



# Approche floue de type Takagi-Sugeno pour la détection de sorties de route

H. Dahmani, M. Chadli, A. Rabhi et A. El Hajjaji

LFA 2009  
5 et 6 Novembre Annecy

Hamid DAHMANI

Université de Picardie Jules Verne

## ❑ Accidentologie

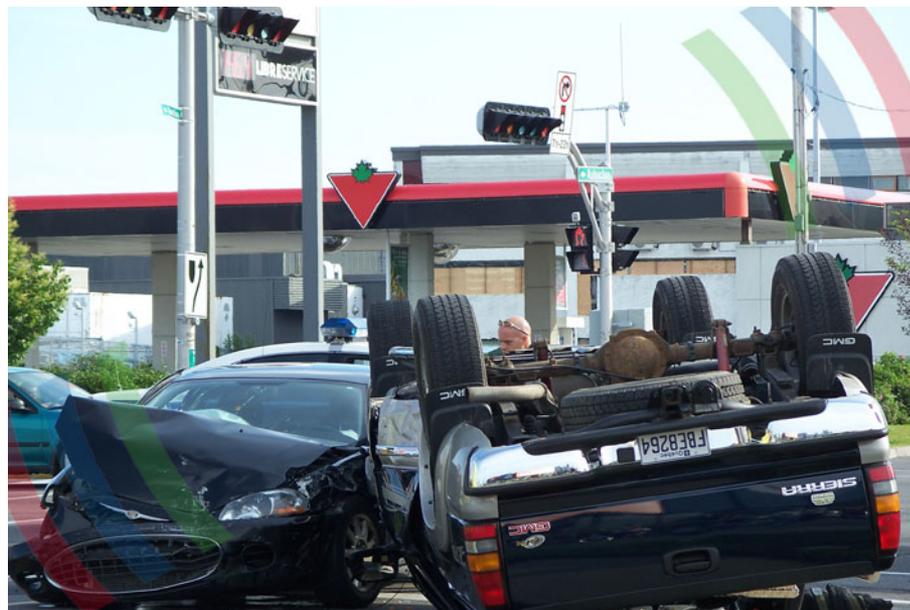
❑ Une disproportion entre le nombre d'accidents et les pertes humaines et matérielles.

## ❑ Sorties de route:

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

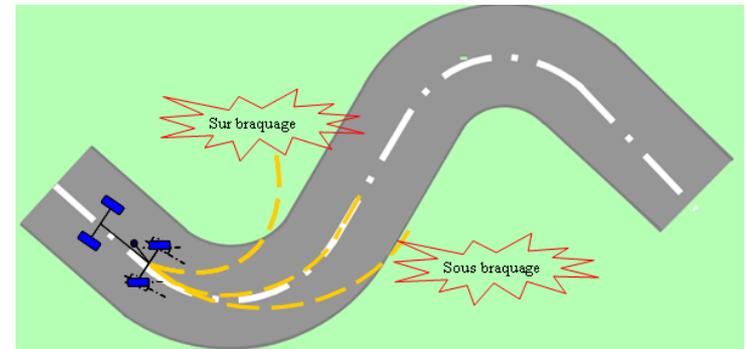
## ❑ Renversements:

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

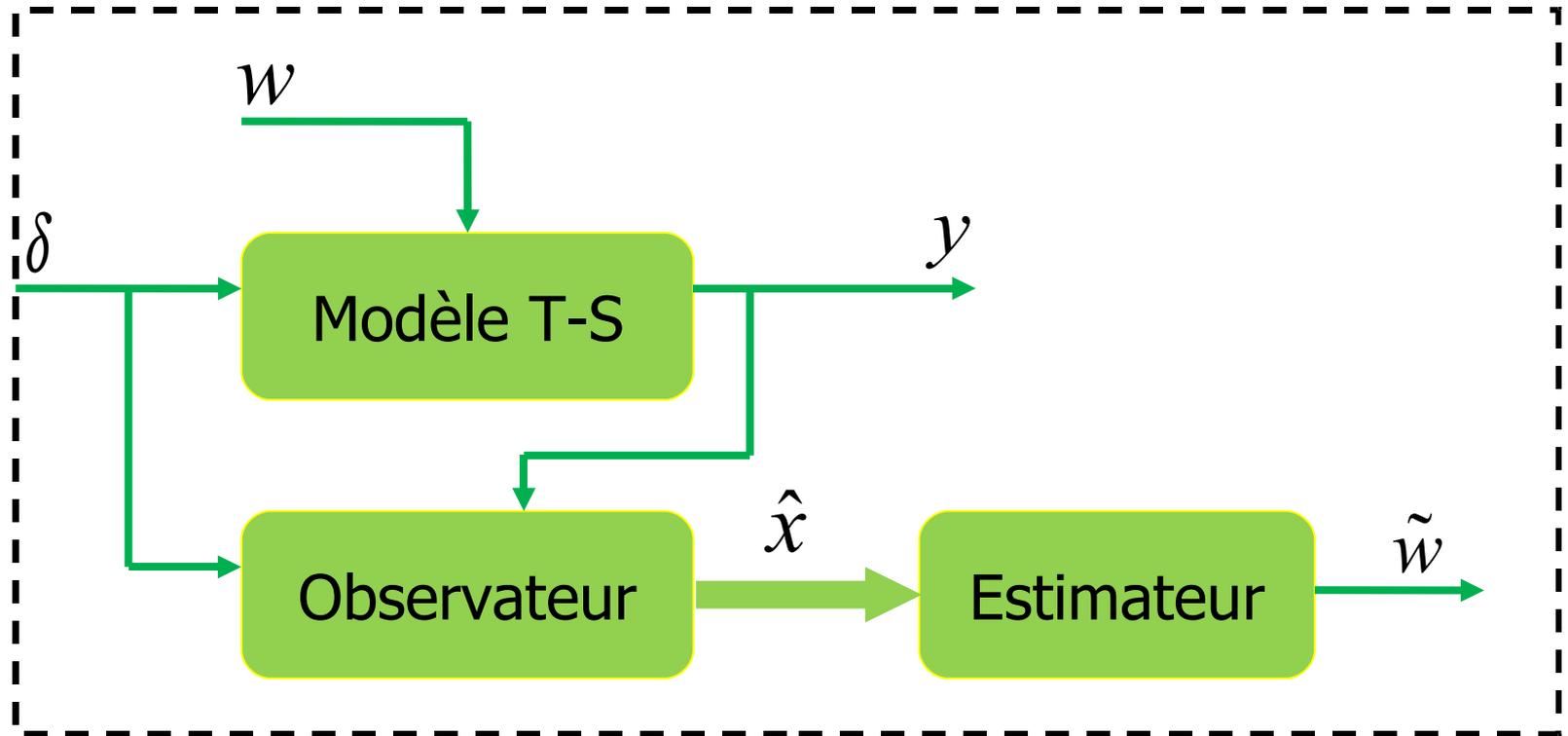


## □ Résumé

- Une méthode pour la détection de 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 TS avec l'approche  $H_{\infty}$
- Approche LMI



