



## Journée de l'automatique GDR MACS 2016 (Thème: Sûreté de fonctionnement, diagnostic et tolérance aux fautes de systèmes robotique autonomes )

Commande tolérante aux fautes :  
application à l'inter-distance véhiculaire.

---

Mohamed Ryad BOUKHARI (Doctorant)



## Enjeux des véhicules autonomes:

- ✓ Réduire le nombre d'accidents;
- ✓ Diminuer la congestion routière;
- ✓ Assurer une conduite optimale (énergie).

## Les exigences de l'automatisation:

Détection de marquage

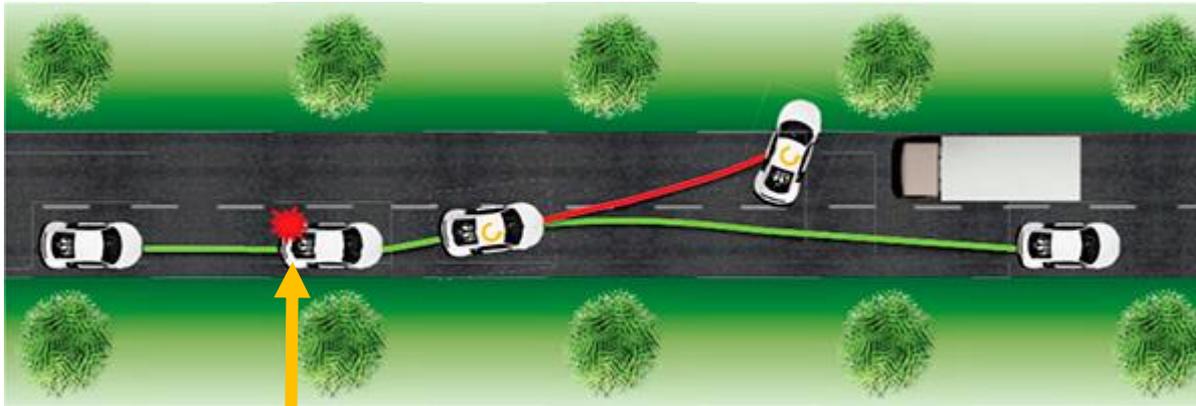
Détection d'obstacle

Détection de signalisations

Données intrinsèques



## Le comportement du véhicule en mode défaillant peut être dangereux:



Instant de l'apparition  
de la faute

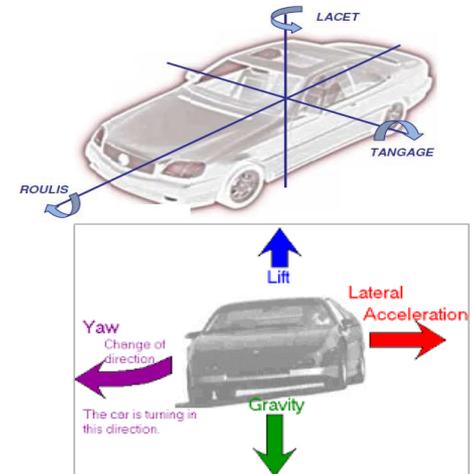
## Nécessité d'une stratégie de commande tolérante aux fautes pour:

- ✓ Assurer la sûreté du véhicule en présence de fautes;
- ✓ Prévenir qu'une action de maintenance est nécessaire, en vue d'une plus grande survivabilité du véhicule.

# PROBLÉMATIQUE

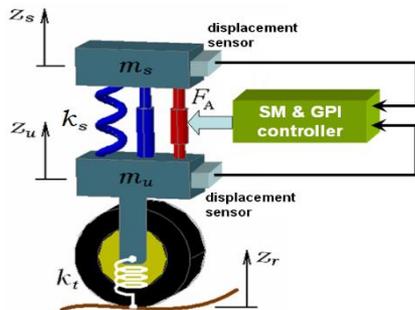
## Complexité de la dynamique du véhicule:

- ✓ Fortement non linéaire;
- ✓ Couplage entre les dynamiques;
- ✓ Incertitude sur les paramètres (masse, inertie);
- ✓ Bruits et perturbations (imperfection de la chassée, vibrations)

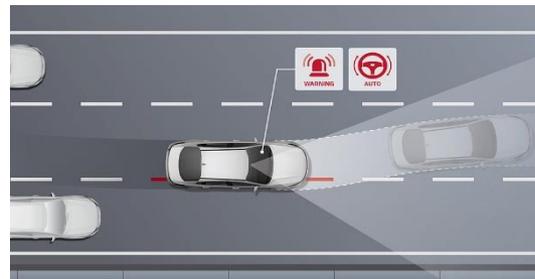


## Découplage et hypothèses simplificatrices

Découplage suivant les systèmes automatisés du véhicule:



Dynamique verticale (suspension active)



Dynamique latérale (maintien sur la voie) [4.1]



Dynamique longitudinale (ACC, DLCC)

[4.1]: Boukhari, M., Chaibet, A., Boukhni, M., and Glaser, S. (2016). Sensor fault tolerant control strategy for autonomous vehicle driving. In 2016 13th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), 241-248. IEEE.

# CONTRÔLE D'INTER-DISTANCE

## Le contrôle d'inter-distance d'un véhicule autonome

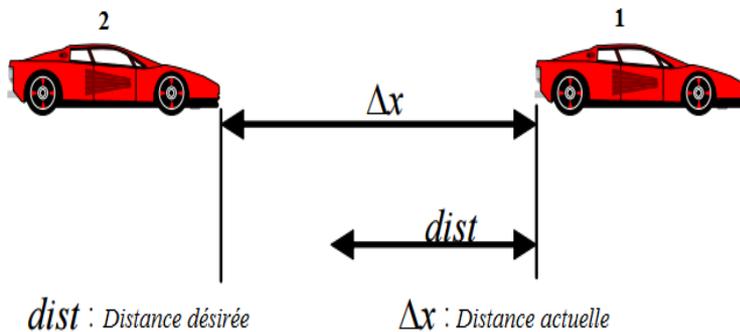


Fig 1: contrôle de l'inter-distance

### Objectif:

Contrôler la distance relative  $\Delta x$  entre l'arrière du véhicule 1, et l'avant du véhicule 2 (Voir Fig. 1), en utilisant une politique d'inter-distance *dist*.

Tel que :  $\Delta x = x_L - x_F$ .

### Historique: (véhicule de séries)

2001: Lexus de Toyota, le système DLCC (Dynamic Laser Cruise Control);

2006: Mercedes-Benz, Le système Distronic (il permet l'arrêt complet du véhicule en cas d'urgence).

