



# Systeme de surveillance Véhicule- Infrastructure-Conducteur pour la détection des sorties de route des véhicules

H. Dahmani, M. Chadli, A. Rabhi, A. Elhajjaji  
Université de Picardie Jules Verne, Amiens

GT S3 2010 le 25 Mars 2010





- **Introduction**
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## • Motivation

Une disproportion entre le nombre d'accidents et les pertes humaines et matérielles.

### • Sorties de route:

Accidents: 7.8% , Tués :25% [VT IEEE magazine, mars 2009].

### • Renversements:

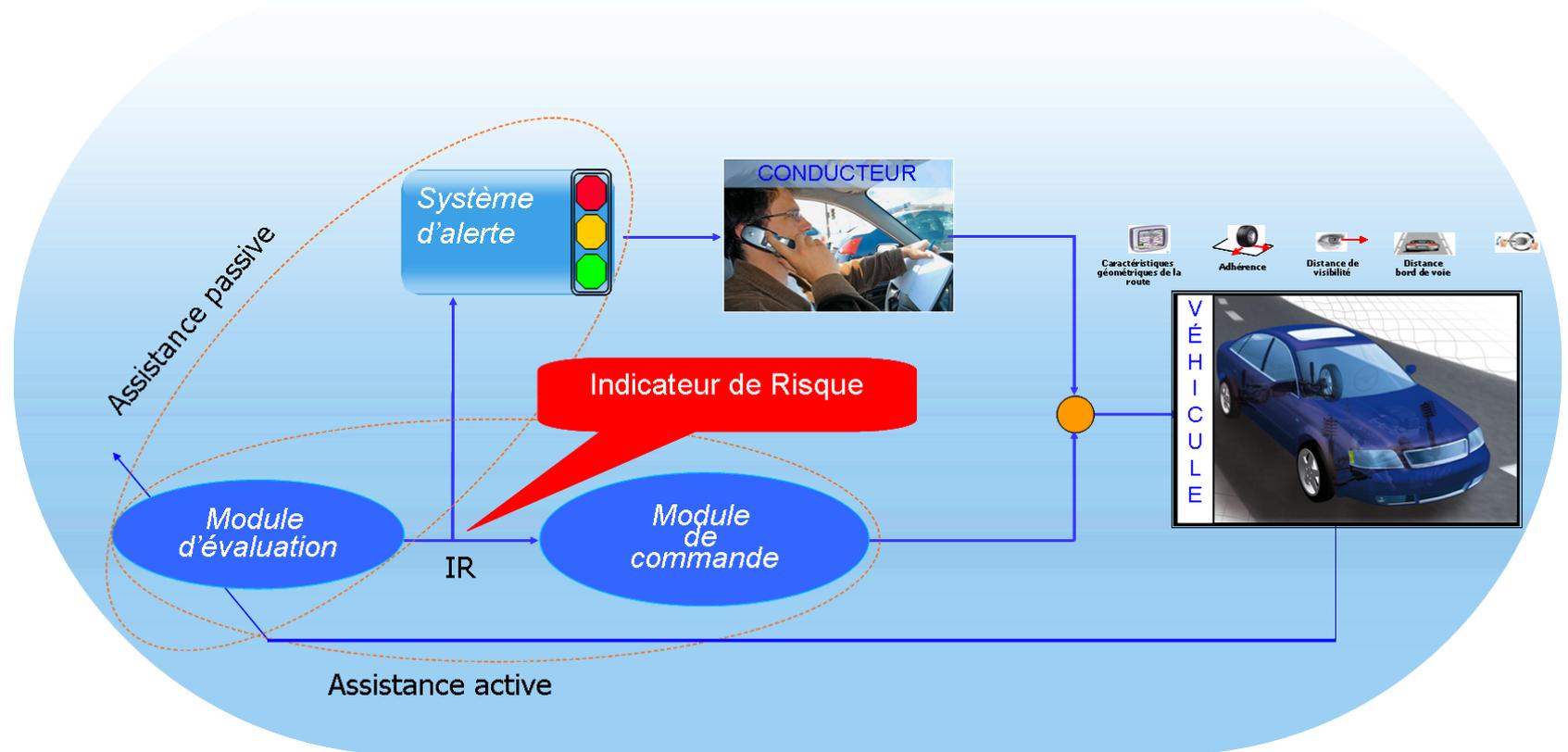
Accidents: 3% , Tués: 30% [NCSA 2002].





- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## Contexte

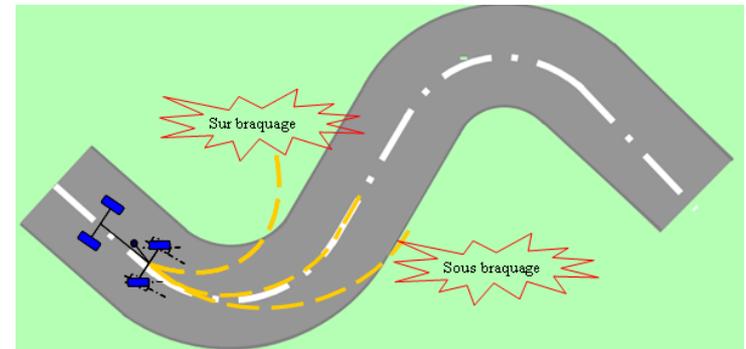




- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Résumé

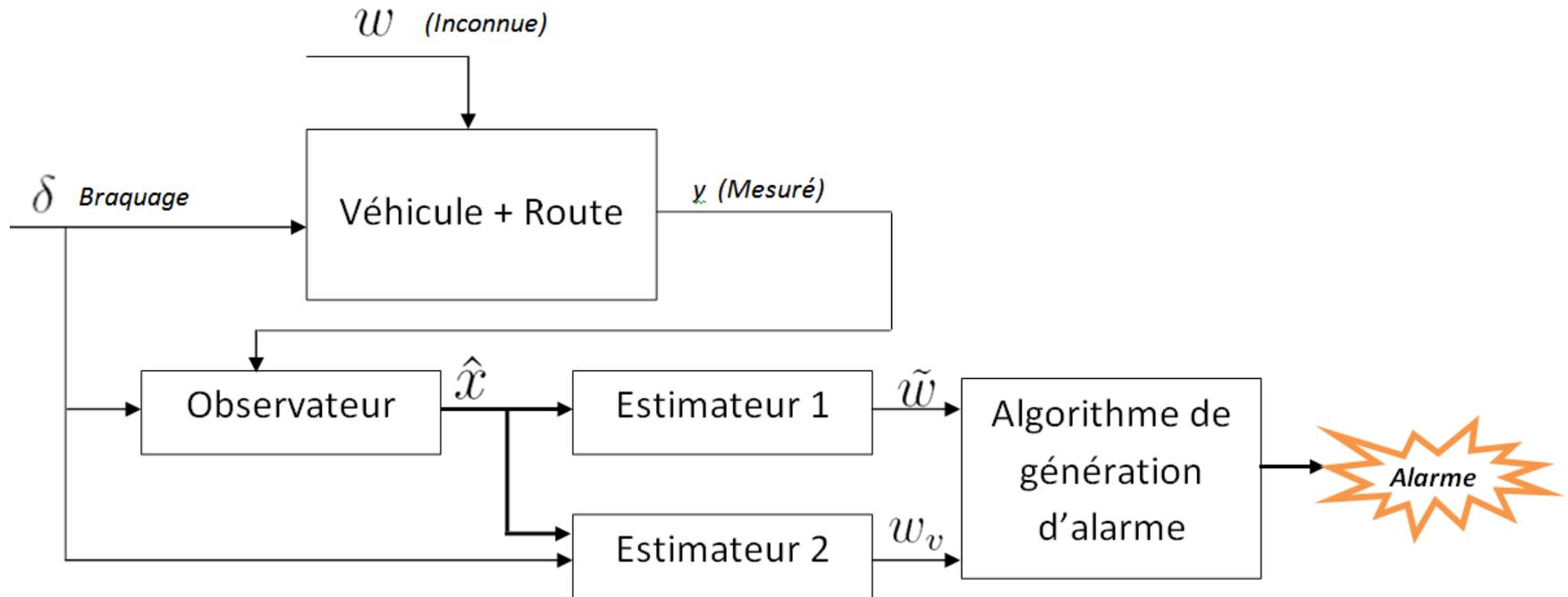
- Une méthode pour la détection des sorties de route
- Une camera frontale pour détecter la ligne blanche
- Estimation de la courbure de la route
- Modélisation flou de type TS du véhicule
- Synthèse d'un observateur robuste TS avec l'approche  $H_{\infty}$
- Approche LMI





- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Structure de l'estimateur





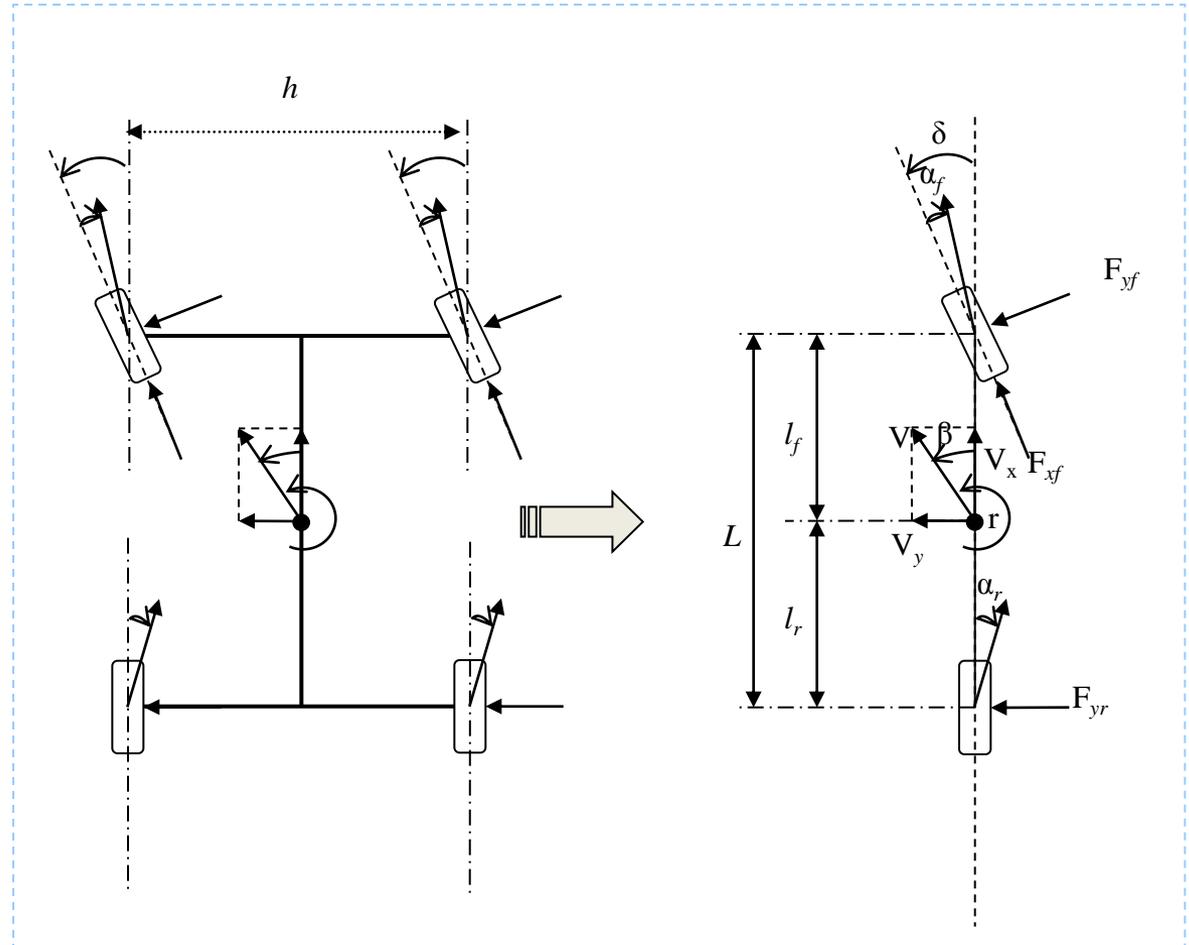
- Introduction
- **Modélisation du véhicule**
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## Modélisation du véhicule en virage

## □ Modélisation du véhicule

### □ Hypothèses

- Hypothèse des petits angles
- Véhicule infiniment raide en tangage  $\dot{\theta} = 0$  et en pompage  $V_z = 0$
- Modèle à 2 *ddl*s ( $\beta$  et  $\psi$ ) : ignorer le déplacement du roulis  $\phi$





- Introduction
- **Modélisation du véhicule**
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Modélisation du véhicule

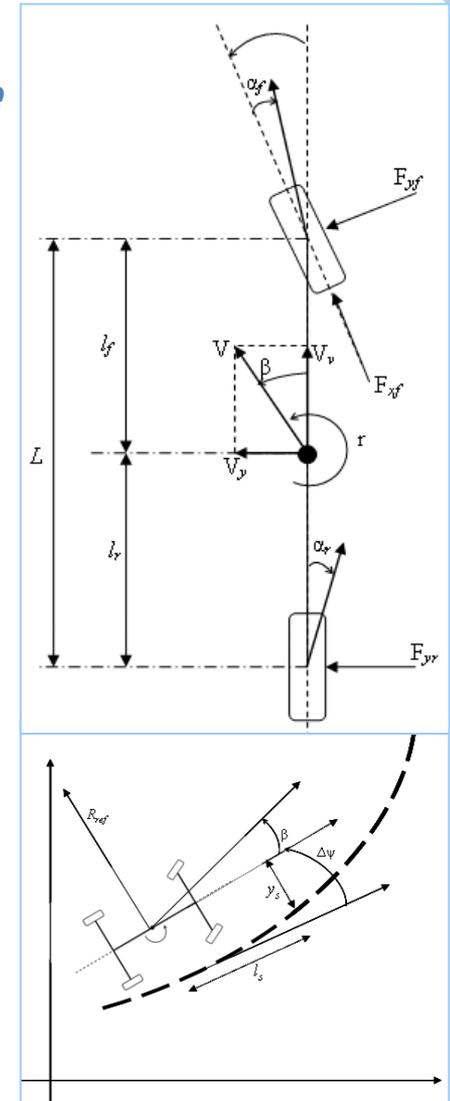
### ➤ Équations du modèle

$$\begin{cases} mv(\beta + \dot{\psi}) = F_{yr} + F_{yf} + f_w \\ J_{zz} \ddot{\psi} = F_{yf} l_f - F_{yr} l_r + l_w f_w \\ \dot{y}_s = v\beta + v\Delta\psi + l_s \dot{\psi} - l_s v\omega \\ \Delta\dot{\psi} = \dot{\psi} - v\omega \end{cases} \quad (1)$$

### ➤ Formule de Pacejka

$$F_{yf} = D_f \sin \left[ C_f \tan^{-1} \left\{ B_f (1 - E_f) \alpha_f + E_f \tan^{-1} (B_f \alpha_f) \right\} \right] \quad (2)$$

$$F_{yr} = D_r \sin \left[ C_r \tan^{-1} \left\{ B_r (1 - E_r) \alpha_r + E_r \tan^{-1} (B_r \alpha_r) \right\} \right] \quad (3)$$





- Introduction
- **Modélisation du véhicule**
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Modélisation du véhicule

