



Journées Automatique Automobile 7-8 Décembre 2010, Amiens

Bienvenue

Approche floue de type Takagi-Sugeno pour l'estimation de la dynamique du véhicule et la détection des renversements.

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



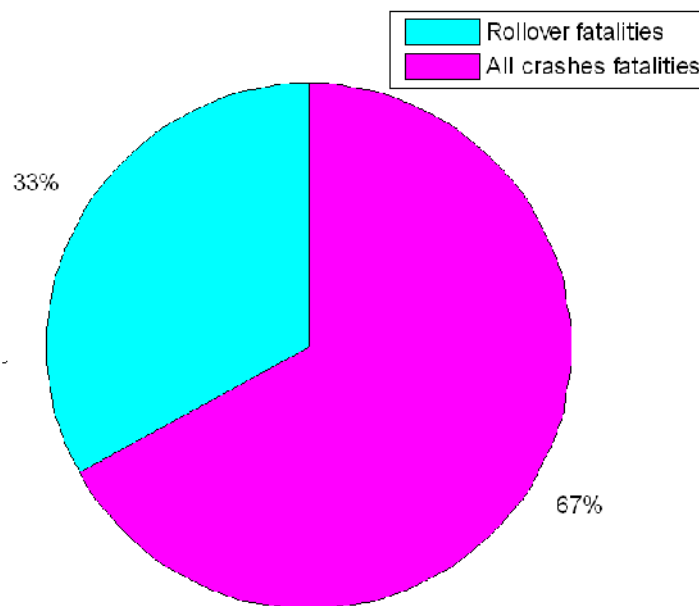
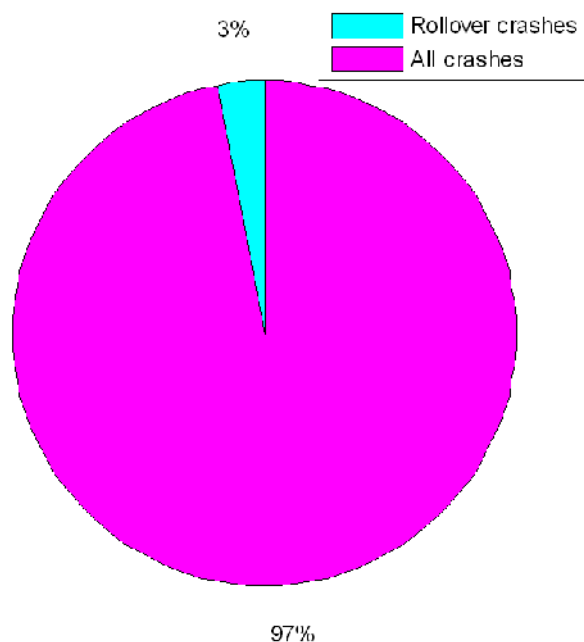
- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- Résultats de simulation
- Conclusions et perspectives

Résumé

- Estimation du transfert de charge latérale (LTR) pour la détection des renversements
- Calcul du temps à renversement (TTR)
- Représentation TS du model de la dynamique du véhicule
- Prise en compte du devers de la route
- Synthèse d'un observateur robuste avec l'approche H_∞ et l'approche LMI
- Simulation et validation sur CarSim

Rollover statistics [NCSA 2002] :

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



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- Résultats de simulation
- Conclusions et perspectives

Motivation



L'ESP pour le contrôle de trajectoire



L'ABS pour l'assistance au freinage

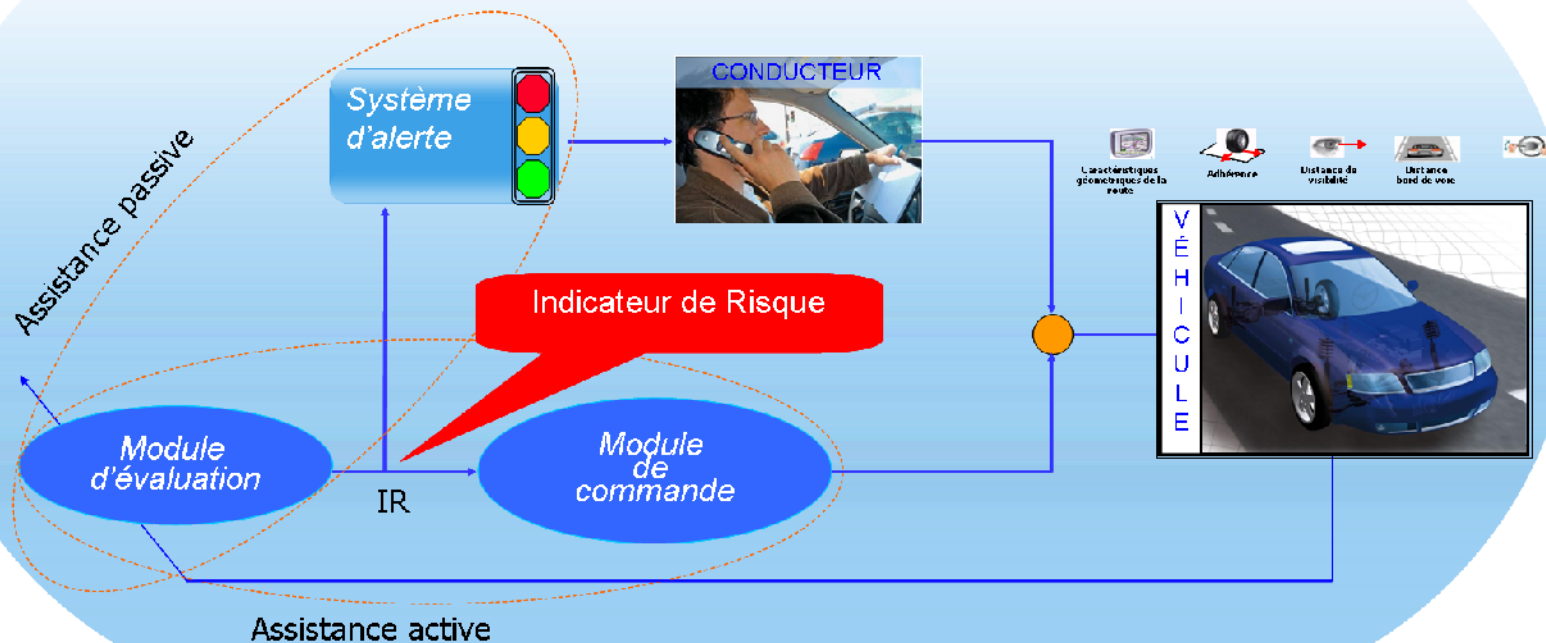
Systèmes de sécurité dans les véhicules



L'airbag pour protéger les passagers lors de collisions



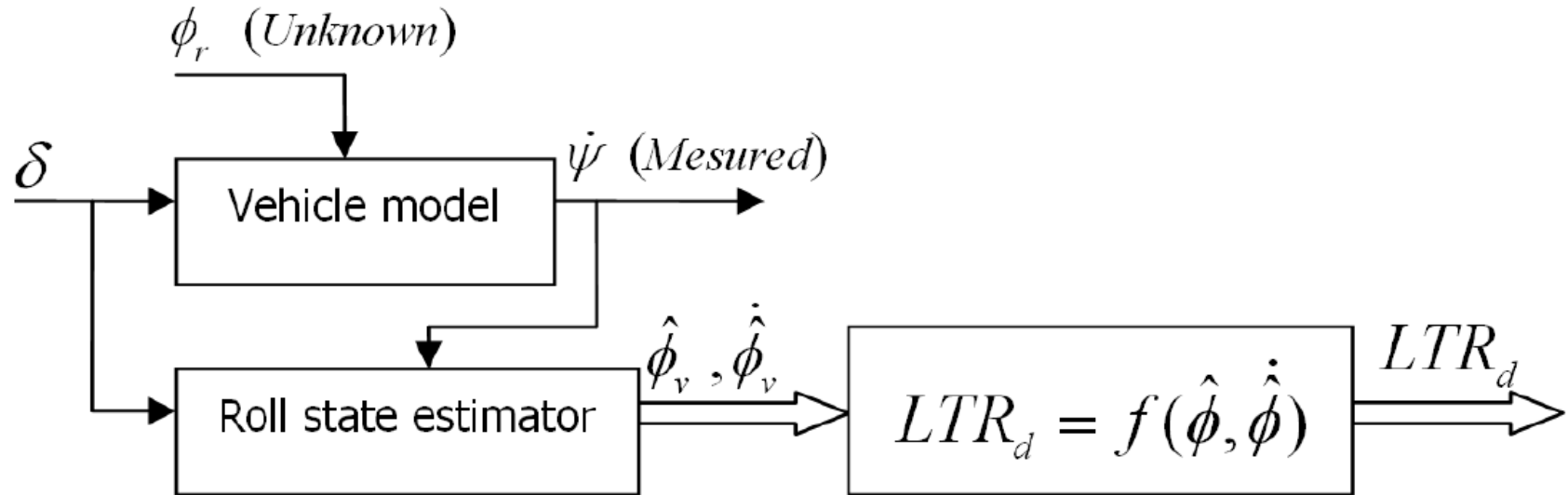
? Pas de système de protection pour les renversements





- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- Résultats de simulation
- Conclusions et perspectives

Structure globale





- Introduction
- **Modélisation du véhicule**
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- Résultats de simulation
- Conclusions et perspectives

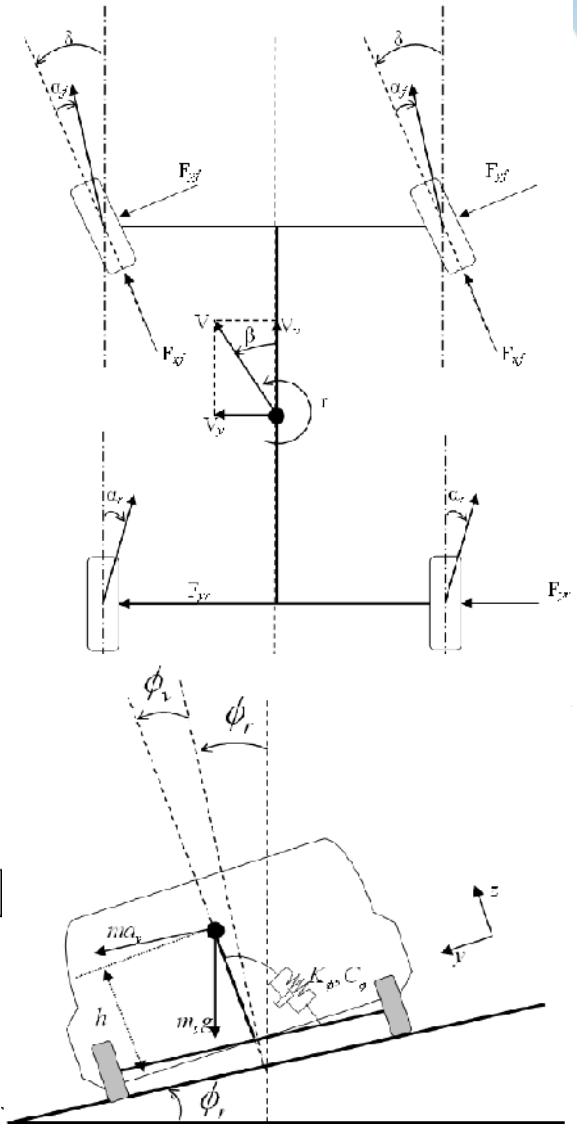
Modélisation du véhicule

➤ Equations du mouvement latéral et du roulis

$$\begin{cases} m(v\dot{\beta} + v\dot{\psi} - \ddot{\phi}_v h) = 2F_{yf} + 2F_{yr} - m_s g \phi_r \\ I_z \ddot{\psi} = 2F_{yf} l_f - 2F_{yr} l_r \\ I_x \ddot{\phi}_v = m_s g h (\phi_v + \phi_r) + m_s a_y h - K_\phi \phi_v - C_\phi \dot{\phi}_v \end{cases}$$

➤ Forces latérales (Pacejka model)

$$\begin{cases} F_{yf} = D_f \sin[C_f \tan^{-1} B_f (1 - E_f) \alpha_f + E_f \tan^{-1}(B_f \alpha_f)] \\ F_{yr} = D_r \sin[C_r \tan^{-1} B_r (1 - E_r) \alpha_r + E_r \tan^{-1}(B_r \alpha_r)] \end{cases}$$





- Introduction
- **Modélisation du véhicule**
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- Résultats de simulation
- Conclusions et perspectives

Modélisation du véhicule

➤ Forces latérales (Pacejka model)

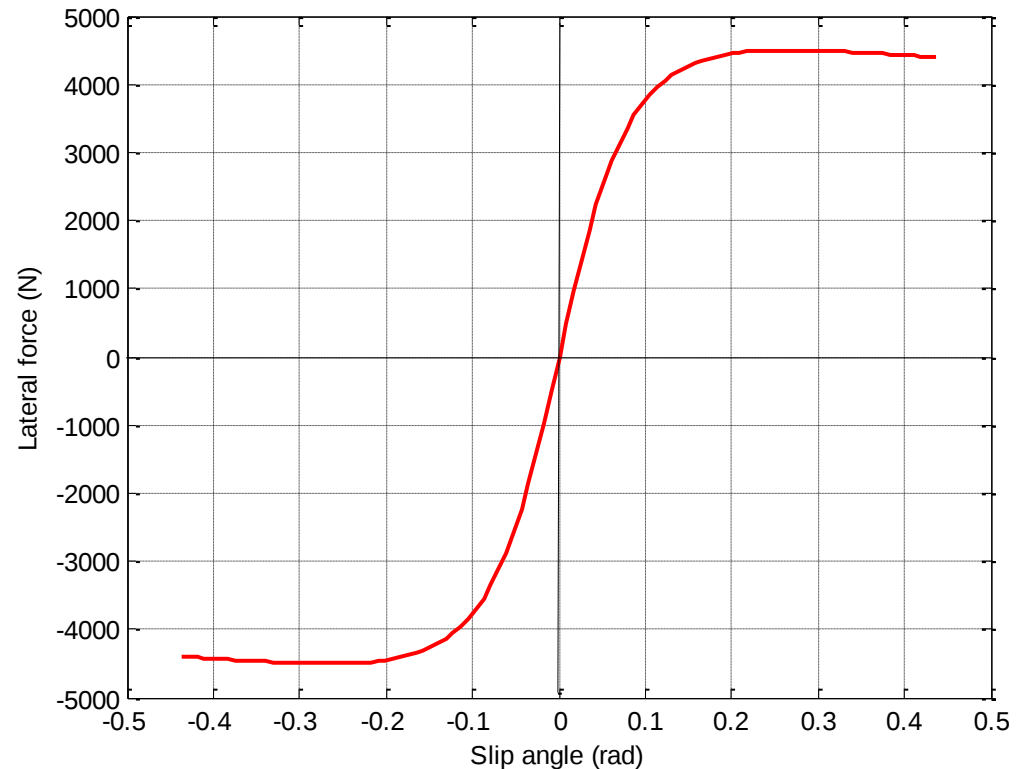
$$F_{yf} = D_f \sin[C_f \tan^{-1} \{ B_f (1 - E_f) \alpha_f + E_f \tan^{-1} (B_f \alpha_f) \}] \quad (2)$$

$$B_f = 9$$

$$C_f = 1.4$$

$$D_f = 5000$$

$$E_f = 0.25$$





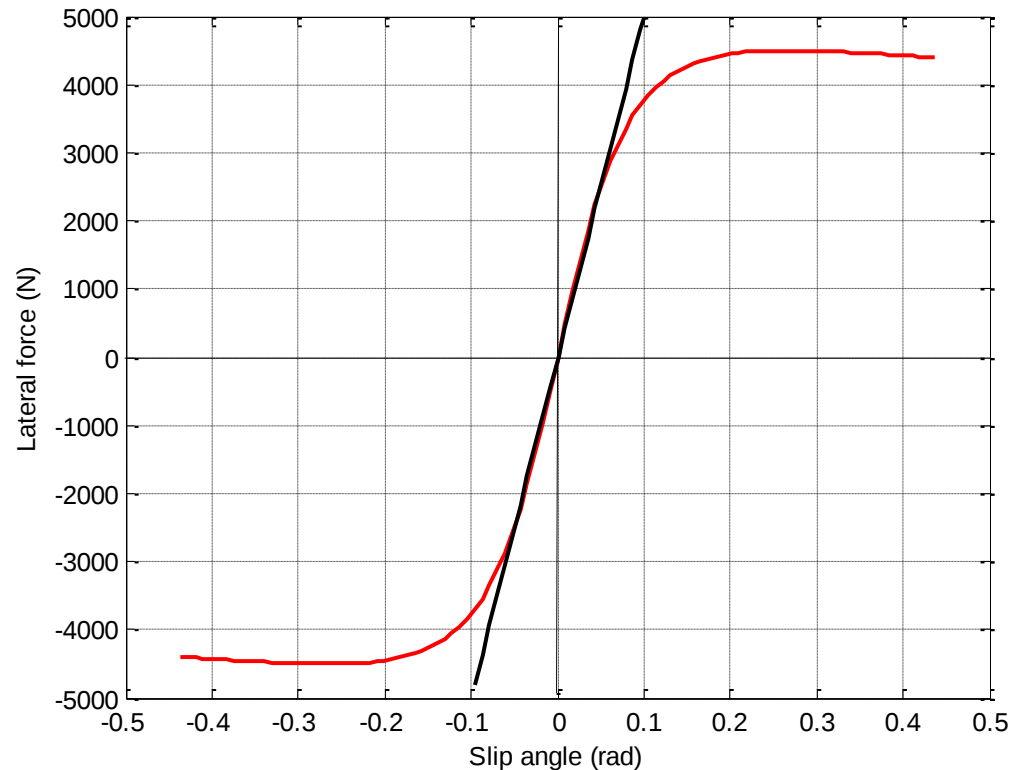
- Introduction
- **Modélisation du véhicule**
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- Résultats de simulation
- Conclusions et perspectives