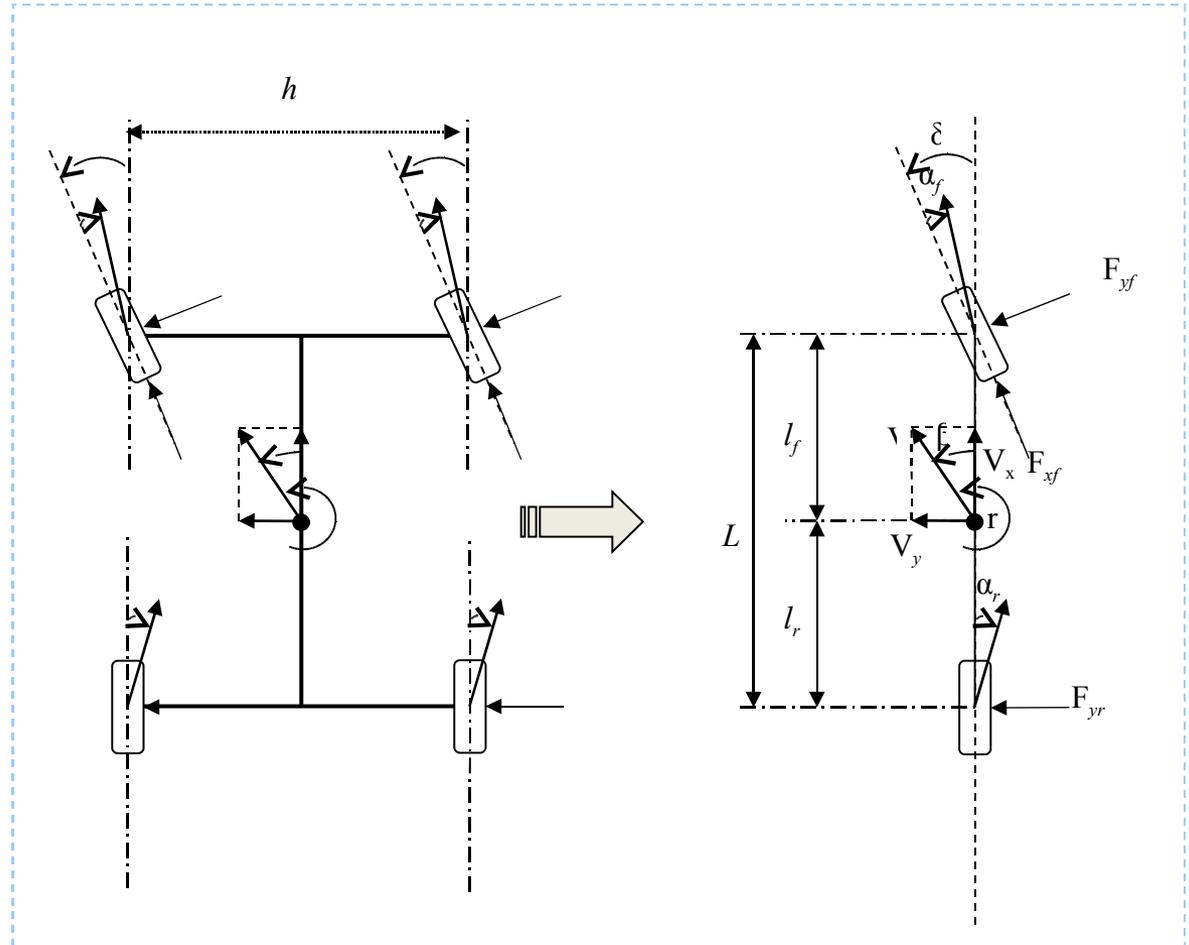
## Structure de l'estimateur



## □ Modélisation du véhicule

### □ Hypothèses

- Petits angles de Braquage et de dérive ( $\delta$  et  $\alpha$ )
- Véhicule infiniment raide en tangage  $\theta = 0$  et en pompage  $V_z = 0$
- Modèle à 2 ddl ( $\beta$  et  $\psi$ ) : ignorer le déplacement du roulis  $\phi$



## □ Modélisation du véhicule

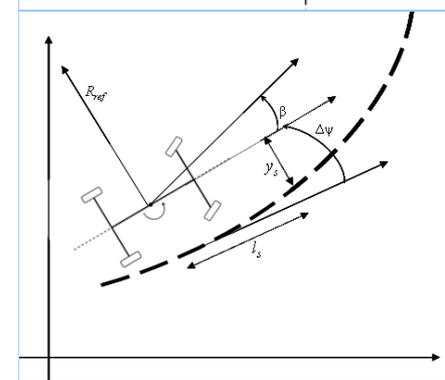
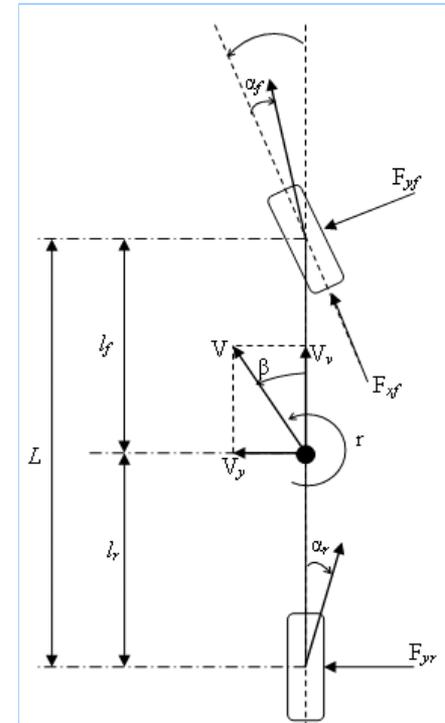
### ➤ Équations du modèle