### ➤ Expression des forces latérales

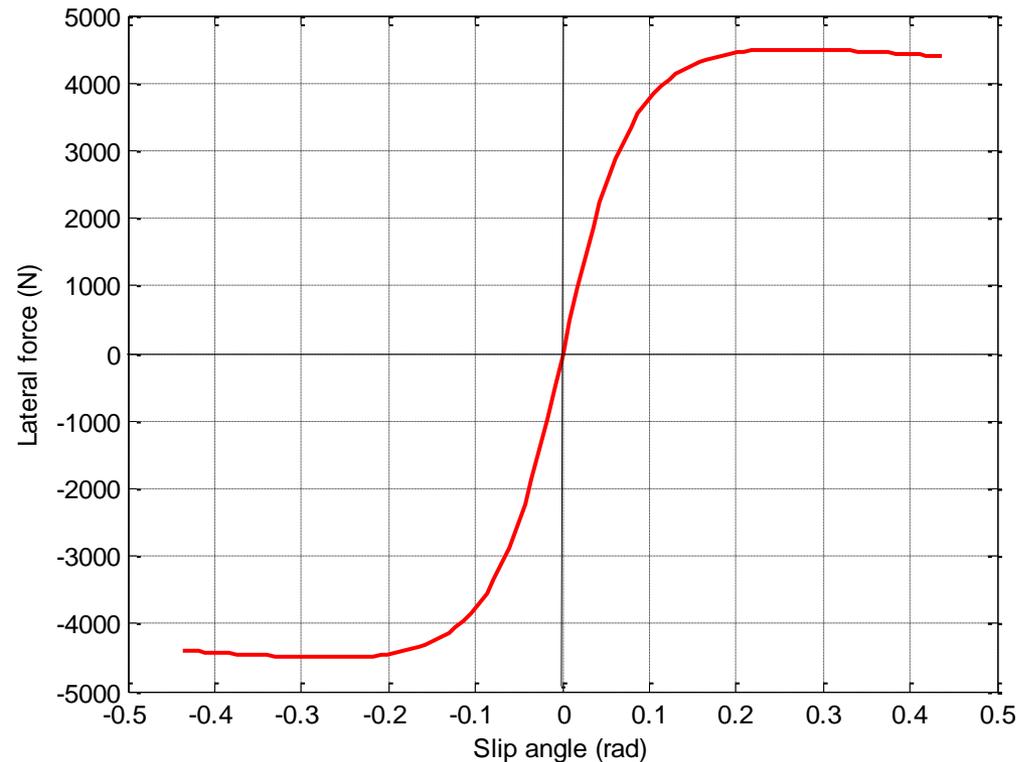
$$F_{yf} = D_f \sin \left[ C_f \tan^{-1} \left\{ B_f (1 - E_f) \alpha_f + E_f \tan^{-1} (B_f \alpha_f) \right\} \right] \quad (2)$$

$$B_f = 9$$

$$C_f = 1.4$$

$$D_f = 5000$$

$$E_f = 0.25$$





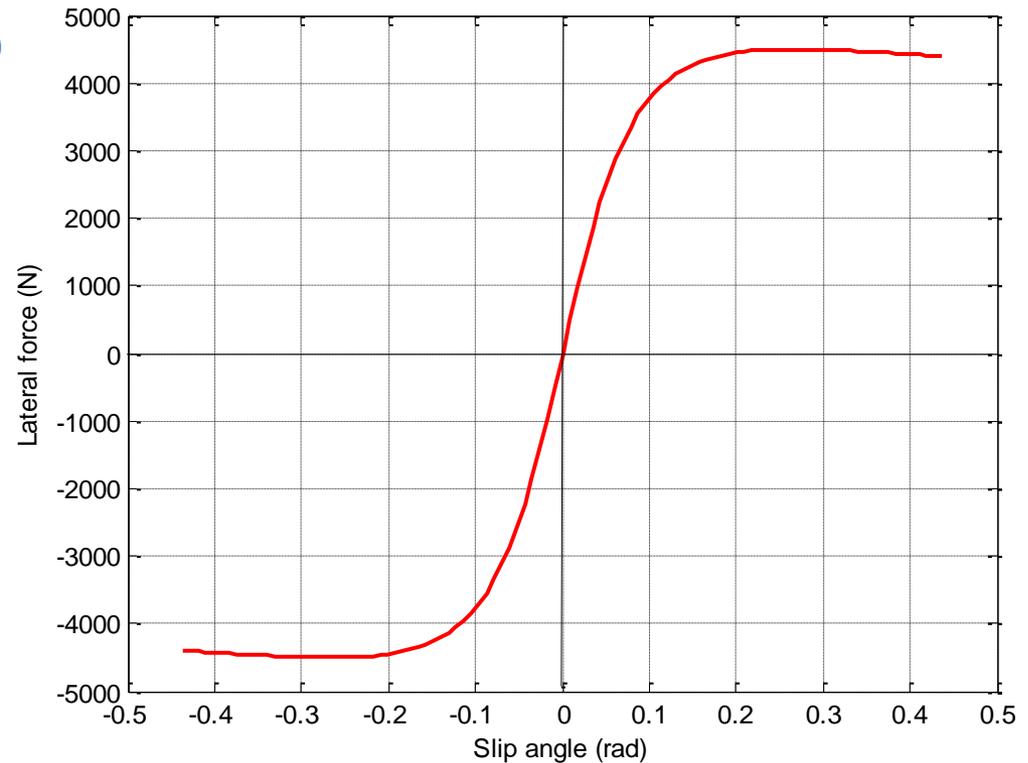
- Introduction
- **Modélisation du véhicule**
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Modélisation du véhicule

### ➤ Expression des forces latérales

Modèle linéaire: 
$$\begin{cases} F_f = C_f \alpha_f \\ F_r = C_r \alpha_r \end{cases} \quad (4)$$

$$C_f = 50 \text{ kN} \cdot \text{rad}^{-1}$$





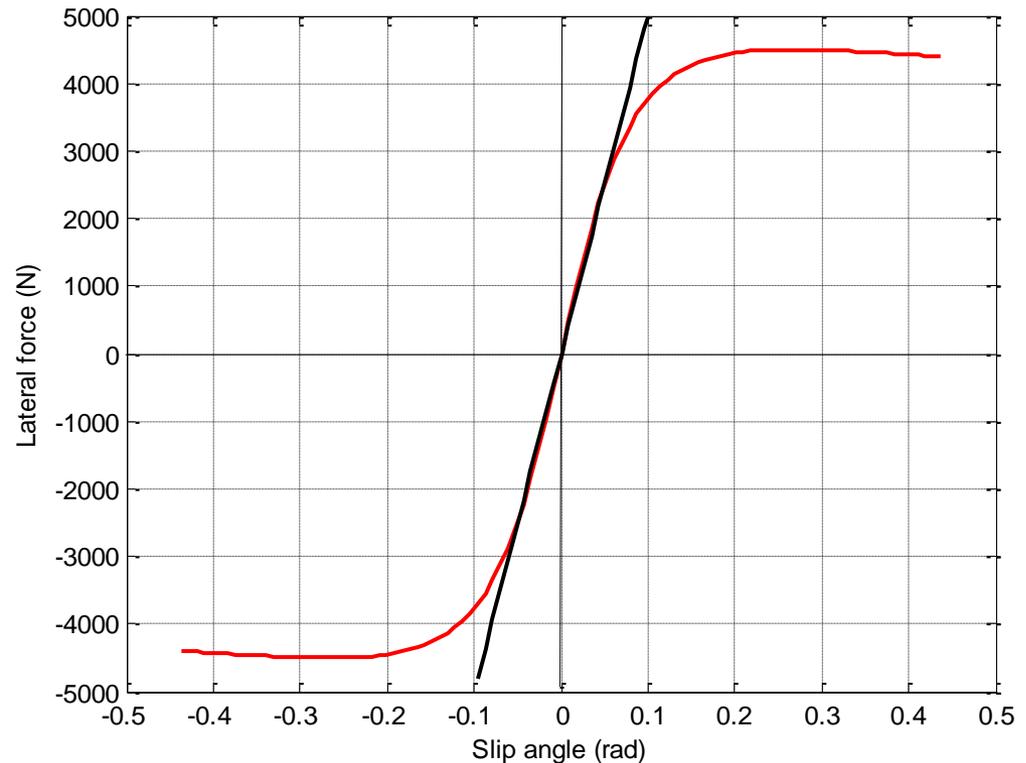
- Introduction
- **Modélisation du véhicule**
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Modélisation du véhicule

### ➤ Expression des forces latérales

Modèle linéaire: 
$$\begin{cases} F_f = C_f \alpha_f \\ F_r = C_r \alpha_r \end{cases} \quad (4)$$

$$C_f = 50 \text{ kN} \cdot \text{rad}^{-1}$$





- Introduction
- **Modélisation du véhicule**
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