Modélisation du véhicule

➤ Forces latérales (Pacejka model)

Modèle linéaire:
$$\begin{cases} F_{yf} = C_f \alpha_f \\ F_{yr} = C_r \alpha_r \end{cases}$$

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





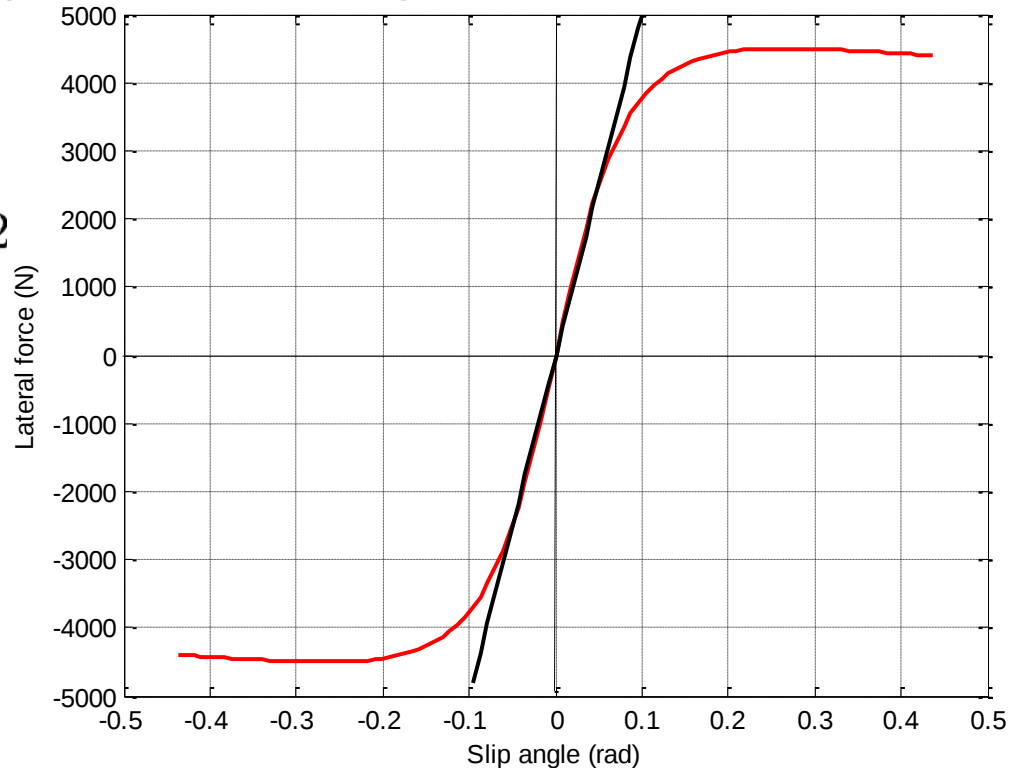
- Introduction
- **Modélisation du véhicule**
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- Résultats de simulation
- Conclusions et perspectives

Modélisation du véhicule

➤ Forces latérales (Pacejka model)

Modèle T-S:
$$\begin{cases} F_{yf} = \mu_1(|\alpha_f|)C_{f1}\alpha_f + \mu_2(|\alpha_f|)C_{f2}\alpha_f \\ F_{yr} = \mu_1(|\alpha_f|)C_{r1}\alpha_r + \mu_2(|\alpha_f|)C_{r2}\alpha_r \end{cases} \quad (4)$$

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





- Introduction
- **Modélisation du véhicule**
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- Résultats de simulation
- Conclusions et perspectives

Modélisation du véhicule

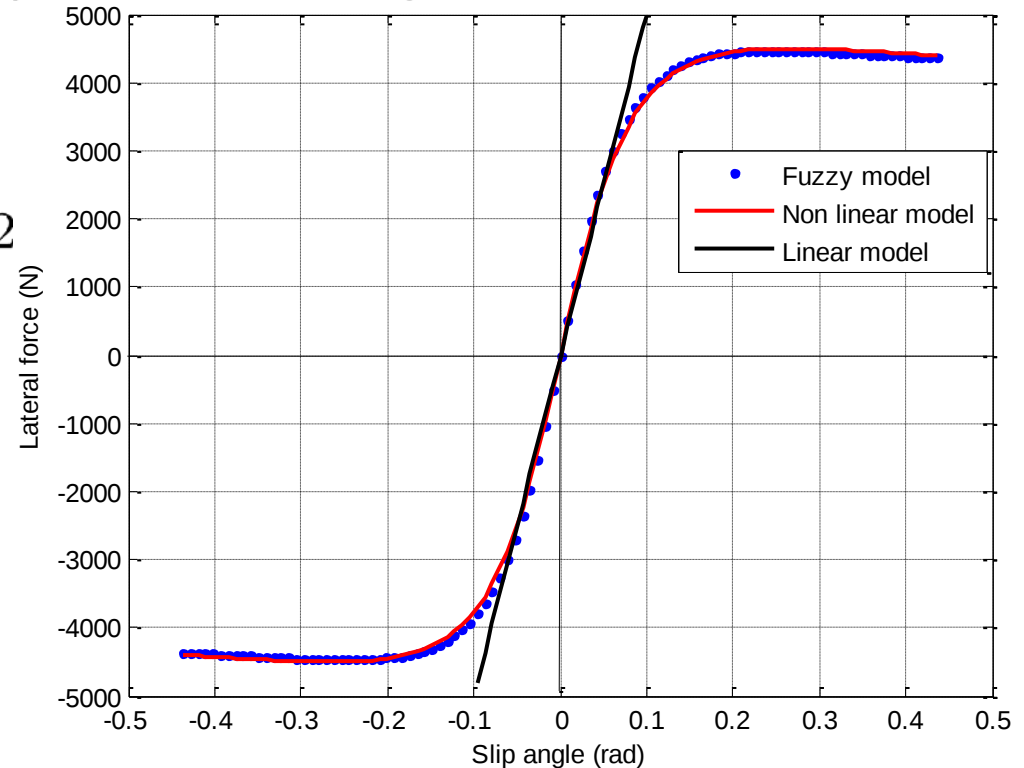
➤ Forces latérales (Pacejka model)

Modèle T-S:
$$\begin{cases} F_{yf} = \mu_1(|\alpha_f|)C_{f1}\alpha_f + \mu_2(|\alpha_f|)C_{f2}\alpha_f \\ F_{yr} = \mu_1(|\alpha_f|)C_{r1}\alpha_r + \mu_2(|\alpha_f|)C_{r2}\alpha_r \end{cases} \quad (4)$$

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

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

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





- Introduction
- **Modélisation du véhicule**
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- Résultats de simulation
- Conclusions et perspectives

Modélisation du véhicule

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^2 \mu_i(|\alpha_f|) (A_i x(t) + B_i \delta_f(t)) + B_w \phi_r(t)$$

$$y(t) = Cx(t)$$

$$x(t) = \begin{bmatrix} \beta(t) & \dot{\psi}(t) & \dot{\phi}_v(t) & \phi_v(t) \end{bmatrix}^T$$

$$A_i = \begin{bmatrix} -\frac{\sigma}{mI} \frac{I}{v} & \frac{\rho}{mI} \frac{I}{v} - 1 & -\frac{hC}{I} \frac{1}{v} & \frac{h(m_s g h - k)}{I} \frac{1}{v} \\ \frac{\rho}{I} & -\frac{\tau}{I} \frac{1}{v} & 0 & 0 \\ -\frac{m_s h \sigma}{mI} & \frac{m_s h \rho}{mI} \frac{1}{v} & -\frac{C}{I} & \frac{(m_s g h - k)}{I} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_i = \begin{bmatrix} 2 \frac{C_{fi} l_{xeq}}{mI_x v} & 2 \frac{C_{fi} l_f}{I_z} & 2 \frac{m_s h C_{fi}}{mI_x} & 0 \end{bmatrix}^T$$

$$B_w = \begin{bmatrix} -\frac{m_s g}{m v} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T, \quad C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- **Le transfert de charge latérale**
- Synthèse de l'observateur
- Résultats de simulation
- Conclusions et perspectives