### Politique d'inter-distance:

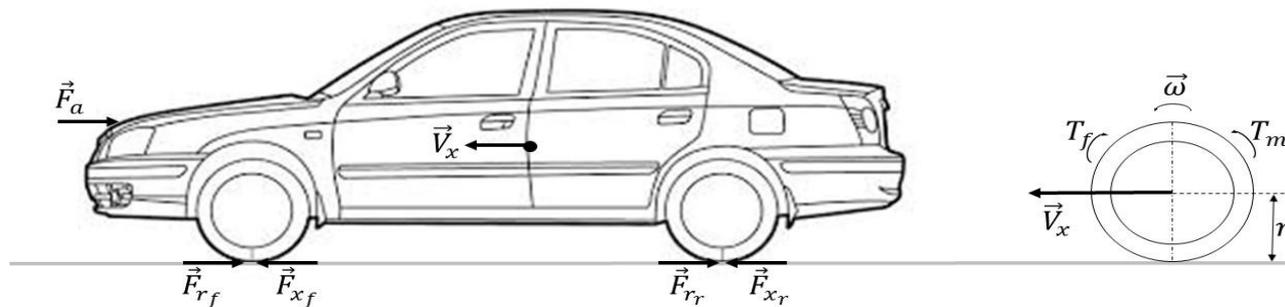
Assurer une distance sûre entre le leader et le suiveur.

$$dist = dist_0 + hV_F \quad [5.1]$$

$dist_0$  distance à l'arrêt,  $h$  constante de temps,  $V_F$  vitesse du véhicule suiveur

[5.1]: Delprat, S., Toulotte, P., Guerra, T., and Boonaert, J. (2005). Robust pole placement in a lmi region for takagisugeno models: Application to vehicle spacing control. IFAC Proceedings Volumes, 38(1), 390-395.

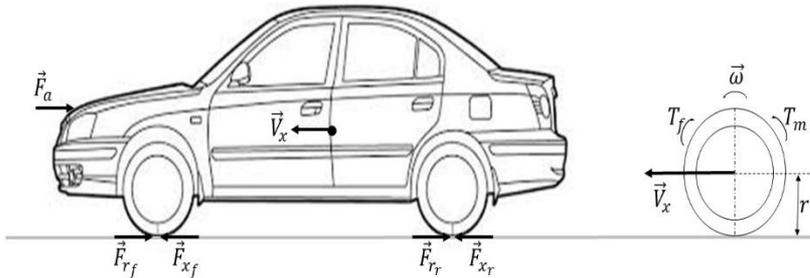
## Définition du modèle longitudinal:



### Sous hypothèses que:

- Route plane (pente nulle);
- Pas de dynamique de tangage, de roulis et de lacet;
- Pas de dynamique de pompage;
- Mode découplé (angle de braquage nul);
- Rayon effective des roues supposé constant;
- Le glissement est supposé nul

## Les différentes grandeurs



- $F_a$  force aérodynamique;
- $F_{tf} F_{tr}$  force du pneumatiques (resp: avant, arrière);
- $F_{rf} F_{rr}$  force résistance aux roulements (resp: avant, arrière);
- $m$  masse du véhicule;
- $T_{freinf}, T_{freinr}$  couple de freinage (resp: avant, arrière);
- $\dot{V}_x$  vitesse longitudinale du véhicule;
- $\dot{\omega}_{roue_i}$  vitesse de rotation de la ième roue;
- $r$  rayon effective de la roue.

Modèle longitudinal [1] :

$$\left\{ \begin{array}{l} m\dot{V}_x = \sum_{i=1}^4 F_{xi} - F_a \end{array} \right. \quad Eq. 11.1$$

$$\bar{J}_{roue_i} \dot{\omega}_{roue_i} = T_{essieu} - T_{freinfi} - rF_{tfi} - rF_{rfi}, i = 1,2 \quad Eq. 11.2$$

$$J_{roue_i} \dot{\omega}_{roue_i} = -T_{freinri} - rF_{tri} - rF_{rri}, i = 3,4 \quad Eq. 11.3$$

[1]: Commande robuste applique aux contrôle d'un véhicule à basse vitesse, Thèse Lydie NOUVELIERE, 2002.

Modélisation bicyclette:

$$\begin{cases} m\dot{V}_x = F_{x_f} + F_{x_r} - F_a & \text{Eq. 12.1} \\ \bar{J}_{roue}\dot{\omega}_{roue} = T_{essieu} - T_{freinf} - rF_{x_f} - rF_{r_f} & \text{Eq. 12.2} \\ J_{roue}\dot{\omega}_{roue} = -T_{freinr} - rF_{x_r} - rF_{r_r} & \text{Eq. 12.3} \end{cases}$$

Substituant  $F_{x_f}$  de Eq. 12.2, et  $F_{x_r}$  de Eq. 12.3 par leur valeurs dans Eq. 12.1, on trouve:

$$m\dot{V}_x = \frac{1}{r} \left( -\bar{J}_{roue}\dot{\omega}_{roue_f} + T_{essieu} - T_{freinf} - F_{r_f} - J_{roue}\dot{\omega}_{roue_r} - T_{freinr} - F_{r_r} \right) - F_a$$

Soit:

$$m\dot{V}_x = \frac{1}{r} \left( T_{essieu} - \bar{J}_{roue}\dot{\omega}_{roue_f} - J_{roue}\dot{\omega}_{roue_r} - R - T_F \right) - F_a \quad \text{Eq. 12.4}$$

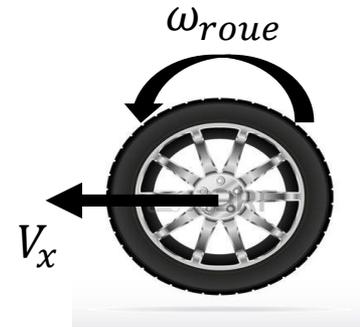
Avec :  $R = F_{r_f} + F_{r_r}$  et  $T_F = T_{freinf} + T_{freinr}$

# LA DYNAMIQUE LONGITUDINALE

9

La relation entre la vitesse longitudinale et la vitesse des roues:

$$\lambda = \frac{r\omega_{roue} - V_x}{\max(r\omega_{roue}, V_x)} \quad \lambda \text{ est le taux de glissement}$$



Accélération  
 $r\omega_{roue} > V_x$

Étude dans le cas de non-glissement :