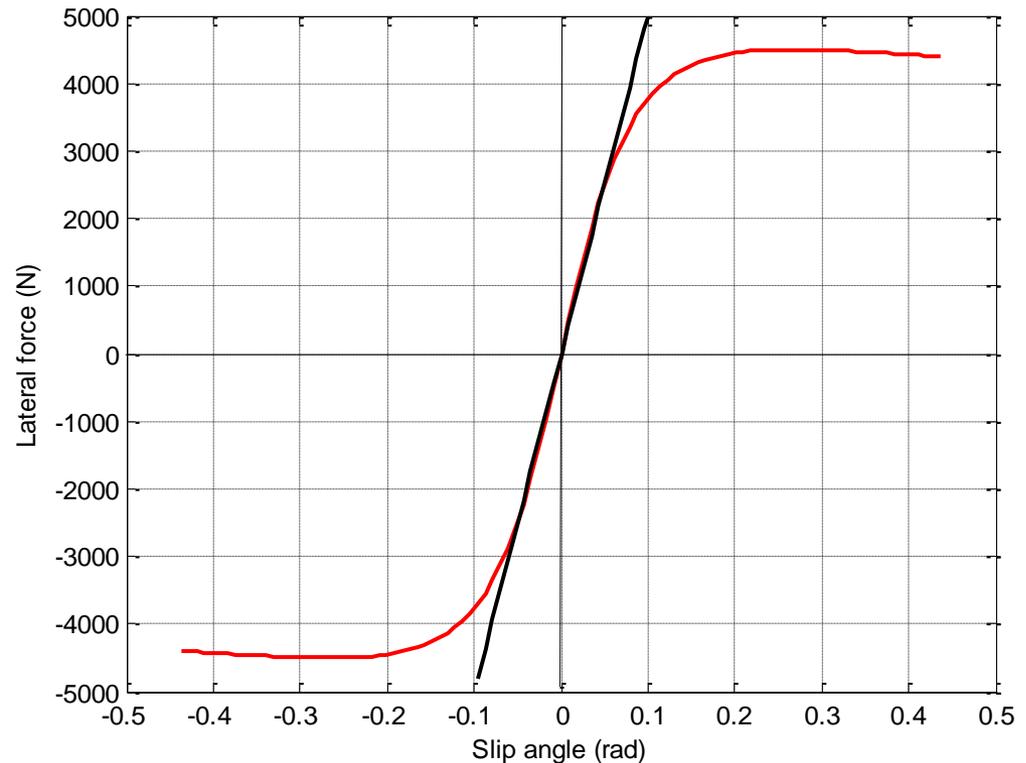
## □ Modélisation du véhicule

### ➤ Expression des forces latérales

Modèle flou T-S:

$$\begin{cases} F_f = \mu_1(|\alpha_f|)C_{f1}\alpha_f + \mu_2(|\alpha_f|)C_{f2}\alpha_f \\ F_r = \mu_1(|\alpha_f|)C_{r1}\alpha_r + \mu_2(|\alpha_f|)C_{r2}\alpha_r \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^2 \mu_i(|\alpha_f|) = 1 \\ 0 \leq \mu_i(|\alpha_f|) \leq 1 \quad \forall i = 1, 2 \end{cases}$$





- Introduction
- **Modélisation du véhicule**
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Modélisation du véhicule

### ➤ Expression des forces latérales

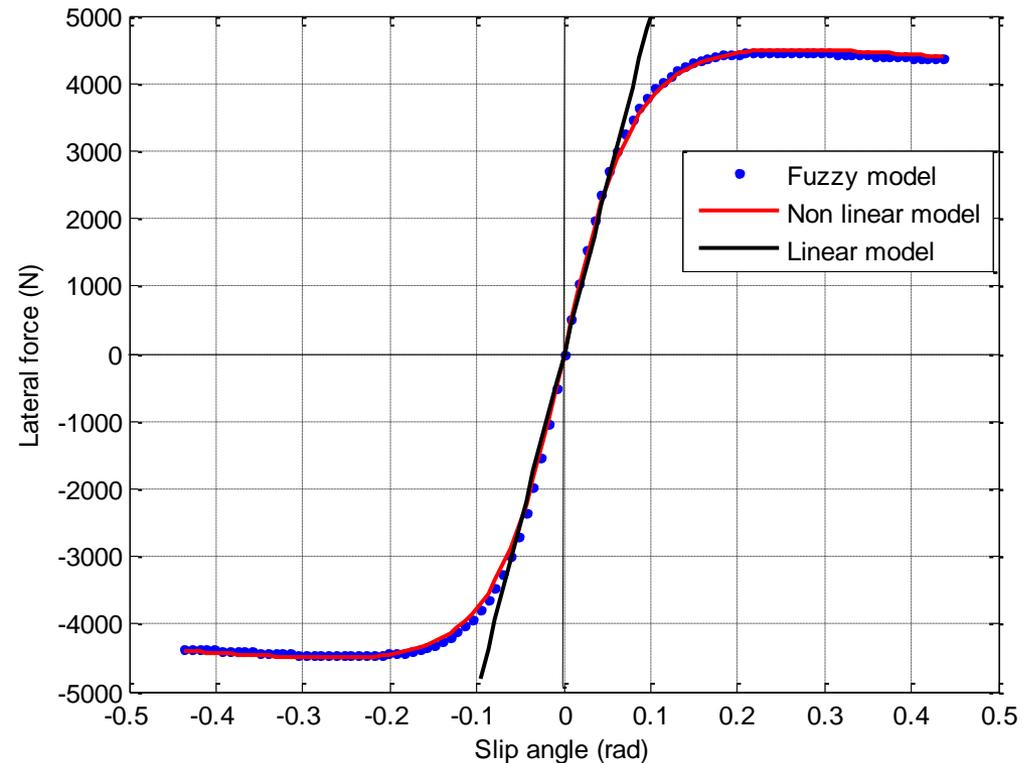
Modèle flou T-S:

$$\begin{cases} F_f = \mu_1(|\alpha_f|)C_{f1}\alpha_f + \mu_2(|\alpha_f|)C_{f2}\alpha_f \\ F_r = \mu_1(|\alpha_f|)C_{r1}\alpha_r + \mu_2(|\alpha_f|)C_{r2}\alpha_r \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^2 \mu_i(|\alpha_f|) = 1 \\ 0 \leq \mu_i(|\alpha_f|) \leq 1 \quad \forall i = 1, 2 \end{cases}$$

$$C_{f1} = 67371, \quad C_{f2} = 580$$

$$C_{r1} = 75026, \quad C_{r2} = 455$$





- Introduction
- **Modélisation du véhicule**
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Modélisation du véhicule

### ➤ Modèle complet de type T-S

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^2 \mu_i(|\alpha_f|) \left( (A_i + \Delta A_i)x(t) + (B_i + \Delta B_i)\delta_f(t) \right) + B_w w(t) \quad (6)$$

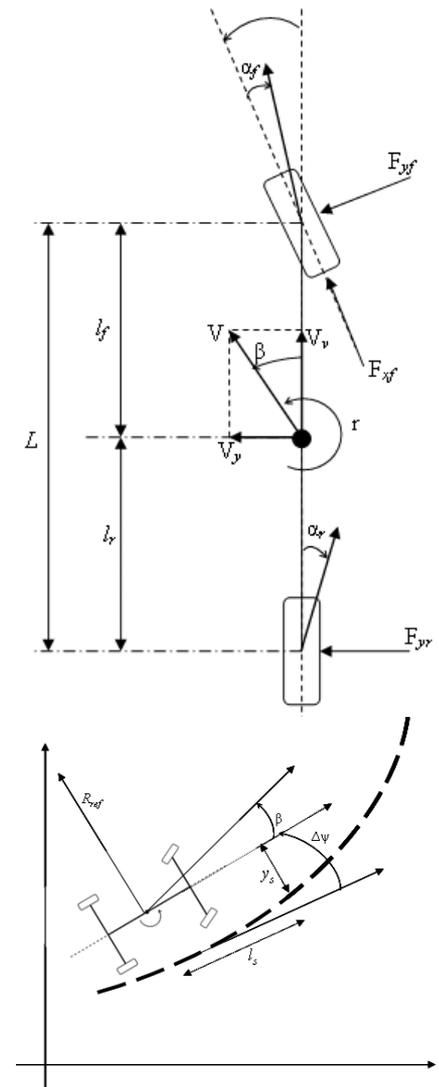
$$x(t) = (\beta \quad \dot{\psi} \quad y_s \quad \Delta\psi)^T$$

$$A_i = \begin{pmatrix} a_{11i} & a_{12i} & 0 & 0 \\ a_{21i} & a_{22i} & 0 & 0 \\ v & l_s & 0 & v \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad B_i = \begin{pmatrix} b_{1i} \\ b_{2i} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad B_w = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -l_s v \\ -v \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$a_{11i} = -2 \frac{C_{ri} + C_{fi}}{mv}, \quad a_{12i} = -1 - 2 \frac{l_f C_{fi} - l_r C_{ri}}{mv^2}$$

$$a_{21i} = -2 \frac{l_f C_{fi} - l_r C_{ri}}{J_{zz}}, \quad a_{22i} = -2 \frac{l_f^2 C_{fi} + l_r^2 C_{ri}}{J_{zz} v}$$

$$b_{1i} = 2 \frac{C_{fi}}{mv}, \quad b_{2i} = 2 \frac{l_f C_{fi}}{J_{zz}} \quad (8)$$