Le transfert de charge latérale

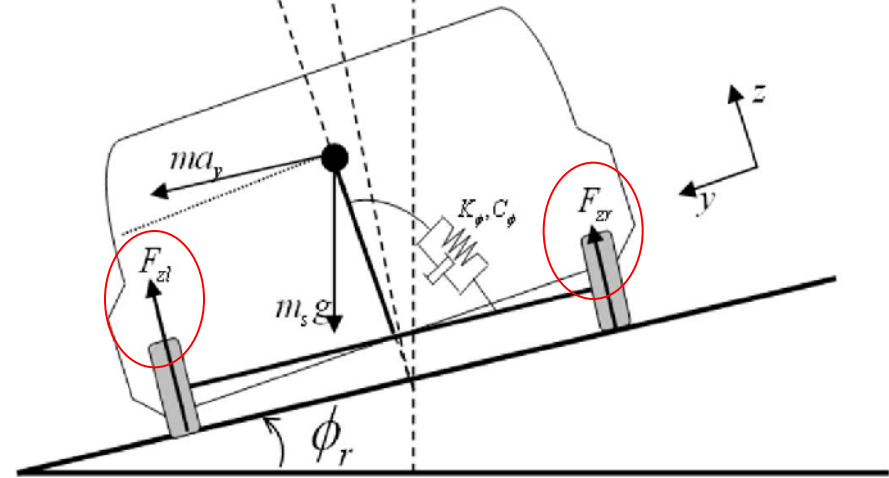
➤ Lateral transfer ratio (LTR)

$$LTR = \frac{F_{zl} - F_{zr}}{F_{zl} + F_{zr}} = \frac{F_{zl} - F_{zr}}{mg}$$



$$LTR_d = \frac{2}{mgT} (C_\phi \dot{\phi}_v + K_\phi \phi_v)$$

Difficile à mesurer



Estimée



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Le transfert de charge latérale
- **Synthèse de l'observateur**
- Résultats de simulation
- Conclusions et perspectives

Synthèse de l'observateur

➤ Observateur T-S

$$\dot{\hat{x}}(t) = \sum_{i=1}^2 \mu_i(|\hat{\alpha}_f|) (A_i \hat{x}(t) + B_i \delta_f(t) + L_i (y(t) - \hat{y}(t))) \quad (6)$$

|| ||

➤ Erreur d'estimation

|| || ||

$$\dot{e} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \mu_i(|\hat{\alpha}_f|) \mu_j(|\alpha_f|) ((A_i - L_i C) e + \Delta A_{ij} x + \Delta B_{ij} \delta) + B_w \phi_r \quad (7)$$

Avec: || || || ||



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Le transfert de charge latérale
- **Synthèse de l'observateur**
- Résultats de simulation
- Conclusions et perspectives

Synthèse de l'observateur

➤ Système augmenté

$$x_e = \begin{bmatrix} e \\ x \end{bmatrix}, \quad w = \begin{bmatrix} \delta_f \\ \phi_r \end{bmatrix}$$

$$\dot{x}_e = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \mu_i(|\hat{\alpha}_f|) \mu_j(|\alpha_f|) (\bar{A}_{ij} x_e + \bar{B}_{ij} w) \quad (8)$$

Avec: $\bar{A}_{ij} = \begin{bmatrix} A_i - L_i C & \Delta A_{ij} \\ 0 & A_j \end{bmatrix}, \quad \bar{B}_{ij} = \begin{bmatrix} \Delta B_{ij} & B_w \\ B_j & B_w \end{bmatrix}$

➤ approche H_{∞}

$$\left\| \begin{bmatrix} \bar{A}_{ij} & \bar{B}_{ij} \end{bmatrix} \right\|_{\infty} < \gamma \quad (9)$$



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Le transfert de charge latérale
- **Synthèse de l'observateur**
- Résultats de simulation
- Conclusions et perspectives

Synthèse de l'observateur

➤ LMI à résoudre

$$\begin{bmatrix} \Theta_i & P_1 \Delta A_{ij} & P_1 \Delta B_{ij} & P_1 B_w \\ \Delta A_{ij}^T P_1 & \Psi_j & P_2 B_j & P_2 B_w \\ \Delta B_{ij}^T P_1 & B_j^T P_2 & -\gamma^2 I & 0 \\ B_w^T P_1 & B_w^T P_2 & 0 & -\gamma^2 I \end{bmatrix} < 0 \quad (10)$$

||

||

||

Les gains de l'observateur:

|



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- **Résultats de simulation**
- Conclusions et perspectives

Résultats de simulation

SIMULATION VEHICLE PARAMETERS

Parameter	value	Unit
m_s	1592	[kg]
m	1832	[kg]
v	20	[m/s]
I_x	614	[kgm ²]
I_z	2488	[kgm ²]
l_r	1.77	[m]
l_f	1.18	[m]
T	1.5	[m]
h	0.559	[m]
C_ϕ	6000	[Nms/rad]
k_ϕ	48000	[Nm/rad]

$$P_1 = 10^4 \begin{bmatrix} 0.0003 & 0.0145 & 0.0022 & 0.0087 \\ 0.0145 & 1.6132 & 0.2351 & 0.4366 \\ 0.0022 & 0.2351 & 0.0343 & 0.0632 \\ 0.0087 & 0.4366 & 0.0632 & 1.1349 \end{bmatrix}$$

$$P_2 = 10^3 \begin{bmatrix} 0.4271 & 0.0101 & -0.001 & 0.0788 \\ 0.0101 & 0.0961 & 0.0033 & 0.0410 \\ -0.001 & 0.0033 & 0.0025 & 0.0059 \\ 0.0788 & 0.0410 & 0.0059 & 0.1457 \end{bmatrix}$$

$$L_1 = \begin{bmatrix} 222.1299 & 131.1554 & -920.6825 & -8.3855 \end{bmatrix}^T$$

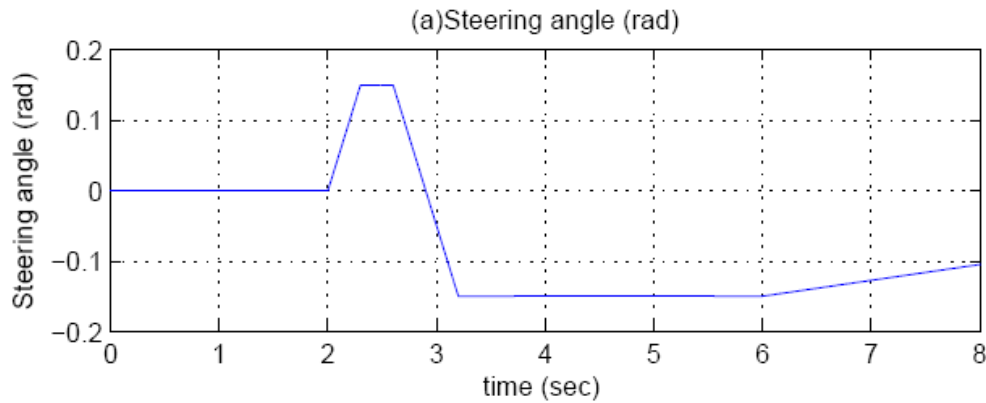
$$L_2 = \begin{bmatrix} 192.9892 & 75.4736 & -468.1305 & -8.1312 \end{bmatrix}^T$$



