine, **Active Steering Control Based on Piecewise Linear Regions ACC**, 2010 (accepté) → state feedback

M. Netto, A. Benine-Neto, S. Scalzi, W. Pasillas-Lepine, S. Mammar, **Recovering vehicle control after strong manoeuvres or low adherence conditions: a non-linear control approach towards a new concept**, TRA, 2010 → Nouveaux concepts de ADAS et extension pour commande de la dynam. + positionnement

Merci beaucoup pour votre attention !