- Introduction
- Modélisation du véhicule
- **Synthèse du multi-observateur**
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## Estimation de la dynamique du véhicule et de la courbure de la route



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- **Synthèse du multi-observateur**
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Synthèse du multi-observateur

### ➤ Structure du multi-observateur

$$\begin{aligned}\dot{\hat{x}}(t) &= \sum_{i=1}^2 \mu_i(|\hat{\alpha}_f|) (A_i \hat{x}(t) + B_i \delta_f(t) + L_i (y(t) - \hat{y}(t))) + \eta(t) \quad (9) \\ \hat{y}(t) &= C \hat{x}(t)\end{aligned}$$



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- **Synthèse du multi-observateur**
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Synthèse du multi-observateur

### ➤ Dynamique de l'erreur

$$\dot{e}(t) = \sum_{i=1}^2 \mu_i(|\hat{\alpha}_f|)(A_i - L_i C)e(t) + \tilde{A}x(t) + \tilde{B}\delta_f(t) + B_w w(t) - \eta(t) \quad (10)$$

Avec:

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^2 \bar{\mu}_i A_i + \sum_{i=1}^2 \mu_i(|\alpha_f|) \Delta A_i,$$

$$\tilde{B} = \sum_{i=1}^2 \bar{\mu}_i B_i + \sum_{i=1}^2 \mu_i(|\alpha_f|) \Delta B_i,$$

$$\bar{\mu}_i = \mu_i(|\alpha_f|) - \mu_i(|\hat{\alpha}_f|)$$



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- **Synthèse du multi-observateur**
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Synthèse du multi-observateur

### ➤ Dynamique de l'erreur

$$\dot{e}(t) = \sum_{i=1}^2 \mu_i(|\hat{\alpha}_f|)(A_i - L_i C)e(t) + \tilde{A}x(t) + \tilde{B}_w \tilde{w}(t) - \eta(t) \quad (11)$$

Avec:

$$\tilde{B}_w = [B_w \quad I]$$

$$\tilde{w}(t) = [w(t) \quad b(t)]^T \quad b(t) = \tilde{B}^T \delta_f(t)$$



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- **Synthèse du multi-observateur**
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Synthèse du multi-observateur

### ➤ Dynamique de l'erreur

$$\dot{e}(t) = \sum_{i=1}^2 \mu_i(|\hat{\alpha}_f|)(A_i - L_i C)e(t) + \tilde{A}x(t) + \tilde{B}_w \tilde{w}(t) - \eta(t) \quad (12)$$

### ➤ Atténuation $H_\infty$

$$\gamma = \sup \frac{\|e(t)\|}{\|\tilde{w}(t)\|} \quad (13)$$

$$\int_0^\infty e^T(t)e(t)dt \leq \gamma^2 \int_0^\infty \tilde{w}^T(t)\tilde{w}(t)dt \quad (14)$$



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- **Synthèse du multi-observateur**
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Synthèse du multi-observateur

### ➤ Calcul des gains

#### *Théorème 1*

L'erreur d'estimation d'état  $e(t)$  converge asymptotiquement vers zéros et satisfait le critère d'atténuation suivant :

$$\int_0^{\infty} e^T(t)e(t)dt \leq \gamma^2 \int_0^{\infty} \tilde{w}^T(t)\tilde{w}(t)dt \quad (15)$$

s'il existe une matrice symétrique définie positive  $X$ , des matrices  $N_i$  et des scalaires positifs  $\beta_0$  et  $\beta_1$  vérifiant les *LMI* suivantes pour *tout*  $i = 1, \dots, 2$  :

$$\begin{bmatrix} \Omega_i & X\tilde{B}_w & X \\ \tilde{B}_w^T X & -\gamma^2 I & 0 \\ X & 0 & -\beta_1 I \end{bmatrix} < 0 \quad (16)$$

$$\Omega_i = A_i^T X + X A_i - N_i C - C^T N_i^T + \beta_0 \tilde{\rho}^2 I + I \quad (17)$$



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- **Synthèse du multi-observateur**
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Synthèse du multi-observateur

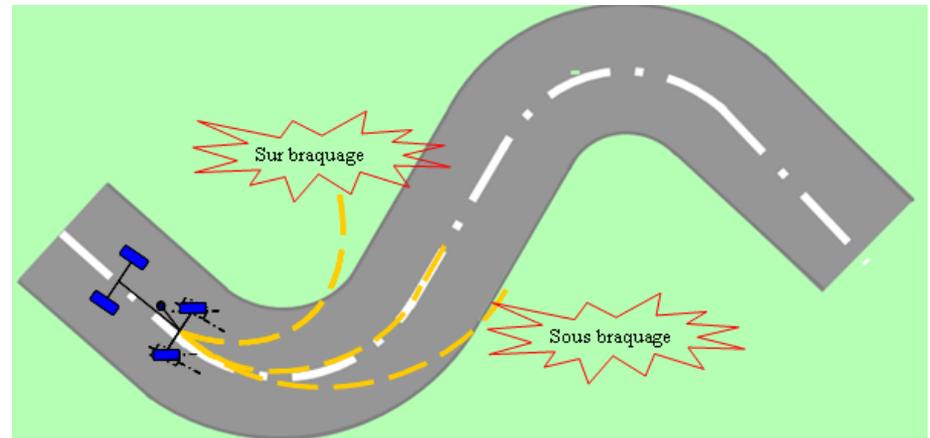
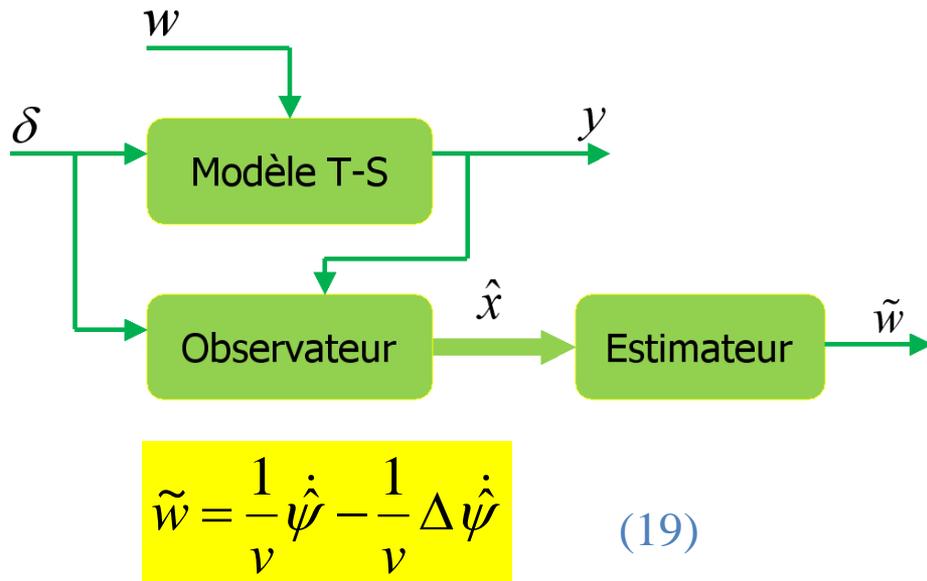
➤ Calcul des gains

### *Théorème 1*

$$\left\{ \begin{array}{l} L_i = X^{-1}N_i \\ \eta(t) = 0 \quad \text{if } e_y(t) = 0 \\ \eta(t) = \left( \frac{\beta_1\beta_0}{\beta_1 - \beta_0} \right) \tilde{\rho}^2 \frac{\hat{x}(t)^T \hat{x}(t)}{2e_y(t)^T e_y(t)} X^{-1}C^T e_y(t) \quad \text{otherwise} \end{array} \right. \quad (18)$$

## □ Estimation de la courbure de la route

*Une fois les états du système reconstruits, ils seront utilisés pour estimer la courbure de la route.*



Où  $v$  est la vitesse du véhicule,  $\dot{\hat{\psi}}$  et  $\Delta \dot{\hat{\psi}}$  sont les variables d'états issues de l'observateur.