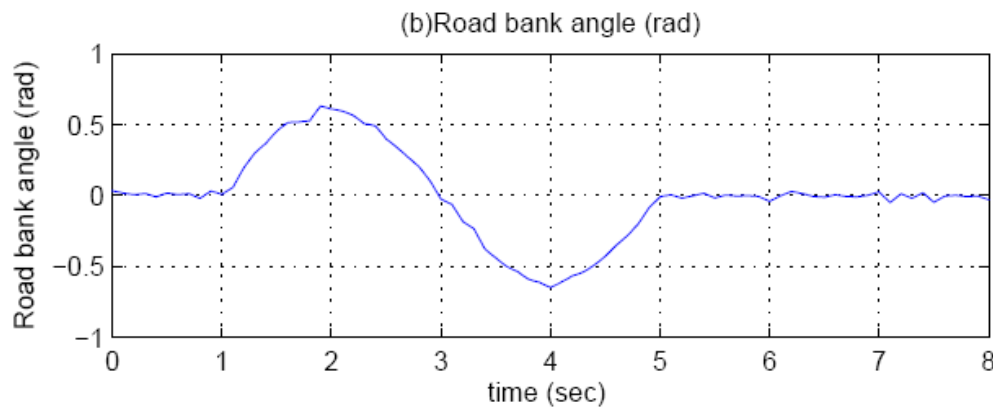
- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- **Résultats de simulation**
- Conclusions et perspectives

Résultats de simulation

➤ L'angle de braquage



➤ Le devers de route

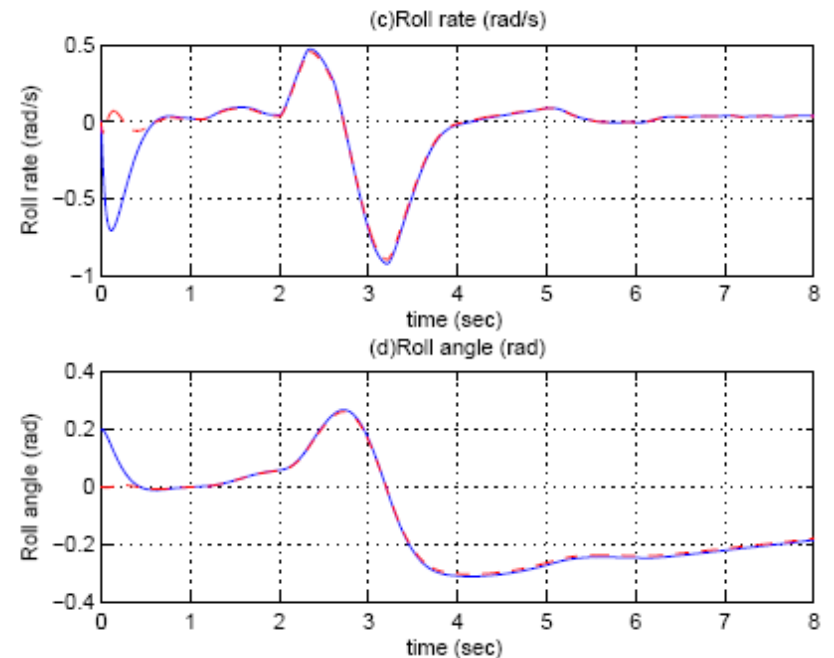
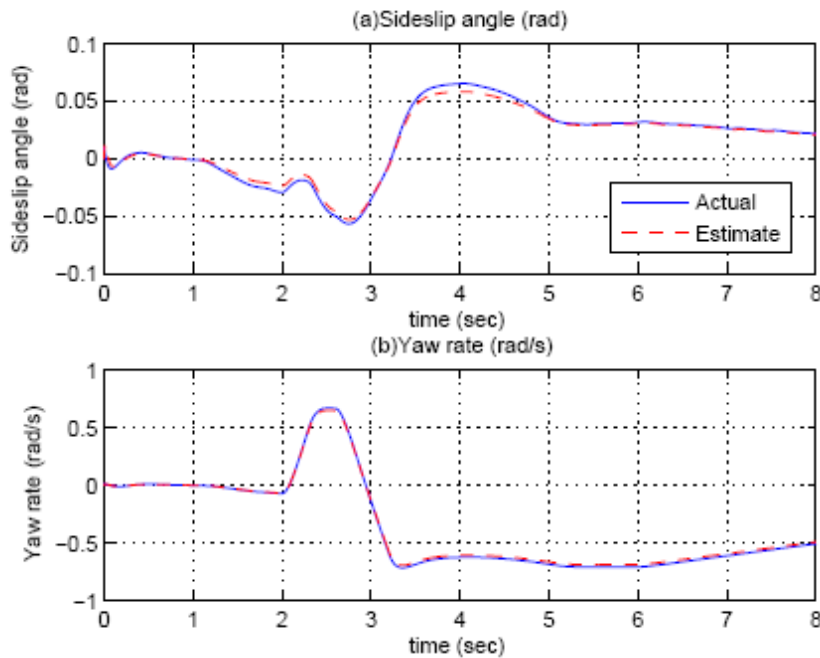




- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- **Résultats de simulation**
- Conclusions et perspectives

Résultats de simulation

➤ Estimation des états du véhicule



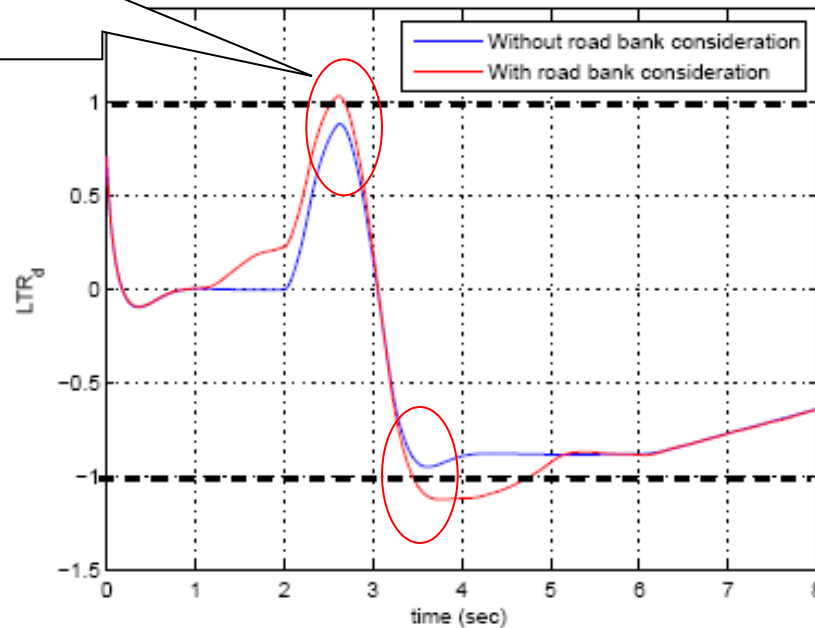


- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- **Résultats de simulation**
- Conclusions et perspectives