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

### ➤ Formule de Pacejka

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

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





## □ Modélisation du véhicule

### ➤ Expression des forces latérales

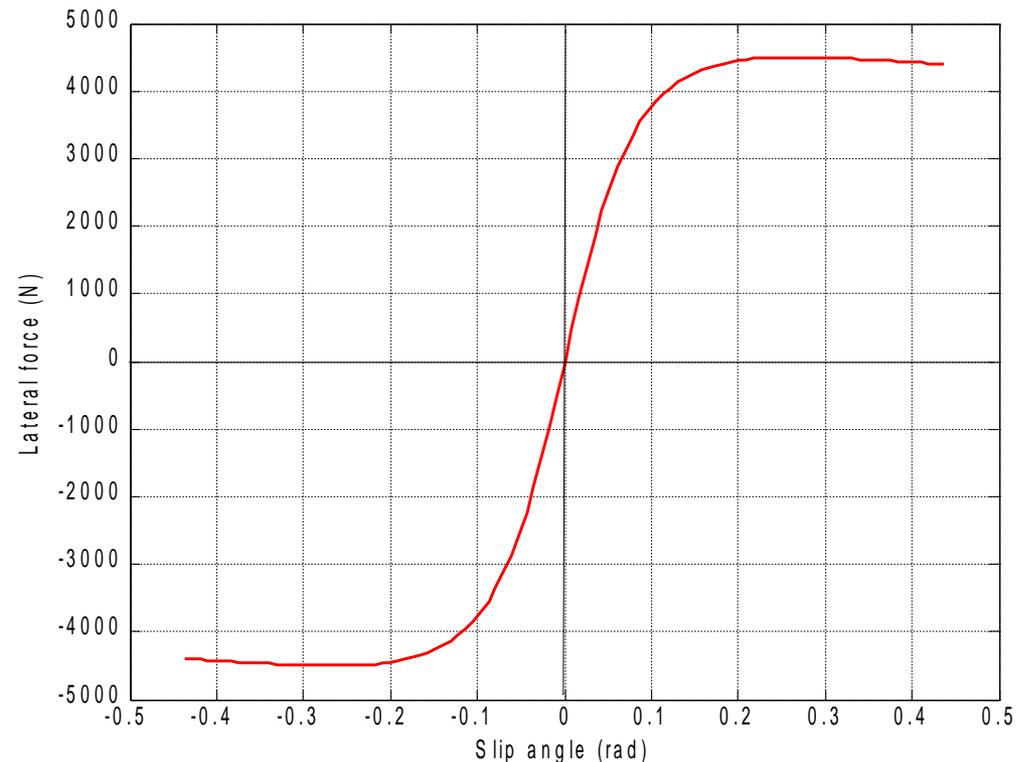
$$F_{yf} = D_f \sin \left[ C_f \tan^{-1} \left\{ B_f (1 - E_f) \alpha_f + E_f \tan^{-1} (B_f \alpha_f) \right\} \right] \quad (2)$$