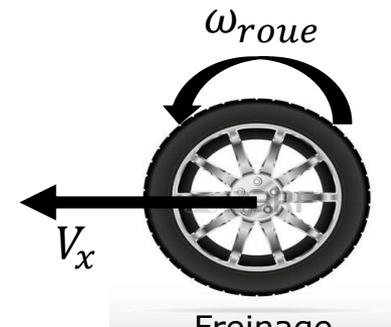
$$\lambda = 0 \Rightarrow r\omega_{roue} = V_x$$

$$\omega_{roue} = \frac{V_x}{r} \text{ on le substitue}$$

dans Eq. 12.4, on trouve

(avec  $\omega_{roue} = \omega_{roue_f} = \omega_{roue_r}$ ):

$$m\dot{V}_x = \frac{1}{r} \left( T_{essieu} - \bar{J}_{roue} \frac{\dot{V}_x}{r} - J_{roue} \frac{\dot{V}_x}{r} - R - T_F \right) - F_a$$



Freinage  
 $r\omega_{roue} < V_x$

Soit:

$$\left(m + \frac{(J_{roue} + \bar{J}_{roue})}{r^2}\right) \dot{V}_x = \frac{1}{r} (T_{essieu} - R - T_F) - F_a$$

Sachant que :  $F_a = a_x V_x + c_x V_x^2$ , et posons  $\left(rm + \frac{(J_{roue} + \bar{J}_{roue})}{r}\right) = \alpha$  et  $(T_{essieu} - R - T_F) = C_e$  on a:

$$\alpha \dot{V}_x = C_e - a_x V_x - c_x V_x^2 \quad Eq. 14.1$$

$C_e$  a une dynamique du premier ordre, pour compenser le retard:

$$\dot{C}_e = -\frac{1}{\tau} C_e + \frac{1}{\tau} u(t) \quad Eq. 14.2 \quad [14.1]$$

[14.1]: Delprat, S., Toulotte, P. F., Guerra, T. M., & Boonaert, J. (2005). ROBUST POLE PLACEMENT IN A LMI REGION FOR TAKAGI-SUGENO MODELS: APPLICATION TO VEHICLE SPACING CONTROL. *IFAC Proceedings Volumes*, 38(1), 390-395.

# DÉFINITION DU MODÈLE DE LA DYNAMIQUE LONGITUDINALE

11

En posant  $a_x = a$  et  $c_x = b$  on abouti au modèle suivant :

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_x \\ \dot{C}_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{a}{\alpha} & \frac{1}{\alpha} \\ 0 & -\frac{1}{\tau} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ C_e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1/\tau \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} -b/\alpha \\ 0 \end{bmatrix} V_x^2 \quad \text{Eq. 15.1}$$

Sous la forme :

$$\dot{x} = Ax + Bu + Gg(x) + Wd$$

**Système non linéaire !!!** Il faut appréhender le terme  $g(x)$

## **Solution ! Les systèmes Lipschitziens**

Soit les systèmes vérifiant la relation de Lipschitz

$$|f(x_1) - f(x_2)| \leq L|x_1 - x_2| \quad \text{EQ. 15.2}$$

$L$  est la constante de Lipschitz

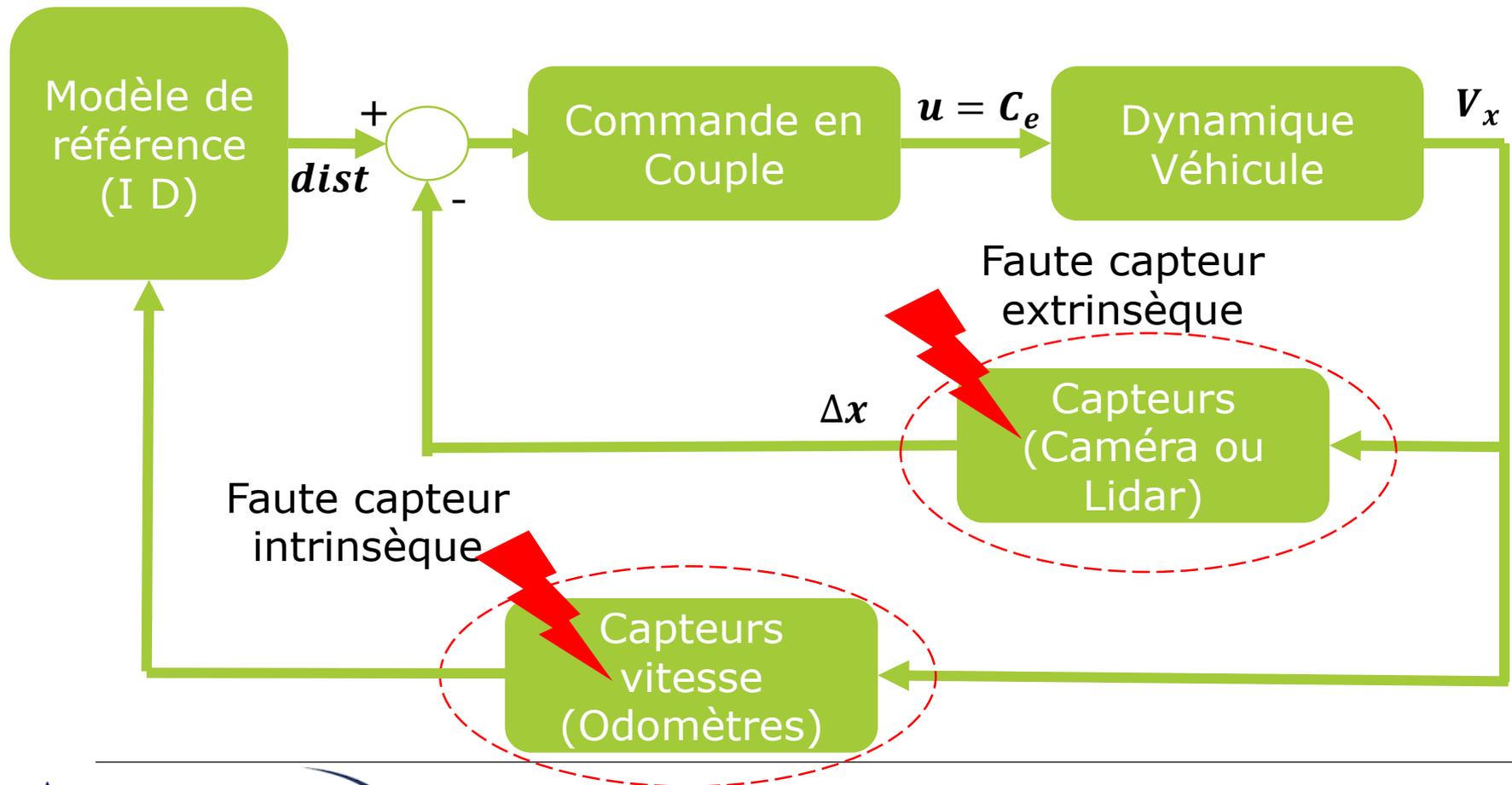
- $x^2$  est une fonction localement Lipschitz;