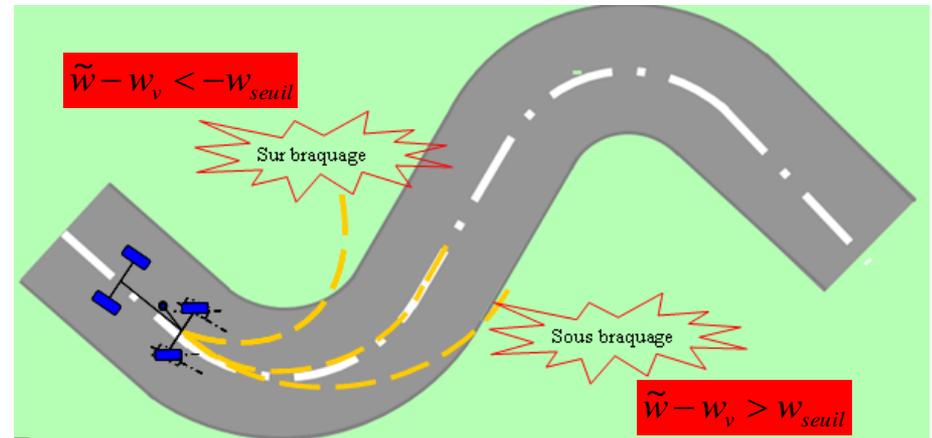
- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- **Application à la détection**
- Travaux actuels et conclusions

## □ Application à la détection de sorties de route

### ➤ Courbure de la trajectoire du véhicule

La solution en régime statique du modèle du véhicule est donnée par:

$$\frac{\dot{\psi}}{\delta} = \frac{v}{l - \frac{mv^2(l_f \bar{C}_f - l_r \bar{C}_r)}{l \bar{C}_f \bar{C}_r}} \quad (20)$$



D'autre part nous avons  $R_v = \dot{\psi}v$  et  $w_v = 1/R_v$ :

$$w_v = \frac{\delta}{l - \frac{mv^2(l_f \bar{C}_f - l_r \bar{C}_r)}{l \bar{C}_f \bar{C}_r}} \quad (21)$$

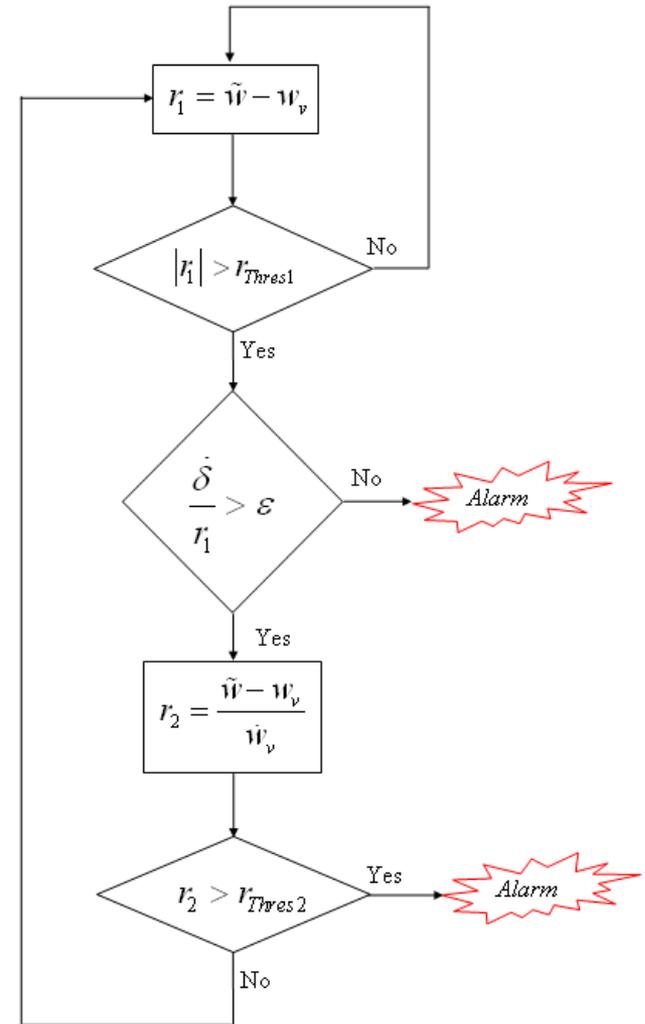


- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- **Application à la détection**
- Travaux actuels et conclusions

## □ Application à la détection des sorties de route

### ➤ Algorithme de génération d'alarme

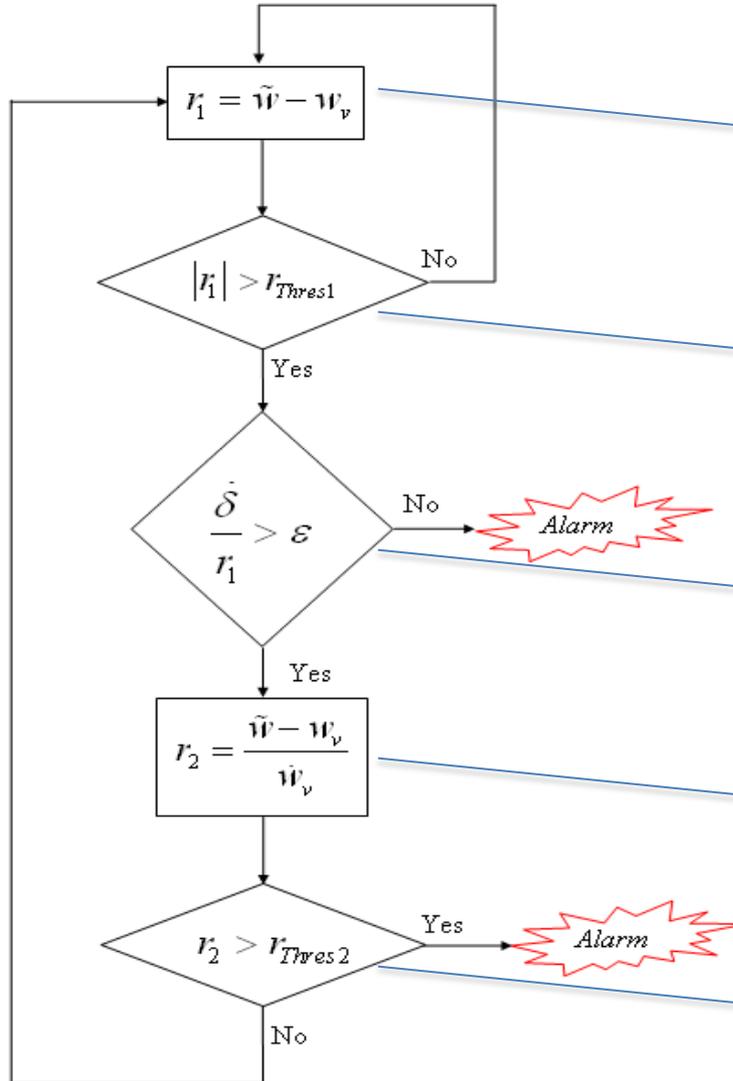
- Deux indicateurs de risque
- Prise en compte des actions du conducteur
- Anticipation dans les détection
- Réduction des fausses alarmes





- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- **Application à la détection**
- Travaux actuels et conclusions

## ➤ Algorithme de génération d'alarme



Comparer la trajectoire du véhicule à la trajectoire de la route

Fixer la valeur du seuil à ne pas dépasser

Le conducteur doit agir pour corriger l'erreur

Calculer le temps de correction d'après les actions du conducteur

Les corrections seront-elles efficaces?