$$B_f = 9$$

$$C_f = 1.4$$

$$D_f = 5000$$

$$E_f = 0.25$$



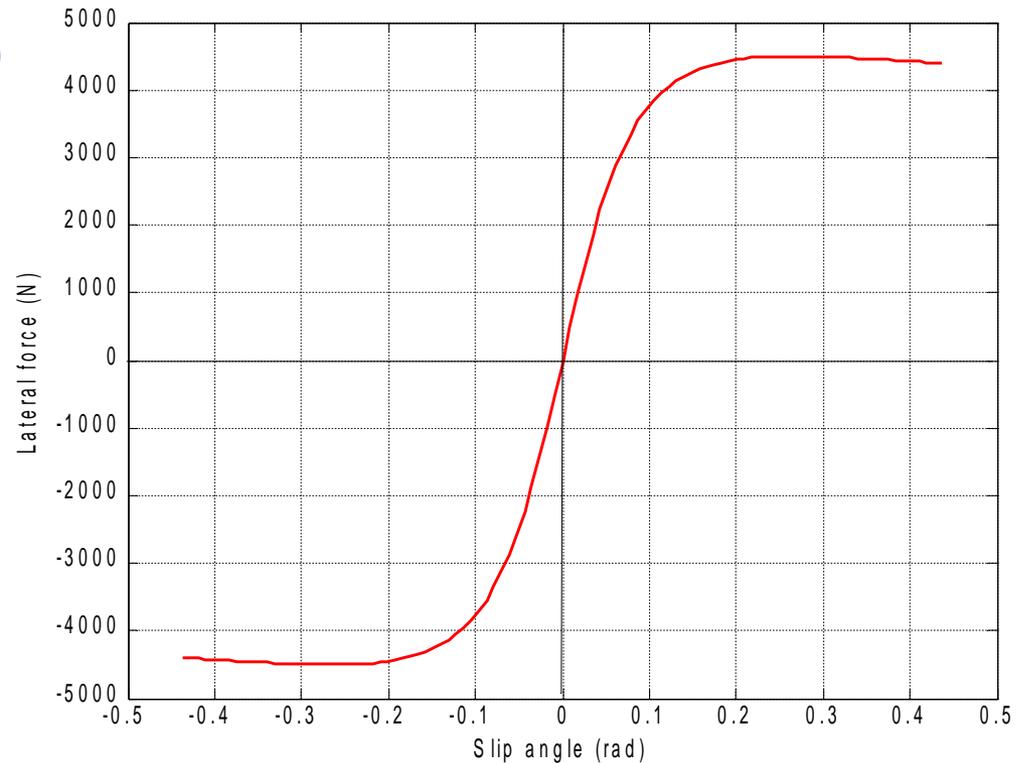


## □ Modélisation du véhicule

### ➤ Expression des forces latérales

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

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



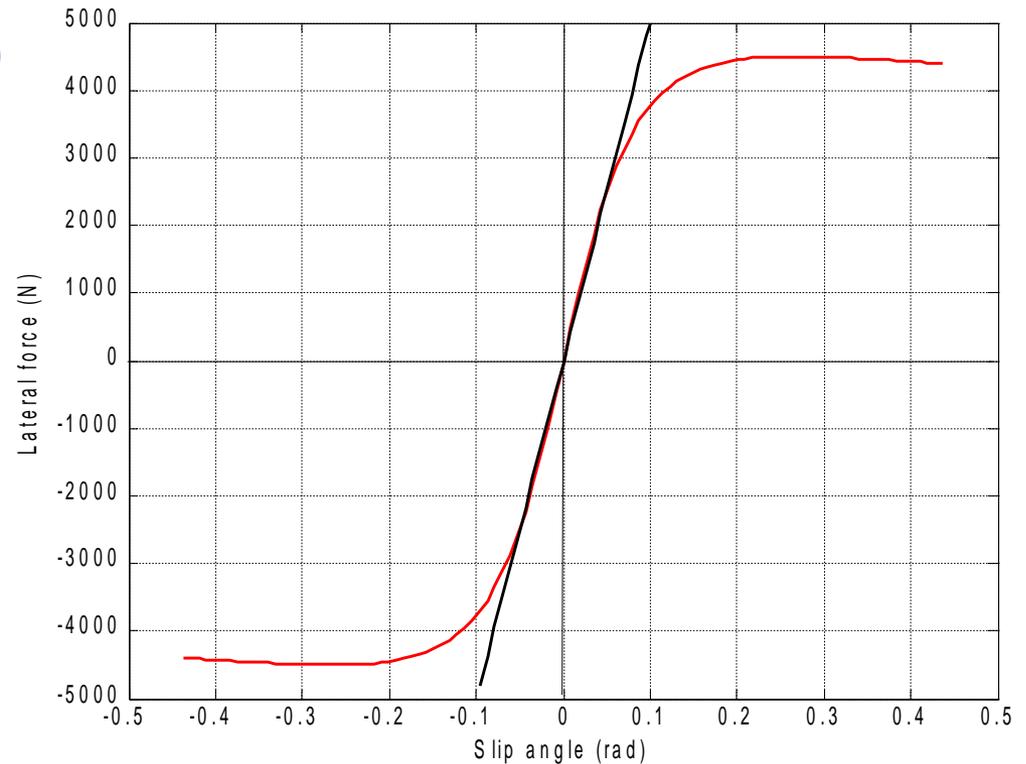


## □ Modélisation du véhicule

### ➤ Expression des forces latérales

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

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



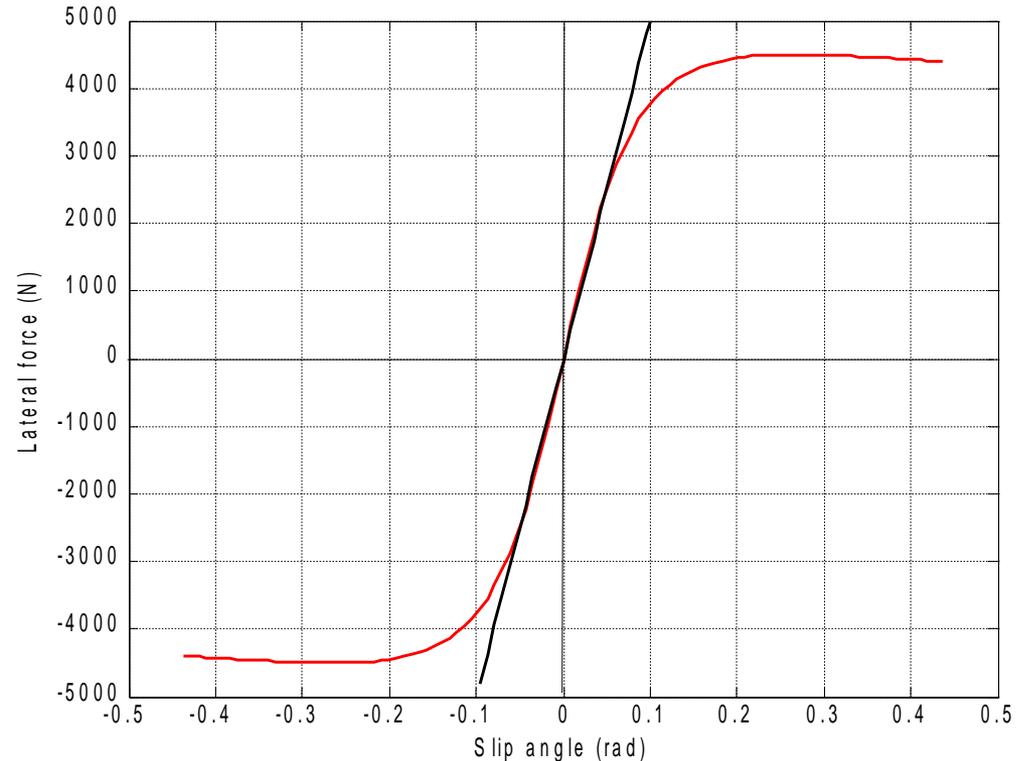


## □ Modélisation du véhicule

### ➤ Expression des forces latérales

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

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





## □ Modélisation du véhicule

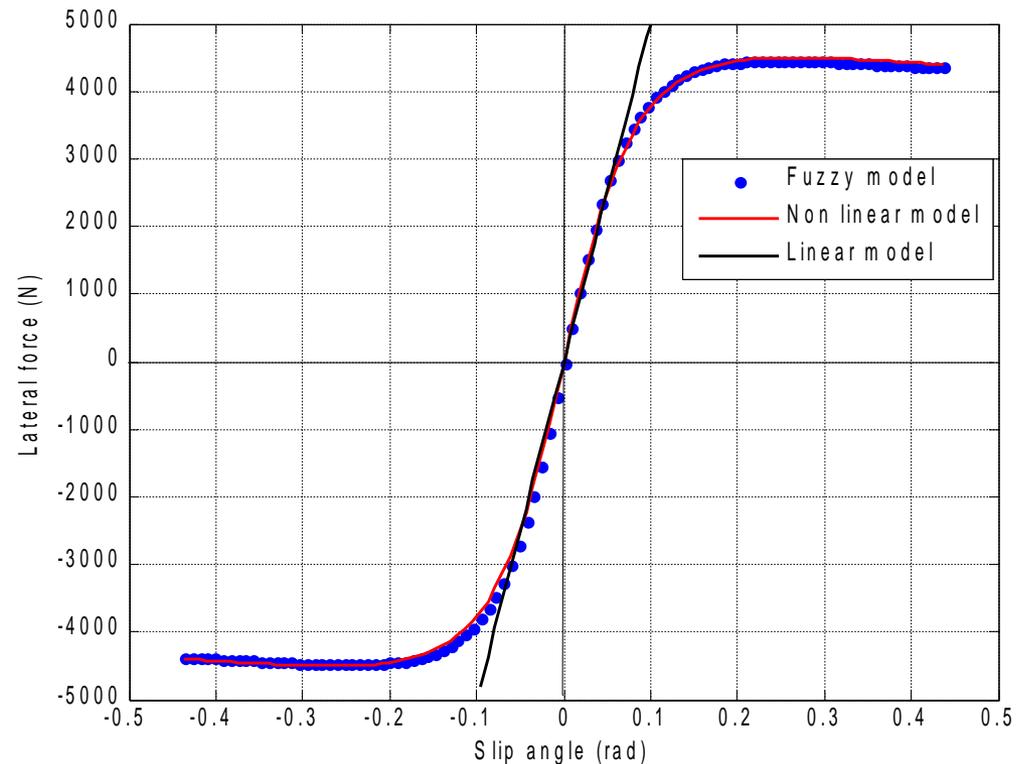
### ➤ Expression des forces latérales

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

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

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

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