# CONTRÔLE D'INTER-DISTANCE

12

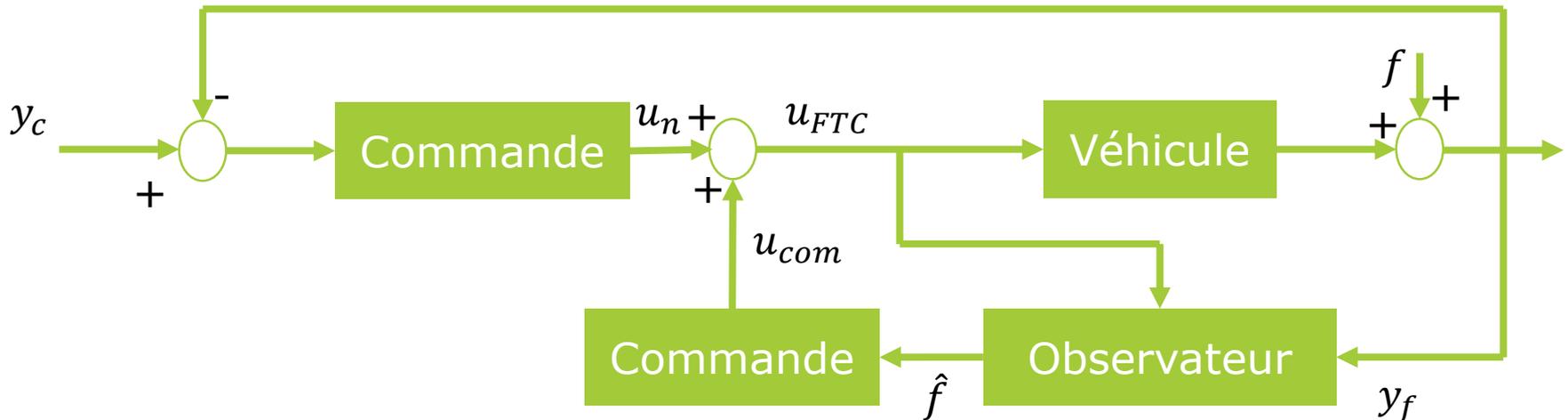
## Le contrôle d'inter-distance d'un véhicule autonome

**Schéma de commande** (soumis aux défauts):



## Application à la dynamique de véhicule:

### Principe de séparation:



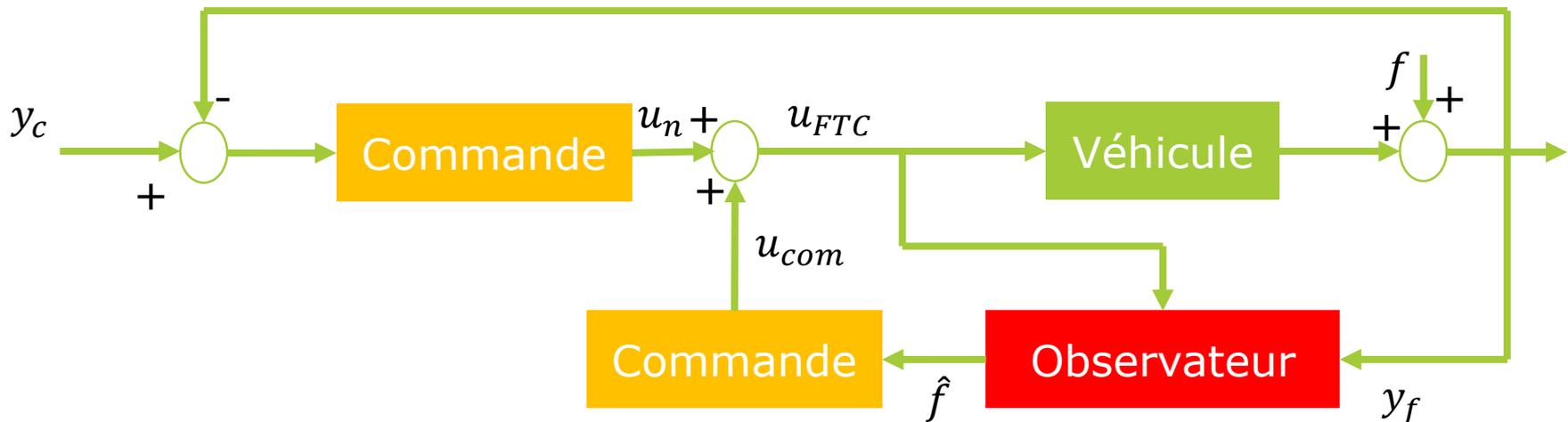
$$u_{FTC} = u_n + u_{com}$$

Connaissant la faute (via l'observateur), on utilise la même loi de commande pour compenser l'effet de la faute sur le système

## Application à la dynamique de véhicule:

### La démarche :

- Synthèse d'une loi de commande nominale (la même pour le nominal et la compensation d'erreurs);
- Synthèse d'un estimateur de la faute.



Modélisation de la dynamique longitudinale !!!

Soit un système Lipschitzien du type  $\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + Gg(x) + Wd \\ y = Cx \end{cases}$

Une commande par retour d'état stabilisante s'écrit :  $u = -kx$   
 Pour éliminer l'erreur statique, on adopte une commande par action intégrale, en posant:  $x_I = \int y_c - y$

On construit un modèle augmenté comme suit:

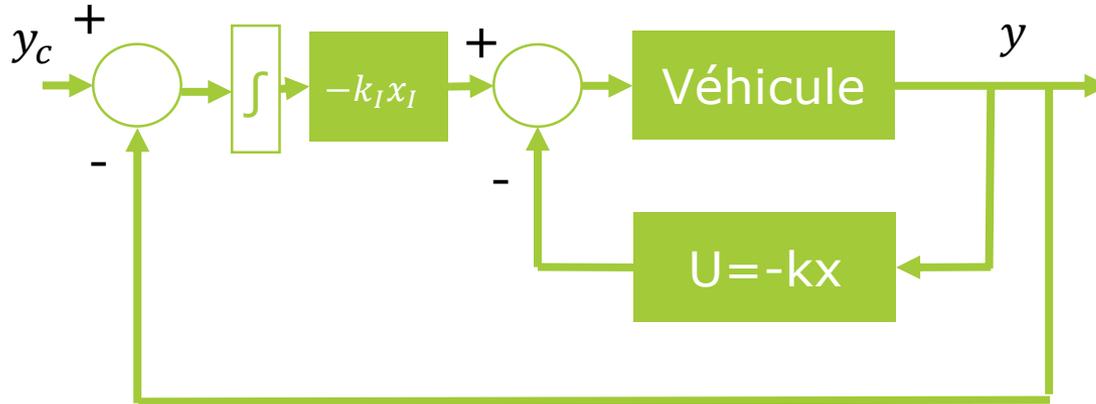
$$\begin{bmatrix} \dot{V}_x \\ \dot{C}_e \\ \dot{x}_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{a}{\alpha} & \frac{1}{\alpha} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\tau} & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ C_e \\ x_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1/\tau \\ 0 \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} -bV_x^2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ y_c \end{bmatrix}$$