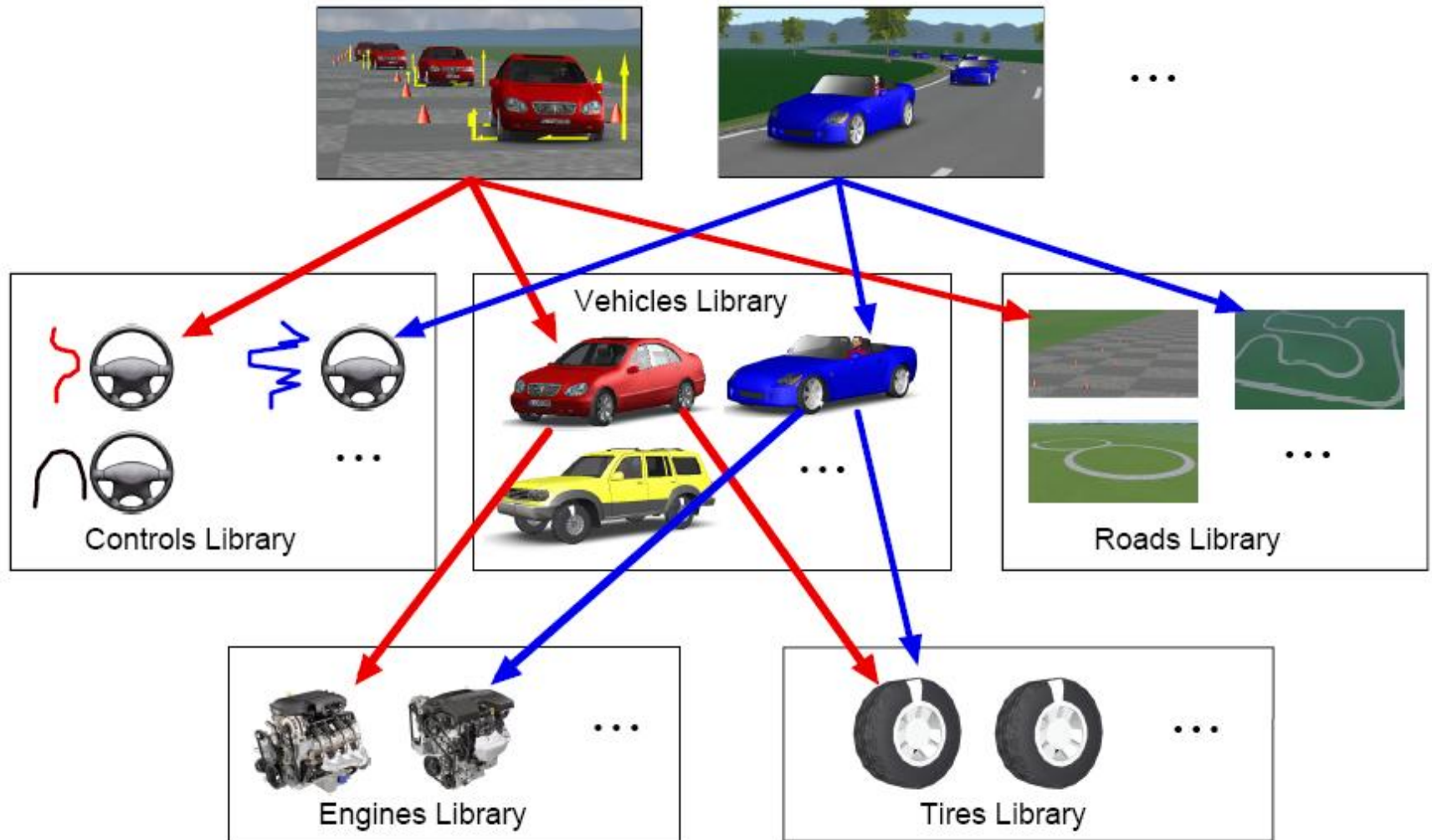
Résultats de simulation

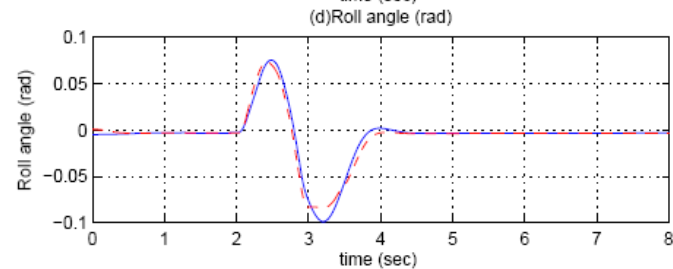
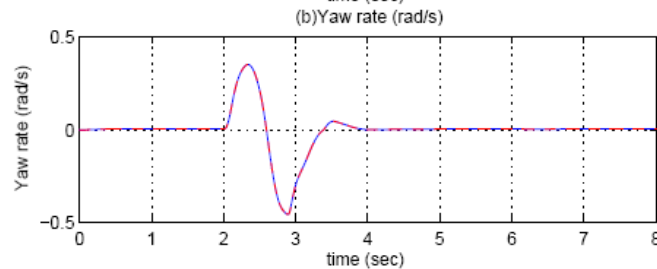
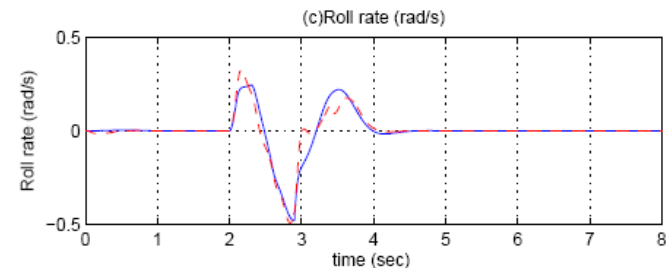
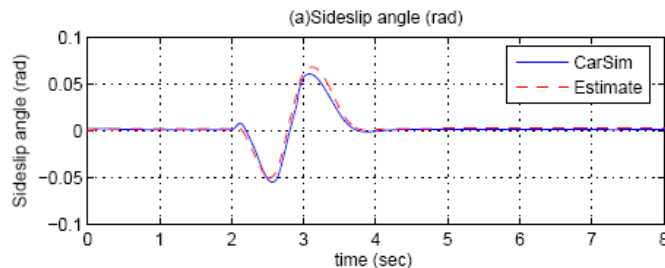
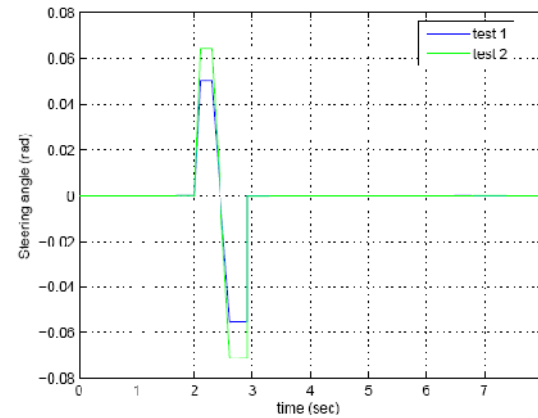
➤ Le transfert de charge latérale

Le risque de renversement est sous-estimé quand le devers est négligé



Validation sur le simulateur CarSim



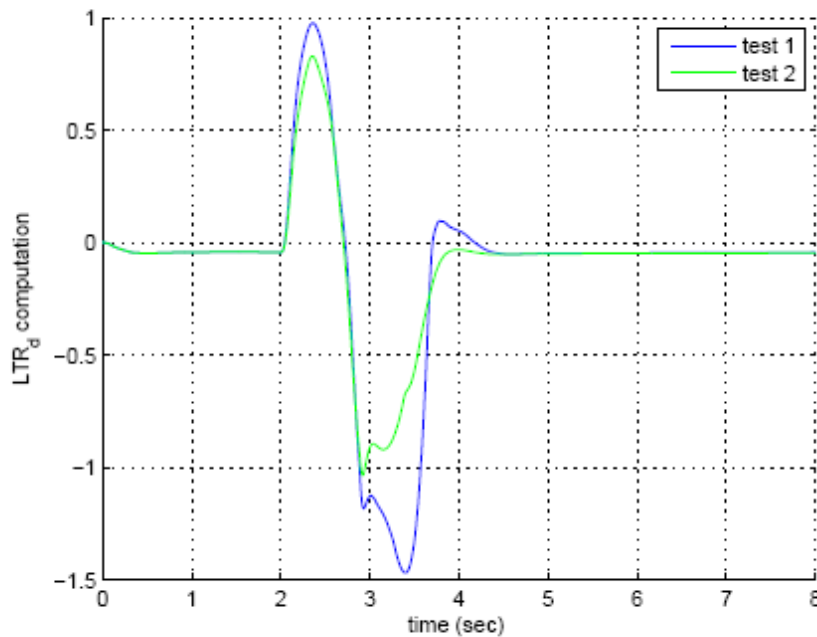




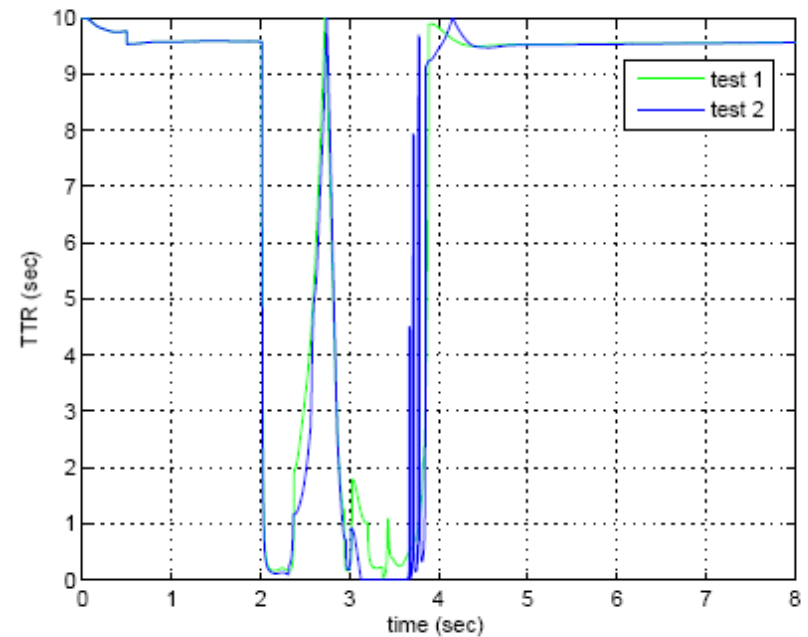
- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- **Résultats de simulation**
- Conclusions et perspectives