## □ Modélisation du véhicule

### ➤ Expression des forces latérales

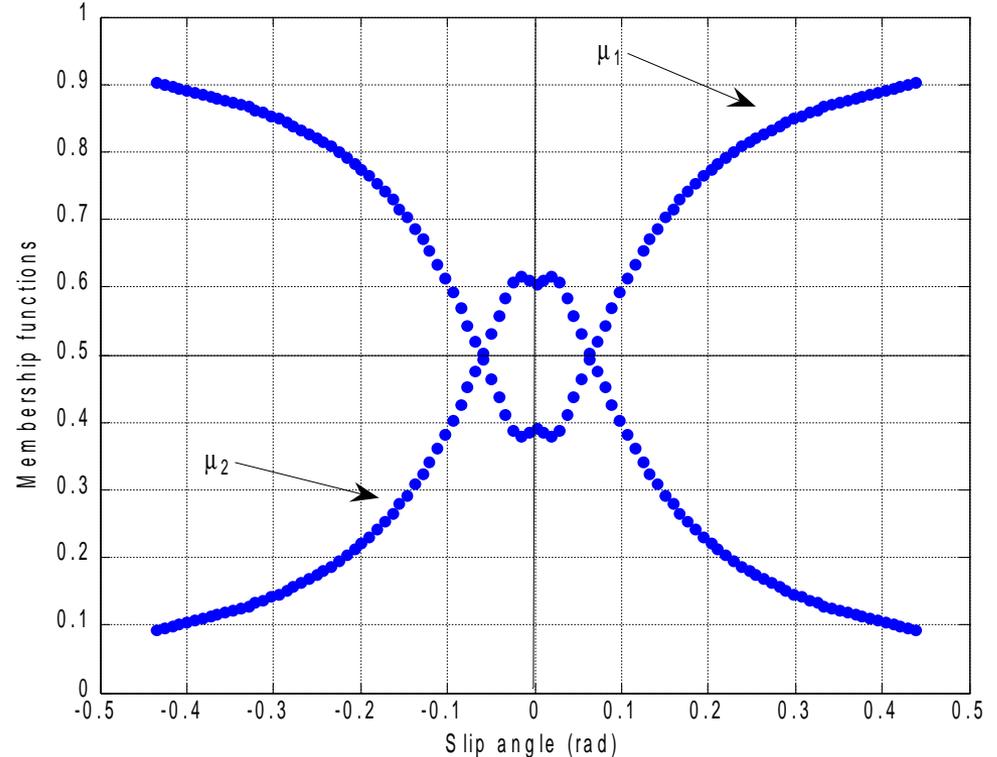
Modèle flou T-S: 
$$\begin{cases} F_f = \mu_1(|\alpha_f|)C_{f1}\alpha_f + \mu_2(|\alpha_f|)C_{f2}\alpha_f \\ F_r = \mu_1(|\alpha_f|)C_{r1}\alpha_r + \mu_2(|\alpha_f|)C_{r2}\alpha_r \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_i(|\alpha_f|) = \frac{\beta_i(|\alpha_f|)}{\sum_{i=1}^2 \beta_i(|\alpha_f|)}, \quad i = 1, 2 \quad (6)$$

$$\beta_i(|\alpha_f|) = \frac{1}{\left(1 + \left|\left(\frac{|\alpha_f - c_i|}{a_i}\right)\right|^{2b_i}\right)} \quad (7)$$

$$a_1 = 0.0852, \quad b_1 = 0.6741, \quad c_1 = 0.0218.$$

$$a_2 = 3.8539, \quad b_2 = 22.7049, \quad c_2 = 3.8346.$$





## □ Modélisation du véhicule

### ➤ Modèle complet de type T-S

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = \sum_{i=1}^2 \mu_i(|\alpha_f|) (A_i x(t) + B_i u(t)) + B_w w(t) \\ y(t) = Cx(t) \end{cases} \quad (8)$$

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

$$A_i = \begin{bmatrix} a_{11i} & a_{12i} & 0 & 0 \\ a_{21i} & a_{22i} & 0 & 0 \\ \nu & l_s & 0 & \nu \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