Soit:

$$\begin{cases} \dot{X} = \bar{A}X + \bar{B}u(t) + \bar{G}g(x) + \bar{W}d \\ y = \bar{C}X \end{cases}$$

La commande  $u(t) = -KX$

$$K = [k \ k_I]$$



Le système à commander s'écrit en boucle fermée comme suit:

$$\dot{X} = (\bar{A} - \bar{B}K)X + \bar{G}g(x) + \bar{W}d$$

La commande par action intégrale

Soit la fonction de Lyapunov suivante :  $V = X^T P X \quad \backslash P = P^T \geq 0$

Le système est stable si  $\dot{V} < 0$  soit :

$$\dot{X}^T P X + X^T P \dot{X} < 0 \quad \text{EQ.17.1}$$

Ajout du critère de décroissance qui borne la dérivée de la fonction de Lyapunov [17.1] :

$$\dot{V} < -2\alpha V \quad \backslash \lambda \text{ est un scalaire positif. EQ.17.2}$$

[17.1]: Howell, A., & Hedrick, J. K. (2002, May). Nonlinear observer design via convex optimization. In *Proceedings of the 2002 American Control Conference (IEEE Cat. No. CH37301)* (Vol. 3, pp. 2088-2093). IEEE.

# LA COMMANDE NOMINALE

Critère  $H_\infty$ :  $\int_0^{+\infty} (X^T X - \gamma^2 d^T d) \leq 0$  **EQ. 18.1**

Minimisation du gain  $\mathcal{L}_2$ :  $\int_0^{+\infty} (X^T X - \lambda^2 u^T u) \leq 0$  **EQ. 18.2**

Lemme :  $A^T B + B^T A \leq \delta A^T A + \delta^{-1} B^T B$  **EQ. 18.3**

$S + MR^{-1}M^T < 0, R < 0 \Leftrightarrow \begin{bmatrix} S & M \\ M^T & -R \end{bmatrix} < 0$  **EQ. 18.4**

En combinant *EQ. 17.1*, *EQ. 17.2*, *EQ. 18.1*, et *EQ. 18.2*, en se basant sur *Eq. 15.2*, *EQ. 18.4* et *EQ. 18.3* avec quelques manipulations on aboutit à LMI suivante :

$$\begin{bmatrix} \Omega & 0 & WP^{-1} & \bar{G}P^{-1} & P^{-1} & P^{-1} \\ * & -\gamma^2 I & 0 & 0 & 0 & 0 \\ * & * & -\lambda^2 I & 0 & 0 & 0 \\ * & * & * & -\delta^{-1} I & 0 & 0 \\ * & * & * & * & -I & 0 \\ * & * & * & * & * & -I \end{bmatrix} \leq 0$$

$$\Omega = \mathcal{H}(P^{-1}\bar{A}) + \mathcal{H}(\bar{B}Y) + (\delta L^2 + 1 + 2)I + 2\alpha P^{-1}$$

$$Y = KP^{-1}$$

**LMI 18.1**

## 1- Observateur Proportionnel et Intégral:

Soit le système non linéaire Lipschitzien en mode défauts:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Gg(x) + Bu(t) + Wd(t) \\ y = Cx + Ff \end{cases}$$

L'observateur Proportionnel et Intégral reconstruisant la faute s'écrit:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Gg(\hat{x}) + Bu(t) + L_p(y - \hat{y} - F\hat{f}) \\ \dot{\hat{f}} = L_I(y - \hat{y} - F\hat{f}) \\ \hat{y} = C\hat{x} \end{cases}$$

$L_p$  et  $L_I$  Assurant une convergence rapide et robuste

## 1- Observateur Proportionnel et Intégral:

Adoption d'erreurs dynamiques:  $e = x - \hat{x}$  et  $e_f = f - \hat{f}$

$$e \rightarrow 0 \Leftrightarrow \hat{x} \rightarrow x \quad e_f \rightarrow 0 \Leftrightarrow \hat{f} \rightarrow f$$

Les dynamiques d'erreurs:

$$\begin{cases} \dot{e} = (A - L_p C)e + \tilde{g} + Wd(t) - L_p F e_f \\ \dot{e}_f = \dot{f} - L_I C e - L_I F e_f \end{cases} \quad \tilde{g} = g(x) - g(\hat{x})$$

$\dot{f}$  est prise en tant qu'une perturbation externe [20.1]

[20.1]: Han, J., Zhang, H., Wang, Y., & Liu, Y. (2015). Disturbance observer based fault estimation and dynamic output feedback fault tolerant control for fuzzy systems with local nonlinear models. *ISA transactions*, 59, 114-124.

## 1- Observateur Proportionnel et Intégral:

En considérant les états augmentés suivant  $Z_1 = \begin{bmatrix} e \\ e_f \end{bmatrix}$  et  $Z_2 = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{f} \end{bmatrix}$ :

$$\begin{cases} \dot{Z}_1 = (A^* - L^*C^*)Z_1 + G^*\tilde{g} + W_1d \\ \dot{Z}_2 = A^*Z_2 + L^*C^*Z_1 + G^*g(\hat{x}) + B^*u + W_2f \end{cases}$$

$$W_1 = \begin{bmatrix} W \\ 0 \end{bmatrix} \quad W_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} \quad B^* = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} \quad A^* = \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad L^* = \begin{bmatrix} L_p \\ L_I \end{bmatrix}$$
$$C^* = [C \quad F] \quad G^* = \begin{bmatrix} G \\ 0 \end{bmatrix}$$

Rendre le résidu insensible aux perturbations externes:

$$r = N(y - \hat{y}) = NC_0e \quad \setminus N \text{ est une matrice de pondération, } C_0 = [C \quad 0]$$

# L'ESTIMATION DE FAUTE

## 1- Observateur Proportionnel et Intégral:

### Pour avoir la LMI:

- Equation de Lyapunov multiple :  $V = Z_1^T P_1 Z_1 + Z_2^T P_2 Z_2$ ;
- Critère  $H_\infty$  :  $\int_0^{+\infty} (r^T r - \gamma^2 d^T d) \leq 0$ ;
- Critère gain  $\mathcal{L}_2$  :  $\int_0^{+\infty} (Z_2^T Z_2 - \lambda^2 u^T u) \leq 0$ .