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- **Application à la détection**
- Travaux actuels et conclusions

## Résultats de simulation



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- **Application à la détection**
- Travaux actuels et conclusions

## □ Résultats de simulations

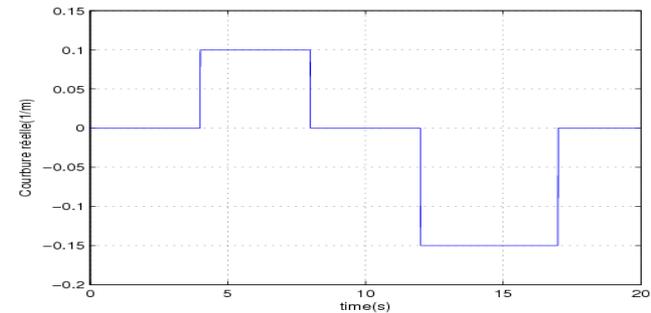
$$X = \begin{bmatrix} 962 & -194 & -32 & 323 \\ -194 & 1713 & 18 & -183 \\ -32 & 18 & 6 & -63 \\ 323 & 183 & -63 & 639 \end{bmatrix}$$

$$L_1 = \begin{bmatrix} 0.01 & 0.01 & 1167.8 & 116.6 \end{bmatrix}$$

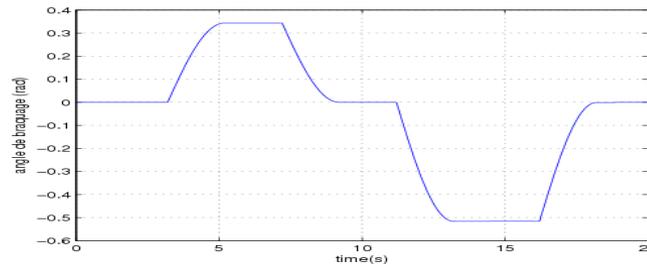
$$L_2 = \begin{bmatrix} 0.01 & 0.01 & 1167.5 & 116.6 \end{bmatrix}$$

$$\beta_1 = 20905, \quad \beta_0 = 28900$$

### ➤ Entrée inconnue (courbure de la route)



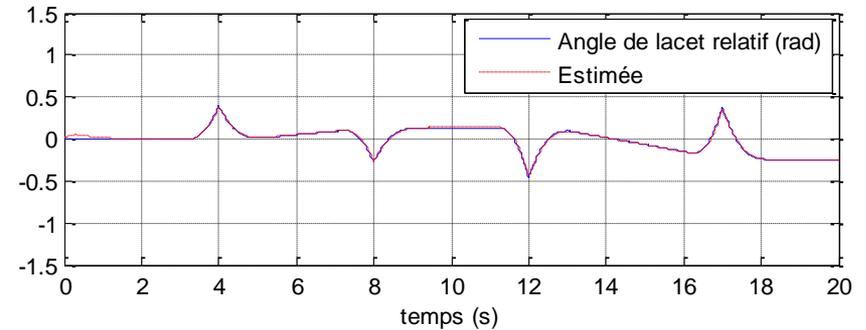
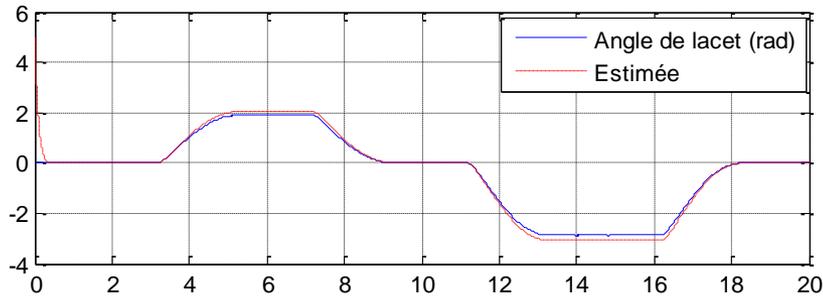
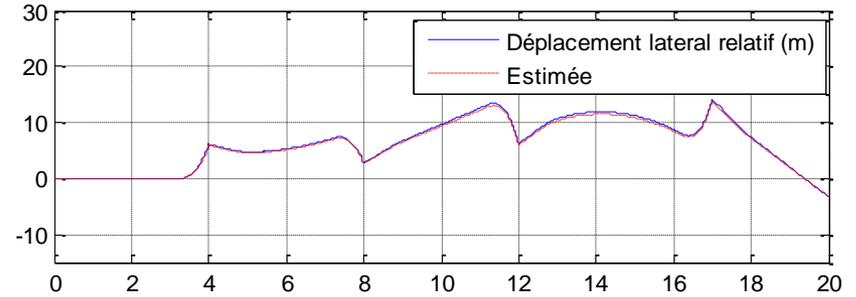
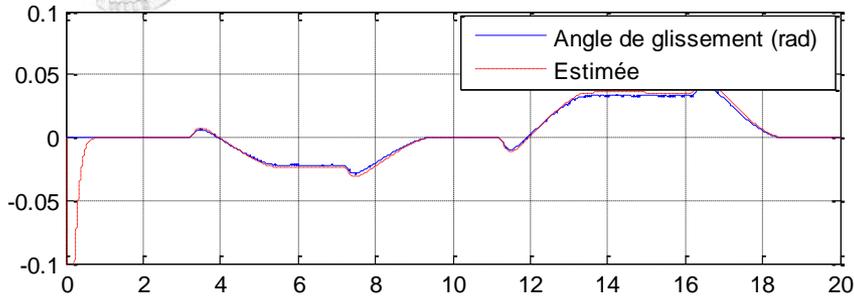
### ➤ Entrée du modèle (angle de braquage)



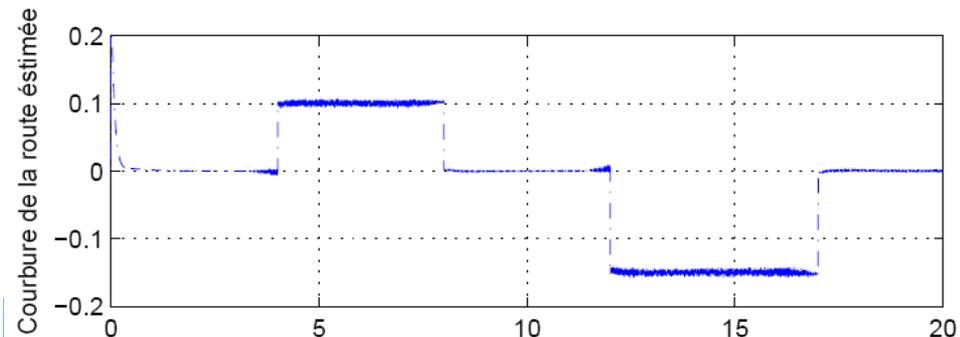
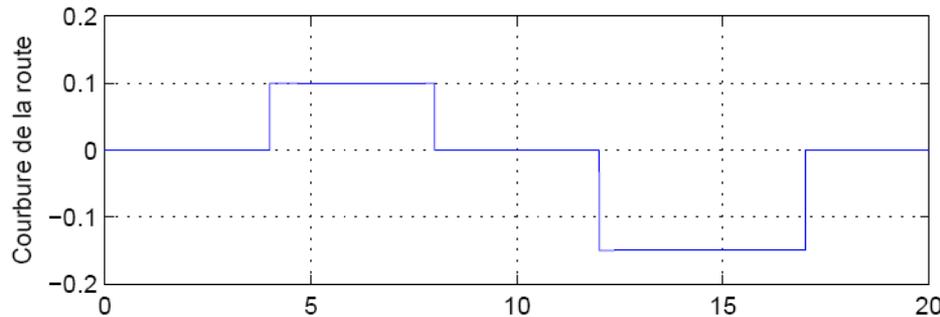


- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- **Application à la détection**
- Travaux actuels et conclusions

## □ Résultats de simulations



### ➤ Courbure réelle et estimée

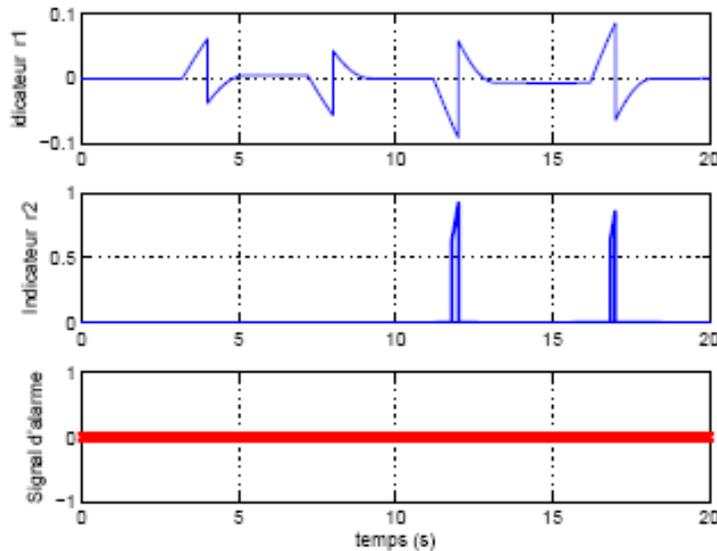
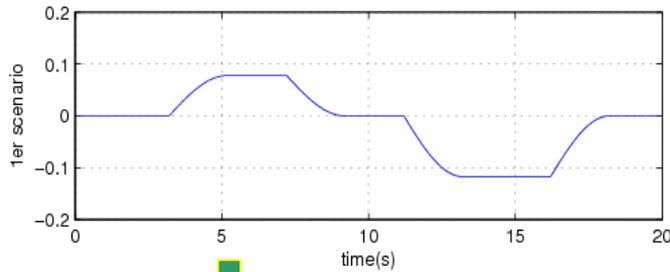