Validation sur le simulateur CarSim

➤ Le risque de renversement



Le transfert de charge latérale

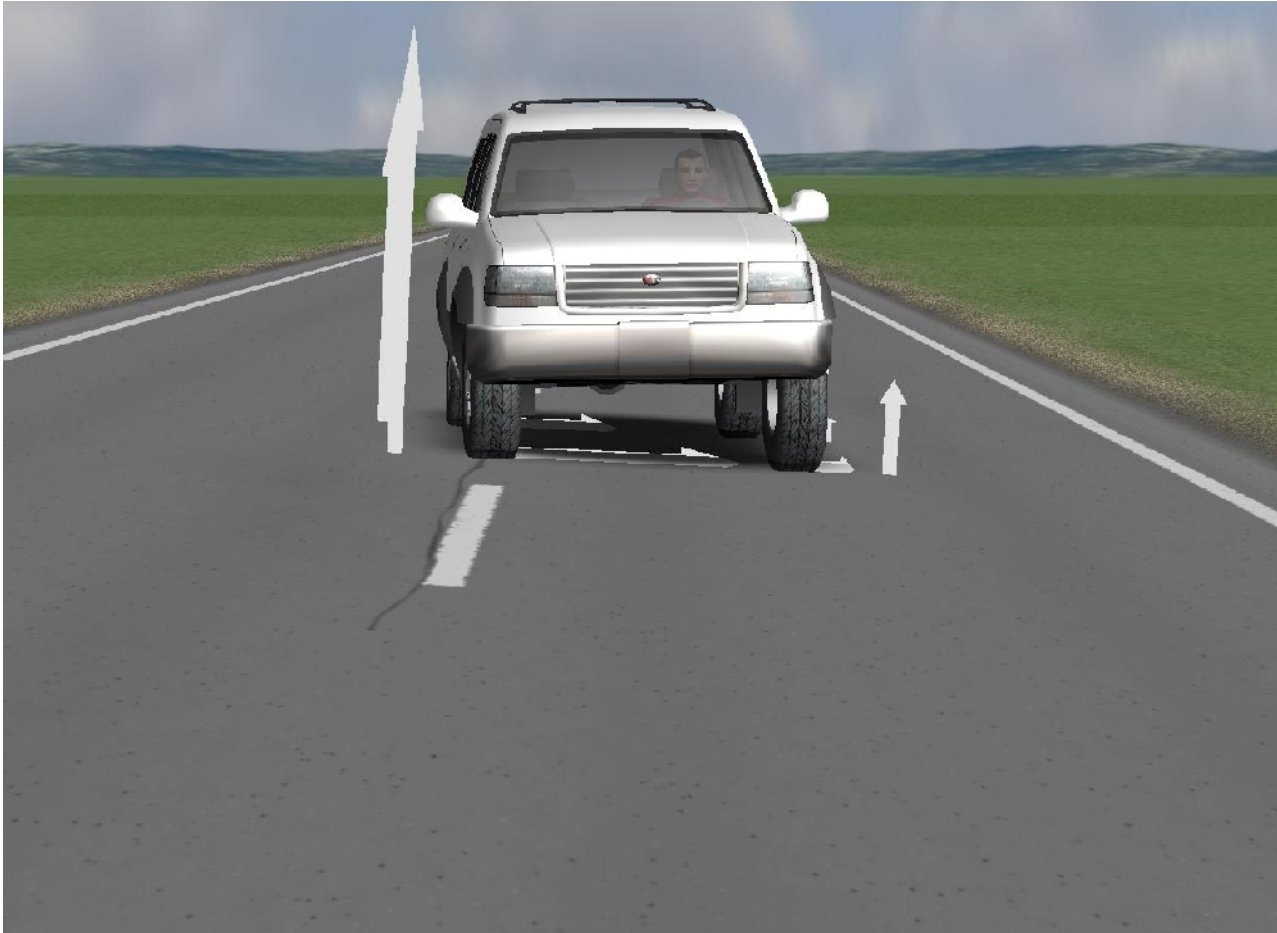


Le temps à renversement



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- **Résultats de simulation**
- Conclusions et perspectives

Validation sur le simulateur CarSim



Vidéo



- Introduction
- Modélisation du véhicule
- Le transfert de charge latérale
- Synthèse de l'observateur
- Résultats de simulation
- **Conclusions et perspectives**

Conclusion et perspectives

➤ Conclusions

- Prise en compte des non-linéarités dans le modèle du véhicule.
- Prise en compte du devers de la route
- Estimation du transfert de charge latérale à partir de la dynamique du roulis.
- Calcul du temps à renversement

➤ Perspectives

- Considérer les variations sur la vitesse et la masse du véhicule
- Valider les algorithmes sur un véhicule expérimental



- Merci pour votre attention..



- Questions...????

Estimation Structurée

pour l'aide à la conduite et une meilleure contrôlabilité

Projet **SASV** du **LSIS**, Marseille
 N. K. M'Sirdi, A. Naamane, B. Jaballah
 H. Nasser et depuis peu Faris Djohor



Forces, glissement

Pente, Devers, adhérence

Entrées Inconnues



- Délais
- Coûts



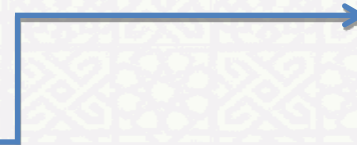
- Energie
- Environnement



- Fiabilité
- Robustesse



- Rapidité
- Précision
- Innovation



Introduction et Motivations

- Véhicule → Comportement non linéaire
 - Modèle nominal , Couplages et échanges énergétiques
 - Forces de Contact
 - Modèles partiels
 - → Sous systèmes Couplés (suspension, freinage, direction, ...)
 - Re formulation de modèle

.....

■ Observateur

■ Observation de l'état,

- Problème de mesures et de capteurs,
- Entrées inconnues
 - → Estimation des entrées: pente, dévers, adhérence...
 - → Stabilisation du Véhicule, diagnostic



Ref: TMVDA 2004, IFAC 02, CIFA 2004, 2006, ICINCO2006, ICINCO2007, IROS2008, IFAC09, MED09, VSS2010

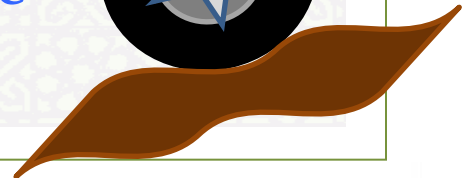
Introduction et Motivations

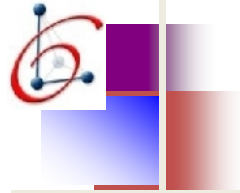
Objectifs

Amélioration de la sécurité,
Aide à la conduite et diagnostic

pour l'estimation

- **Modélisation compliquée et difficile** (pour être très précis)
 - Modèles, Modèles Partiels, (avec incertitudes, dynamiques négligées)
 - Couplages, Interactions avec l'environnement , (passifs, stabilisants)
 - Variation des caractéristique , (capacités d'adaptation, Robustesse)
- **Modèle Nominal d'un Véhicule avec incertitudes**
- **Forces de Contact inconnues et non mesurable**
- **Changement de caractéristiques de la chaussée**
- **Problème d'observabilité (Modélisation)**

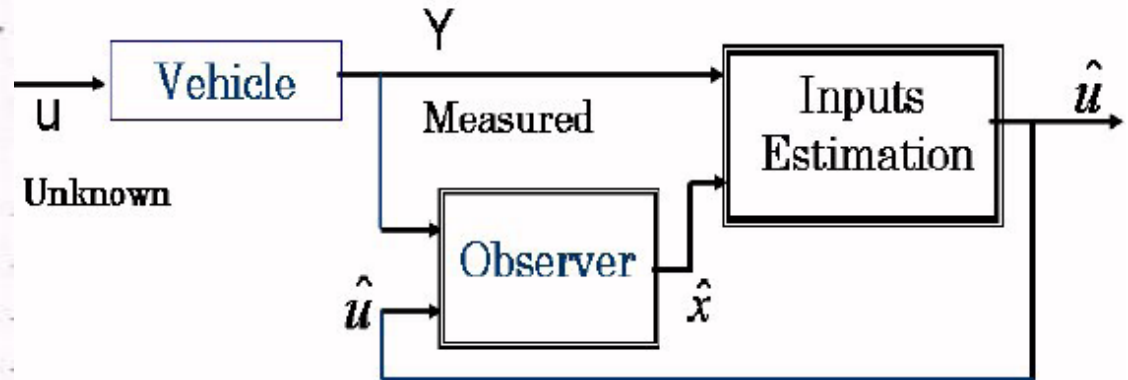
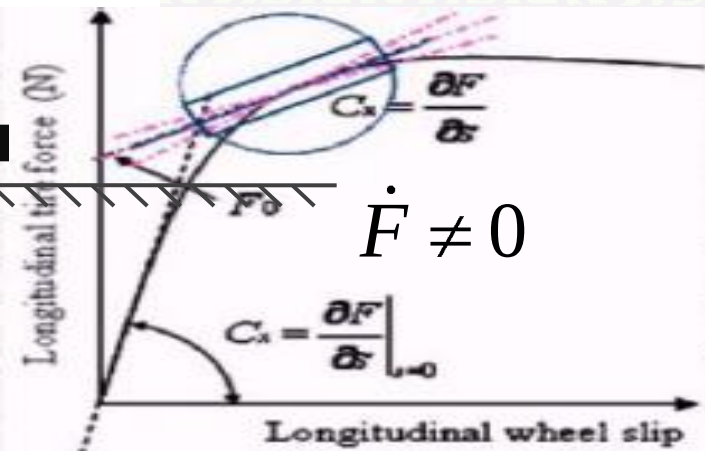




Observateurs à Entrées Inconnues

Un Observateur bouclé sur un estimateur, ...