En se basant sur les lemmes EQ. 18.3, EQ. 15.2 et EQ. 18.4

$$\begin{bmatrix} \Delta_1 & C^* L^* P_2 & 0 & 0 & P_1 W_1 & P_1 G^* & C_0^T N^T & 0 \\ * & \Delta_2 & P_2 B^* & P_2 W_2 & 0 & 0 & 0 & P_2 G^* \\ * & * & -\lambda^2 I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ * & * & * & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ * & * & * & * & -\gamma^2 I & 0 & 0 & 0 \\ * & * & * & * & * & -\delta^{-1} I & 0 & 0 \\ * & * & * & * & * & * & -I & 0 \\ * & * & * & * & * & * & * & -\delta^{-1} I \end{bmatrix} \leq 0$$

$$\Delta_1 = \mathcal{H}(P_1 A^* - U_1 C^*) + \delta L^2 I + I$$

$$\Delta_2 = \mathcal{H}(P_2 A^*) + \delta L^2 I + I$$

$$U_1 = P_1 L^*$$

LMI 22.1

## 2- Observateur Descripteur:

Soit le système non linéaire Lipschitzien sujet aux défauts:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Gg(x) + Bu(t) + Wd(t) \\ y = Cx + Ff \end{cases}$$

Système descripteur:

$$\begin{cases} E\dot{\bar{x}} = \bar{A}\bar{x} + \bar{G}g(x) + \bar{B}u + \bar{W}d + \bar{F}\bar{f} \\ y = \bar{C}\bar{x} = C_0\bar{x} + \bar{f} \end{cases}$$

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} x \\ \bar{f} \end{bmatrix} \quad E = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \bar{A} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & -I \end{bmatrix} \quad \bar{G} = \begin{bmatrix} G \\ 0 \end{bmatrix} \quad \bar{B} = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} \quad \bar{F} = \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix}$$

$$\bar{W} = \begin{bmatrix} W \\ 0 \end{bmatrix} \quad \bar{f} = Ff \quad \bar{C} = [C \quad F] \quad C_0 = [C \quad 0]$$

## 2- Observateur Descripteur:

L'observateur Descripteur reconstruisant la faute s'écrit:

$$\begin{cases} \bar{E}\dot{z} = Sz + \bar{G}g(\hat{x}) + \bar{B}u \\ \dot{\hat{x}} = z + Ly \end{cases} \quad \bar{E} = \begin{bmatrix} I + \Theta C & \Theta \\ RC & R \end{bmatrix} \quad S = \begin{bmatrix} A & 0 \\ -C & -I \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix}$$

$\Theta, R$  pour  $\bar{E}$  non singulière

Adoption d'erreurs dynamiques:  $e = \bar{x} - \hat{x}$

$$e \rightarrow 0 \Leftrightarrow \hat{x} \rightarrow x \text{ et } \hat{f} \rightarrow f$$

La dynamique d'erreur:

$$\dot{e} = \tilde{S}e + \tilde{G}\tilde{g} + \tilde{W}d$$

$$\tilde{S} = \bar{E}^{-1}S \quad \tilde{G} = \bar{E}^{-1}\bar{G} \quad \tilde{W} = \bar{E}^{-1}\bar{W}$$

## 2- Observateur Descripteur:

En considérant l'état augmenté suivant  $X = \begin{bmatrix} e \\ x \end{bmatrix}$ :

$$\begin{bmatrix} \dot{e} \\ \dot{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{S} & 0 \\ 0 & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ x \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{G} & 0 \\ 0 & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{g} \\ g(\hat{x}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ B \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} \tilde{W} \\ W \end{bmatrix} d$$

Rendre le résidu insensible aux perturbations externes:

$$r = M(y - \hat{y}) = MC_0 e$$

\  $M$  est une matrice de pondération,  $C_0 = [C \ 0]$

# L'ESTIMATION DE FAUTE

## 2- Observateur Descripteur:

### Pour avoir la LMI:

- Equation de Lyapunov :  $V = \begin{bmatrix} e \\ x \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} P_1 & 0 \\ 0 & P_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ x \end{bmatrix}$ ;
- Critère  $H_\infty$  :  $\int_0^{+\infty} (r^T r - \gamma^2 d^T d) \leq 0$ ;
- Critère gain  $\mathcal{L}_2$  :  $\int_0^{+\infty} (X^T X - \lambda^2 u^T u) \leq 0$ .

$$\begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & 0 & 0 & P_{11}W & P_{11}G & C^T M^T & 0 \\ * & \Phi_{21} & 0 & 0 & -P_{12}CW & -P_{12}CG & 0 & 0 \\ * & * & \Phi_{31} & P_2 B & P_2 W & 0 & 0 & P_2 G \\ * & * & * & -\lambda^2 I & 0 & 0 & 0 & 0 \\ * & * & * & * & -\gamma^2 I & 0 & 0 & 0 \\ * & * & * & * & * & -\delta^{-1} I & 0 & 0 \\ * & * & * & * & * & * & -I & 0 \\ * & * & * & * & * & * & * & -\delta^{-1} I \end{bmatrix} \leq 0$$

$$\Phi_{11} = \mathcal{H}(P_{11}A) + \mathcal{H}(N_1 C) + \delta L^2 I + I$$

$$\Phi_{12} = N_1 - A^T C^T P_{12}^T - C^T N_2^T$$

$$\Phi_{21} = -\mathcal{H}(N_2) + I$$

$$\Phi_{31} = \mathcal{H}(P_2 A) + \delta L^2 I + I$$

LMI 26.1

## Les différents gains (commande et observateurs):

Les LMIs : (LMI 18.1), (LMI 22.1) et (LMI 26.1), sont résolues à l'aide du solveur « PENLAB » sous l'environnement « YALMIP » [27.1] de Matlab

(LMI 18.1) donne:  $K = 10^4[-1,7399 \quad 1,5747]^T$  et  $K_I = -0,3727 * 10^4$

(LMI 22.1) donne:  $L_p = [-2,8605 \quad 5,6037]^T$  et  $L_p = [22,7274 \quad -0,5799]^T$

(LMI 26.1) donne:  $\bar{E} = \begin{bmatrix} 0,2968 & 0 & -0,7032 & -0,2672 \\ -1,1999 & 1,0000 & -1,1999 & 0,0240 \\ 2,3570 & 0 & 2,3570 & -0,8756 \\ -0,3328 & 0 & -0,3328 & 0,8898 \end{bmatrix}$

[27.1]: Löfberg, J. (2012). Automatic robust convex programming. Optimization methods and software