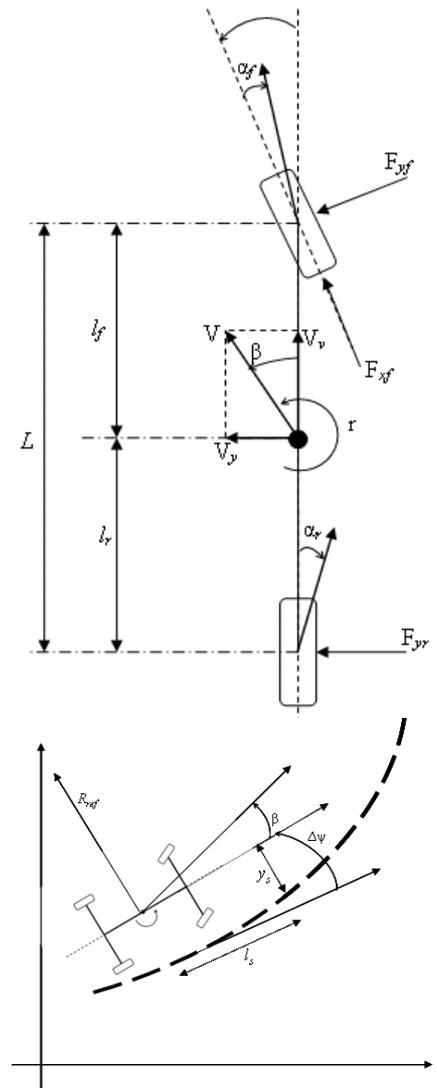
$$C = [0 \quad 0 \quad 1 \quad 0]$$

$$B = [b_{1i} \quad b_{2i} \quad 0 \quad 0]^T$$

$$B_w = [0 \quad 0 \quad -\nu \quad -\nu l_s]^T$$

$$a_{11} = \frac{(C_{\alpha r} + C_{\alpha f})}{mv}, \quad a_{12} = \frac{l_f C_{\alpha f} - l_r C_{\alpha r}}{mv^2} - 1, \quad b_1 = \frac{C_{\alpha f}}{mv}$$

$$a_{21} = \frac{-(l_f C_{\alpha f} - l_r C_{\alpha r})}{J_{zz}}, \quad a_{22} = -\frac{(l_f^2 C_{\alpha f} + l_r^2 C_{\alpha r})}{J_{zz} \nu}, \quad b_2 = \frac{l_f C_{\alpha f}}{J_{zz}}$$





## □ Synthèse du multi observateur

### ➤ Structure du multi observateur

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = \sum_{i=1}^2 \mu_i(|\alpha_f|) (A_i \hat{x}(t) + B_i u(t)) + L_i (y(t) - \hat{y}(t)) \\ \hat{y}(t) = C \hat{x}(t) \end{cases} \quad (9)$$

### ➤ Dynamique de l'erreur

$$\dot{e}(t) = \sum_{i=1}^2 \mu_i(|\alpha_f|) (A_i - L_i C) e(t) + B_i w(t) \quad (10)$$

### ➤ Atténuation $H_\infty$

$$\sup_w \frac{\|e\|_2}{\|w\|_2} < \gamma \quad \|w\|_2^2 = \int_0^\infty w^T w dt \neq 0 \quad (11)$$



## □ Synthèse du multi observateur

### ➤ Calcul des gains

#### **Lemme. 1**

Le modèle est asymptotiquement convergent avec une atténuation  $\gamma > 0$  s'il existe  $P > 0$ ,  $M_i$  et  $\gamma > 0$  telle que les LMI suivantes sont vérifiées pour tout  $i = 1, \dots, 2$  :

$$\begin{bmatrix} A_i^T P + P A_i - M_i C - C^T M_i^T + I & P B_w \\ B_w^T P & -\gamma I \end{bmatrix} < 0 \quad (12)$$

#### **Lemme. 2**

les pôles des matrices  $(A_i - L_i C)$  sont placées dans une région LMI définie par un disque de centre  $(-q, 0)$  et de rayon  $R$  si les LMI suivantes sont vérifiées :

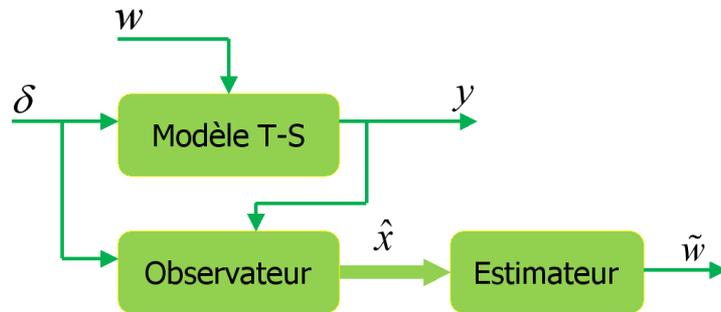
$$\begin{bmatrix} -RP & qP + (A_i - L_i C)P \\ qP + P(A_i - L_i C) & -RP \end{bmatrix} < 0 \quad (13)$$

### ➤ gains de l'observateur TS

$$L_i = P^{-1} M_i$$

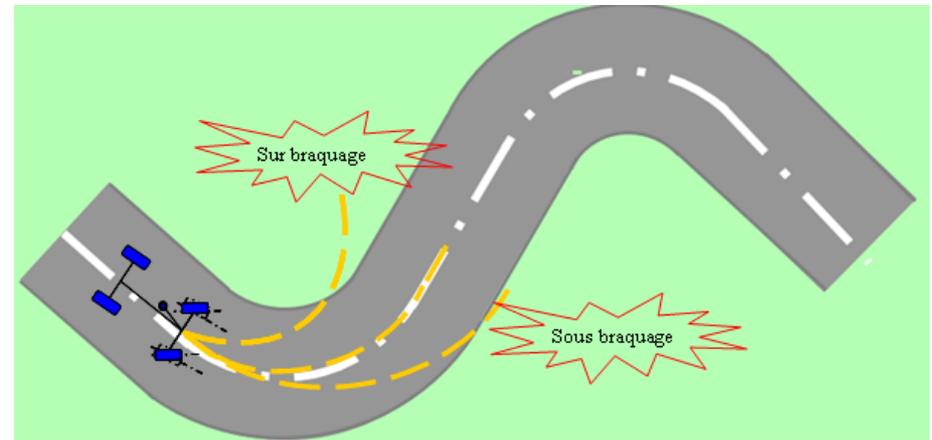
## Estimation de la courbure de la route

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



$$\tilde{w} = \frac{1}{v} \dot{\hat{\psi}} - \frac{1}{v} \Delta \dot{\hat{\psi}}$$