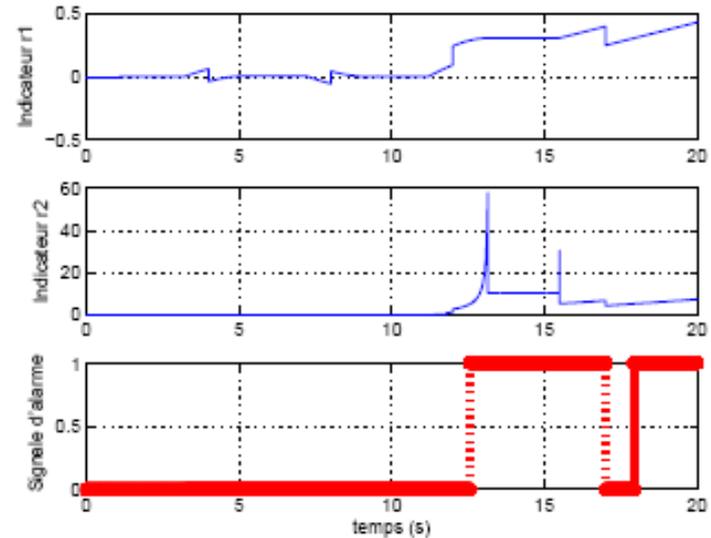
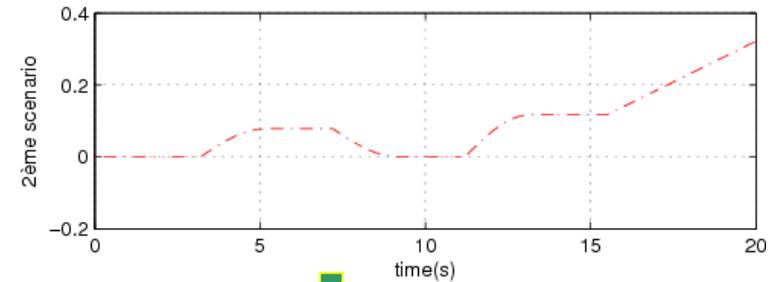
- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- **Application à la détection**
- Travaux actuels et conclusions

## □ Résultats de simulations

### ➤ 1<sup>er</sup> scénario: Conduite normale



### ➤ 2<sup>ème</sup> scénario: Sortie de route





- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- **Application à la détection**
- Travaux actuels et conclusions

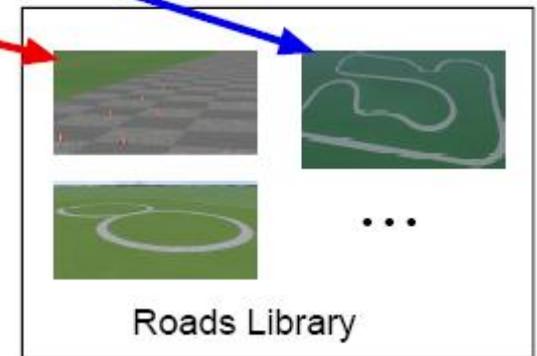
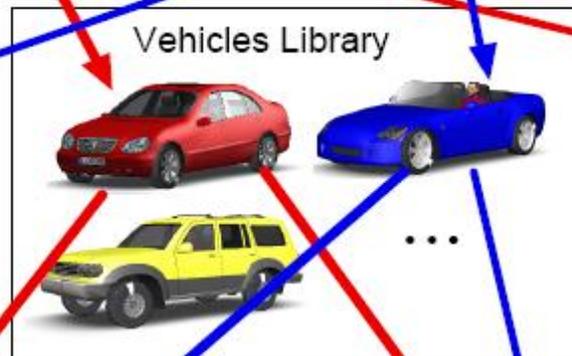
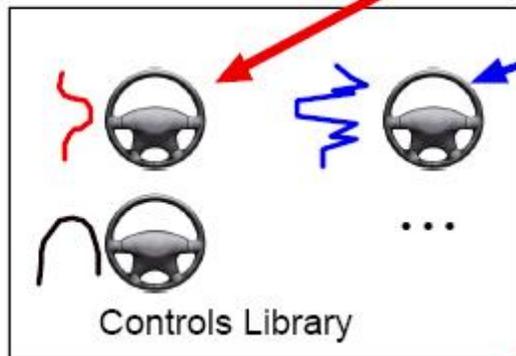
## Validation sur le simulateur CarSim



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- **Application à la détection**
- Travaux actuels et conclusions

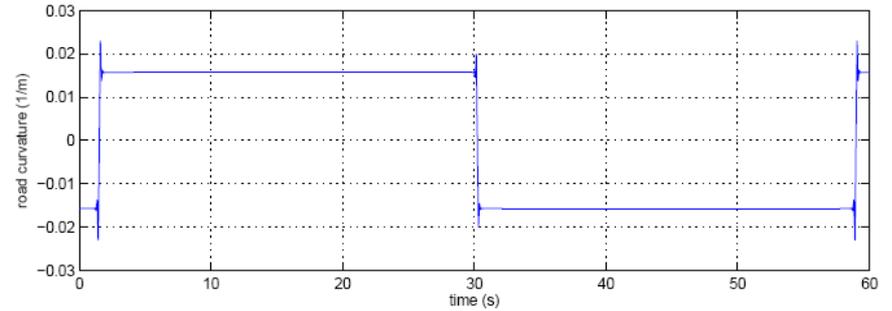


...

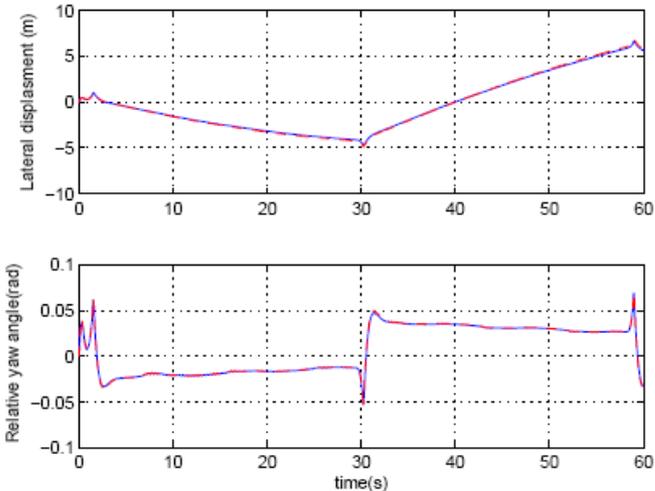
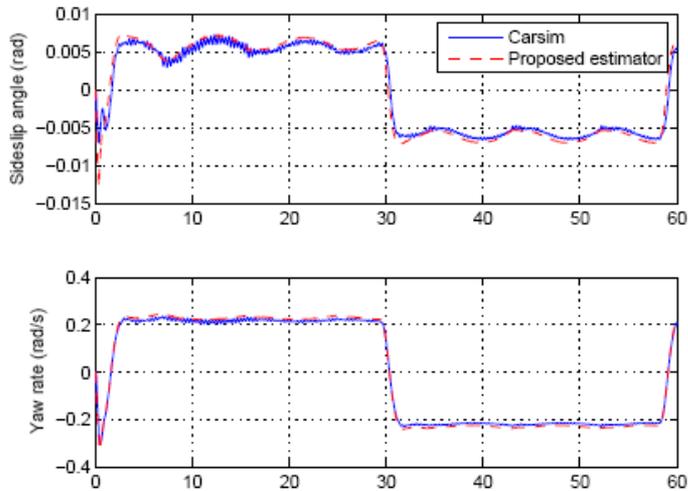




**Fig. 1.** Piste d'essai sur CarSim



**Fig. 2.** Courbure de la piste d'essai



**Fig. 3.** Estimation des états



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## Validation sur le simulateur CarSim





- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Synthèse du multi-observateur
- Estimation de la courbure de la route
- Application à la détection
- Travaux actuels et conclusions

## □ Conclusion et travaux futures

### ➤ Conclusions

- Prise en compte des non linéarités dans le modèle du véhicule
- Une bonne estimation de la courbure de la route grâce à la robustesse de l'observateur
- Algorithme de détection des sorties de route avec prise en compte des actions du conducteur

### ➤ Perspectives et travaux futures

- Valider les algorithmes sur un véhicule expérimental
- Traiter d'autres situations à risque tels que les renversements