# SIMULATION

En adoptant une manœuvre de conduite type « stop&go », on applique une faute additive à l'instant  $t=15s$ :

$$f(t) = (0,01t - 2) + \sin(2\pi t)$$

## Résultats:

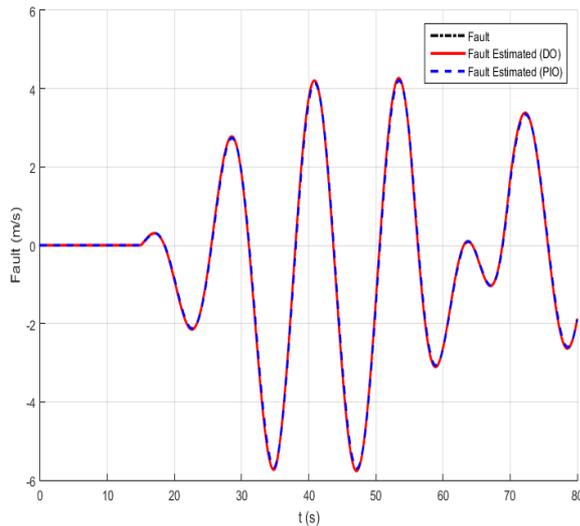


Fig. T.1 : La faute et son estimation

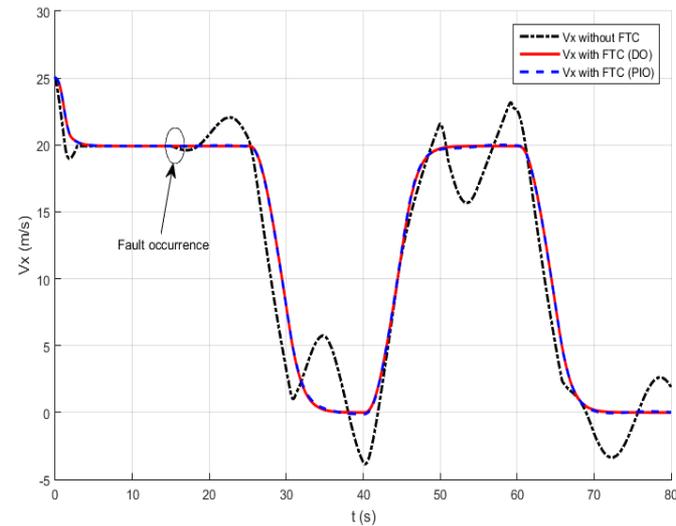


Fig. T.2 : La vitesse sans et avec FTC (DO et PIO)

L'estimation de la vitesse et la vitesse réelle du véhicule avec un système FTC (DO et PIO)

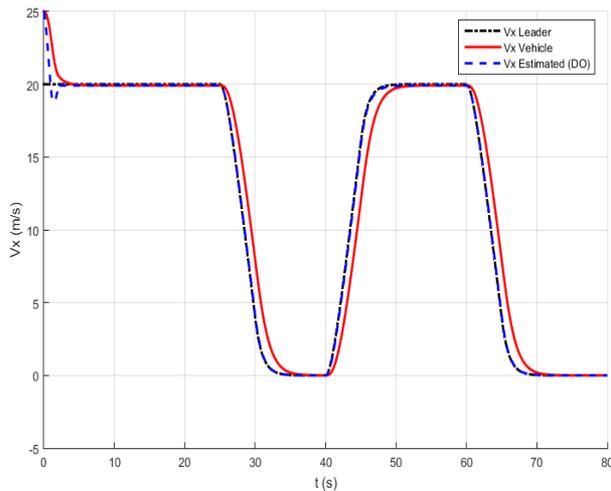


Fig. T.3 : L'estimation de la vitesse avec un descripteur

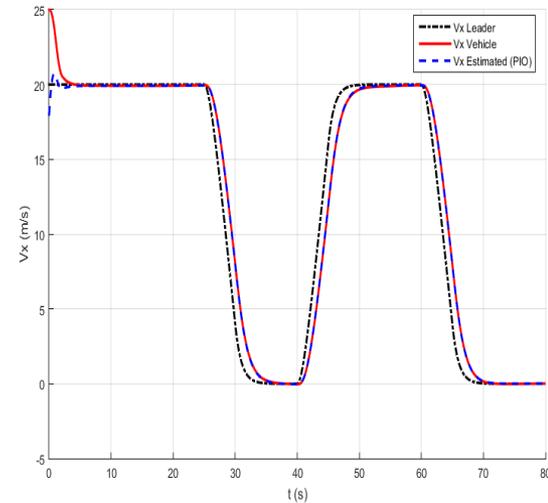


Fig. T.4 : L'estimation de la vitesse avec un PIO

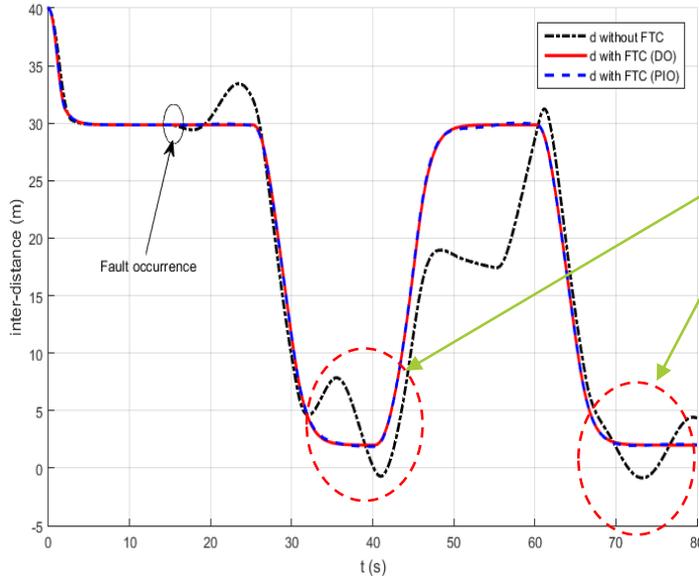


Fig. T.5 : Comparaison de l'inter-distance véhiculaire sans et avec FTC (DO et PIO)

L'influence de la faute sur le contrôle du véhicule;  
 On remarque une inter-distance négative;  
 La FTC a gardée de bonne performance

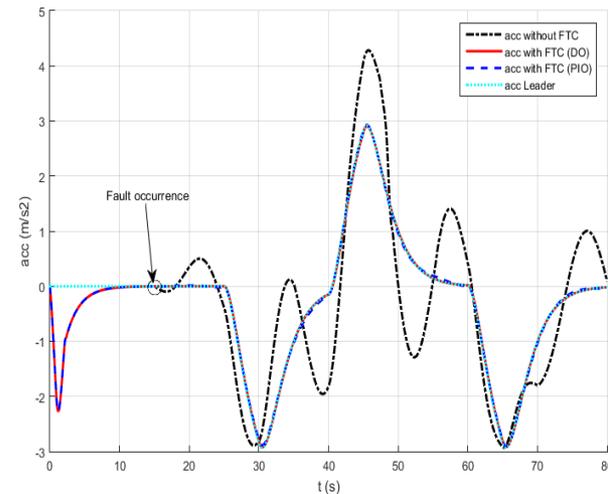


Fig. T.6 : Comparaison du profil d'accélération sans et avec FTC (DO et PIO)