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

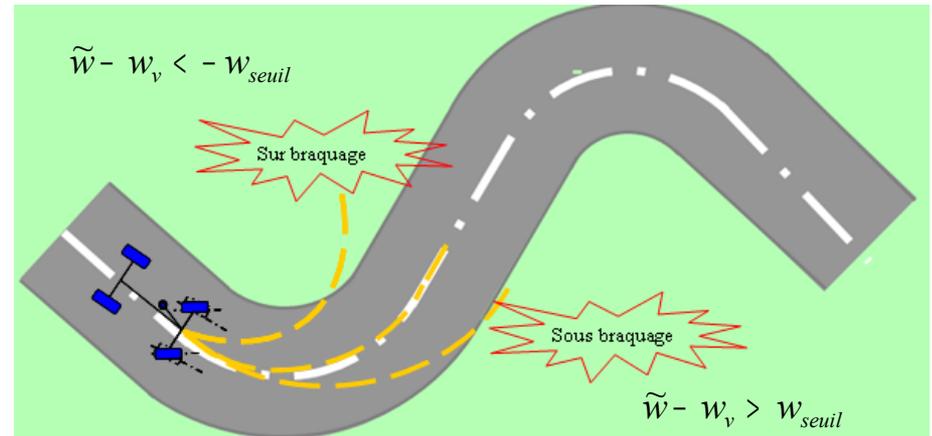


## □ Application à la détection de sorties de route

### ➤ Courbure de la trajectoire du véhicule

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

$$\frac{\dot{\psi}}{\delta} = \frac{v}{l - \frac{mv^2(l_f C_f - l_r C_r)}{l C_f C_r}}$$



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

$$w_v = \frac{\delta}{l - \frac{mv^2(l_f C_f - l_r C_r)}{l C_f C_r}}$$

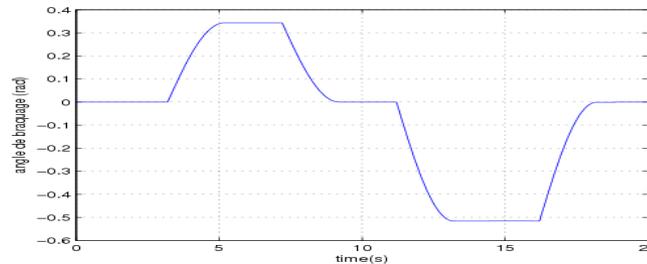
## □ Résultats de simulations

$$P = \begin{bmatrix} 3.0959 & 0.0309 & -0.0001 & 0.0001 \\ 0.0309 & 0.3162 & -0.0001 & 0.0001 \\ -0.0001 & -0.0001 & 0.0021 & 0.0002 \\ 0.0001 & 0.0001 & -0.0002 & 0.0001 \end{bmatrix}$$

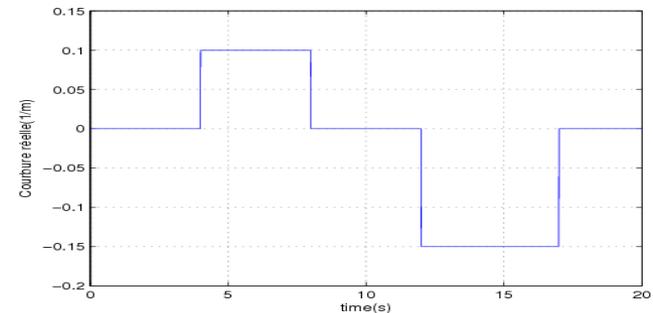
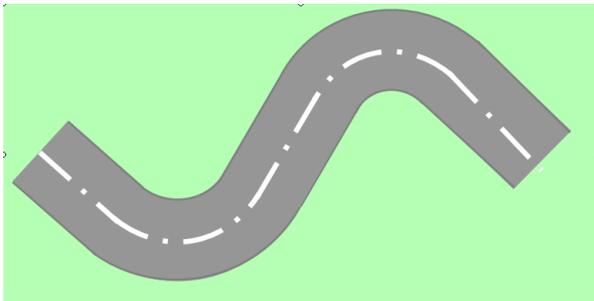
$$L_1 = 10^3 \begin{bmatrix} -0.001 & -0.001 & 0.2976 & 1.7919 \end{bmatrix}$$

$$L_2 = 10^3 \begin{bmatrix} -0.001 & -0.001 & 0.3001 & 1.8091 \end{bmatrix}$$

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

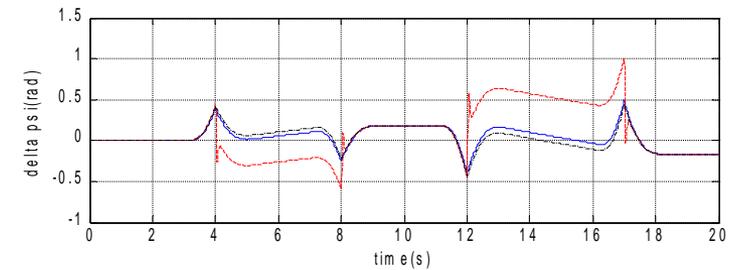
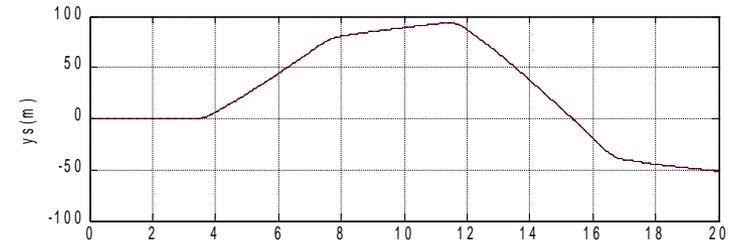
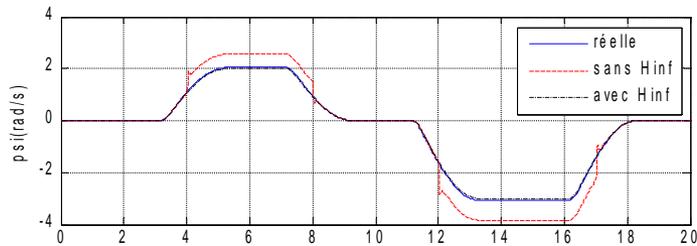
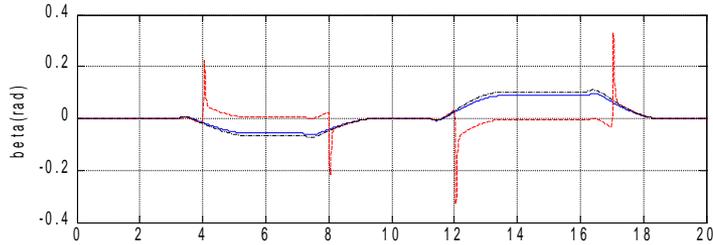