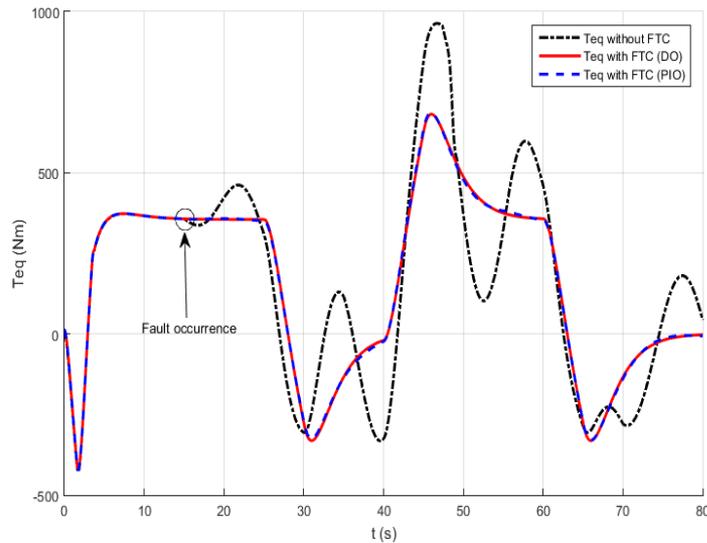


Fig. T.7 : Comparaison du couple à la roue sans et avec FTC (DO et PIO)

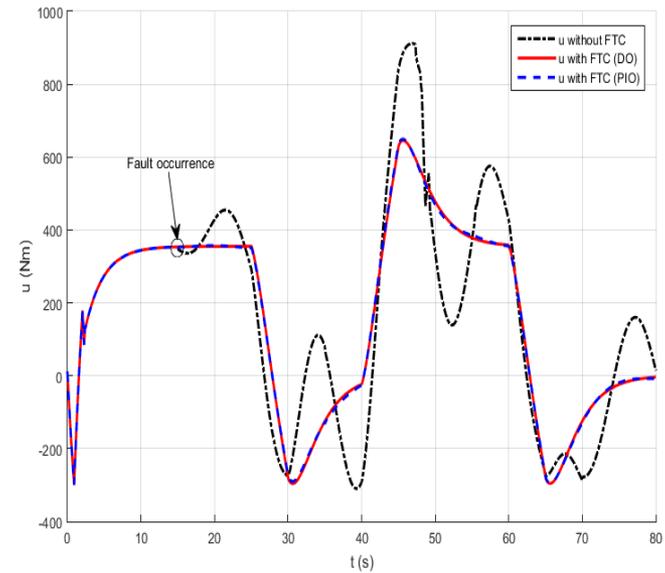
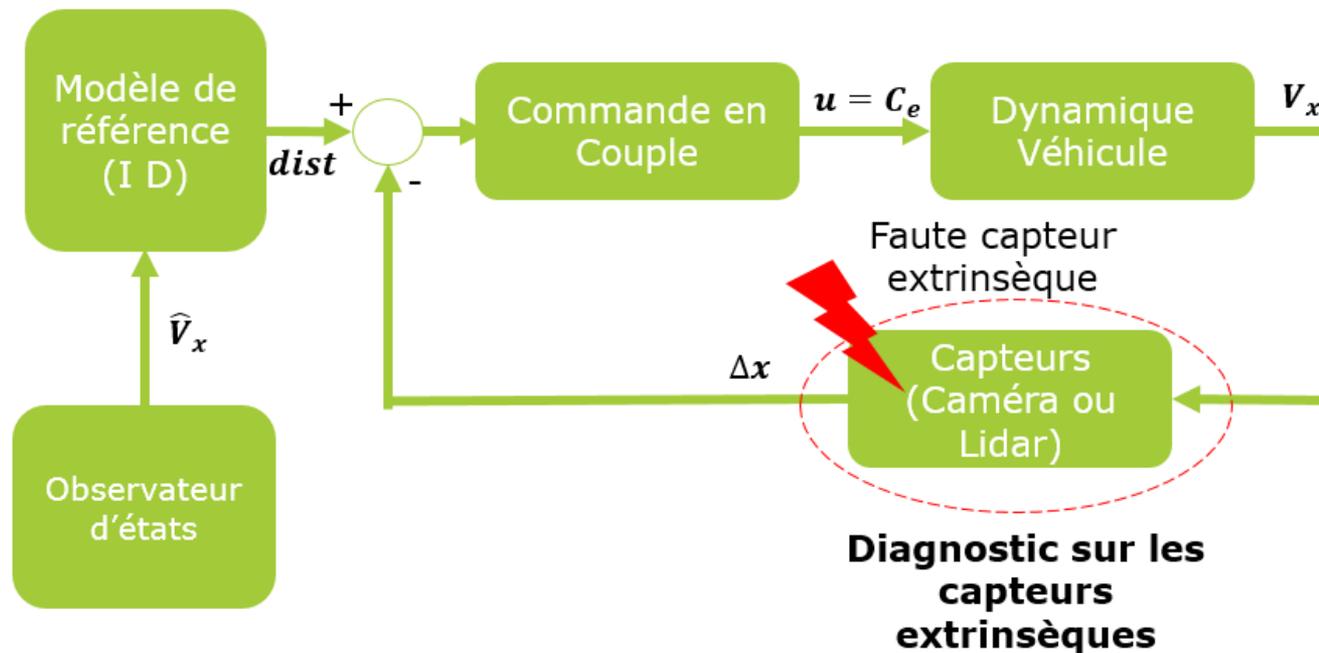


Fig. T.8 : Comparaison de la commande sans et avec FTC (DO et PIO)

- D'assurer le contrôle de la dynamique longitudinale du véhicule par un retour d'état avec application aux systèmes non linéaires Lipschitziens;
- Détecter les défauts capteurs additifs suivant deux techniques (les systèmes descripteurs, et l'observateur proportionnel et intégral);
- Garder des performances acceptables en présences de faute grâce à la stratégie de commande tolérante aux fautes.

1. Implémentation de la stratégie FTC développée sur un véhicule prototype;
2. Adoption de critère de sensibilité pour la détection de fautes;
3. Développement d'une technique de diagnostic pour les fautes extrinsèques:





**Merci de votre attention**

---