### ➤ Entrée inconnue (courbure de la route)

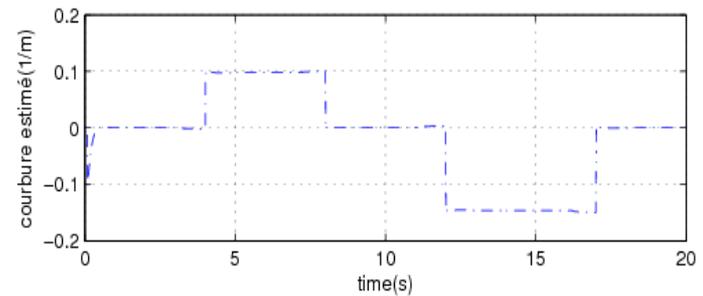
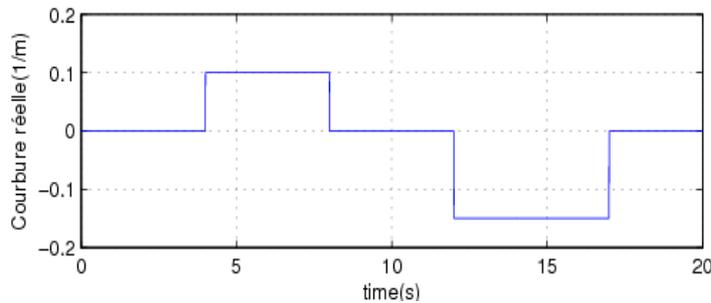


## □ Résultats de simulations

### ➤ Résultats de l'observateur

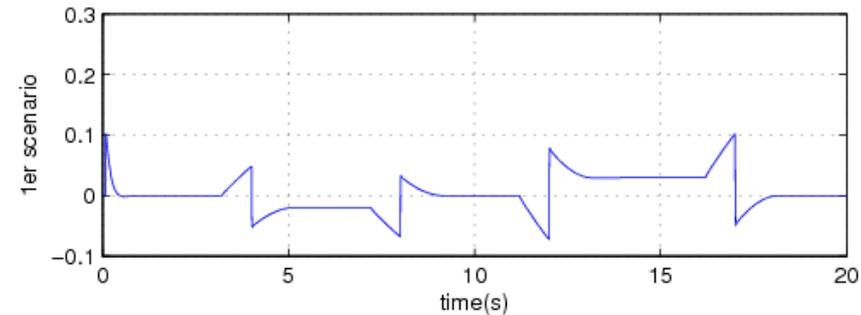
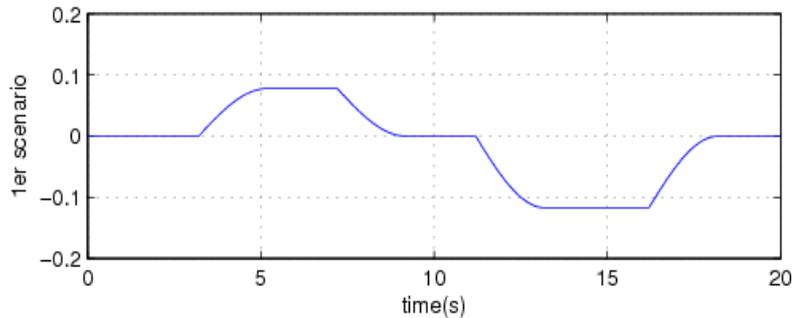


### ➤ Courbure réelle et estimée

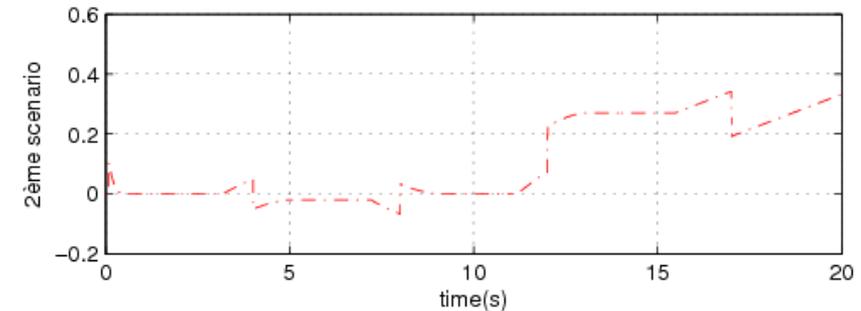
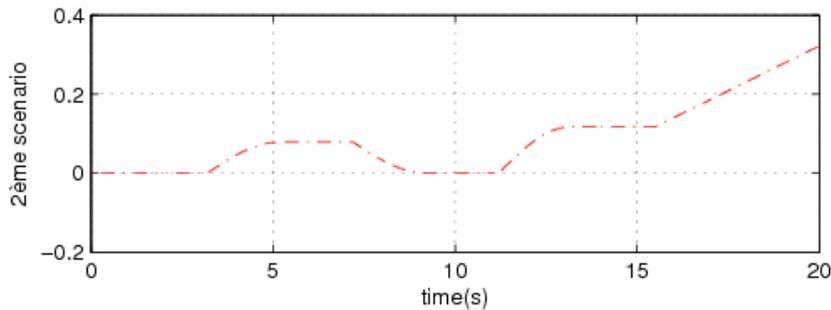


## □ Résultats de simulations

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



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





## □ Conclusion et travaux future

### ➤ Conclusions

- prise en compte des non linéarités
- Une bonne estimation de la courbure de la route
- Un indicateur pour la détection de sorties de route

### ➤ Perspectives

- Améliorer l'indicateur de risque
- Prise en compte des incertitudes et des perturbations
- Valider l'approche sur un simulateur ou sur piste



# Fin.

- Des questions...????