→ Observateurs pour l'Estimation Globale et par blocks (MG)
Choix d'un Observateur ($\exists$ 3 classes d'obs. dans ce cas)



1ère Génération

Observation globale (forces lentement variables)

$$\dot{F} \approx 0$$

2ème Génération

Modèle approché linearisé des forces

$$\dot{F} \neq 0$$

3ème Génération

Observation Robuste à l'aide de différentiateurs

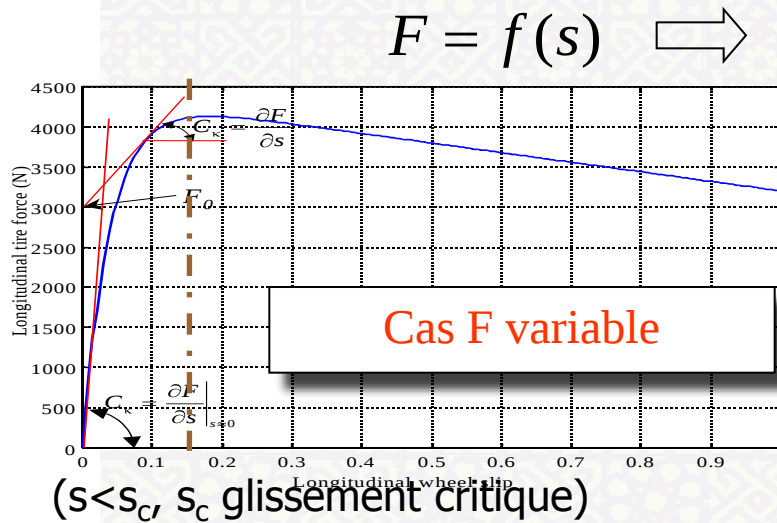
Basée sur la reconstruction des dérivées, sans modèle

$$q, \dot{q}, \ddot{q}$$

Estimation des dérivées successives et Cascade d'estimateurs

$$q^T = [x, y, z, \theta_z, \theta_y, \theta_x, q_{31}, q_{32}, q_{33}, q_{34}, \delta_3, \delta_4, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4]$$

Estimation des forces dans le cas $\dot{F} \neq 0$



$$\frac{dF}{dt} = \left. \frac{\partial F}{\partial s} \right|_{s=f^{-1}(F)} \frac{ds}{dt}$$

Description de l'évolution du glissement
(relaxation length)

$\sigma \dot{s} + v s = v_s$ phase de freinage

$\sigma \dot{s} + r \omega s = v_s$ phase d'accélération

$$\sigma \dot{F} = C_k (-v^* f^{-1}(s) + v_s) \quad \text{avec} \quad C_k = \left. \frac{\partial F}{\partial s} \right|_{s=f^{-1}(F)}$$

Localement on a $\sigma \dot{F} = -v^* (F - F_0) + C_k v_s$

- Modèle pour une roue (1block)

$$I \dot{\omega} = T - f_w \omega - r F$$

$$m \dot{v} = F - C_x v^2$$

$$\begin{cases} \bar{s} = \frac{v_s}{v} & \text{phase de freinage} \\ \bar{s} = \frac{v_s}{r \omega} & \text{phase d'accélération} \end{cases}$$

v_s représente la vitesse de glissement $v_s = v - r \omega$

ω : Vitesse angulaire de la roue,

v : Vitesse du véhicule

F : force pneu, T : couple appliqué

s : glissement de la roue

I : inertie de la roue, r : rayon roue,

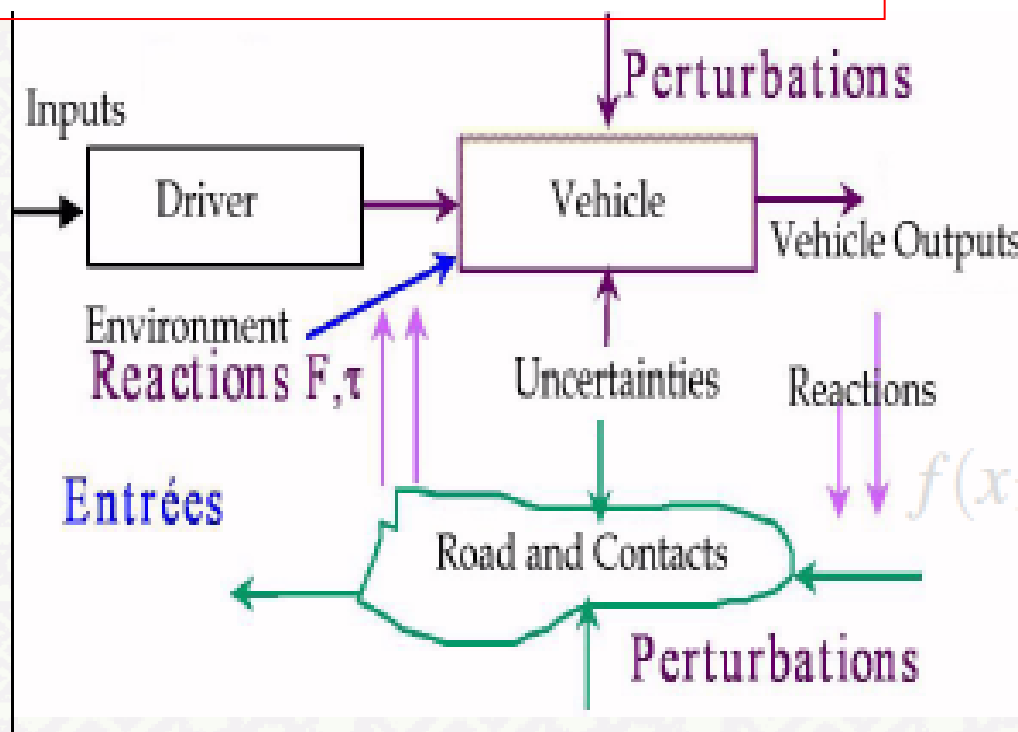
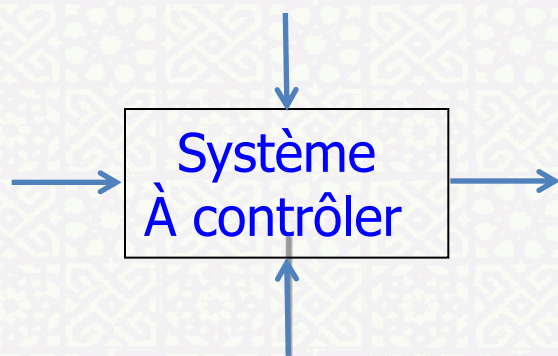
m : masse du véhicule

C_x : coefficient aérodynamique,

f_w : coefficient de frottement

de l'Automatique à l'Automobile

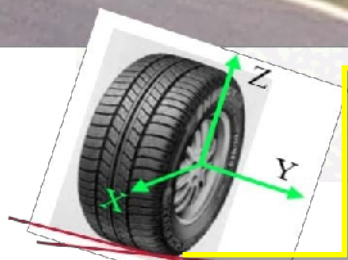
Revenons sur le Pb étudié:

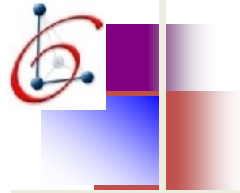


$$\tau - \eta_o = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + V(q, \dot{q}) + G(q) \quad (2)$$

$$\tau = \Gamma_e + J(x_1)^T F \quad (3)$$

$$\dot{F} = f(\alpha, \lambda, q, F_N) + e(t) \quad (4)$$



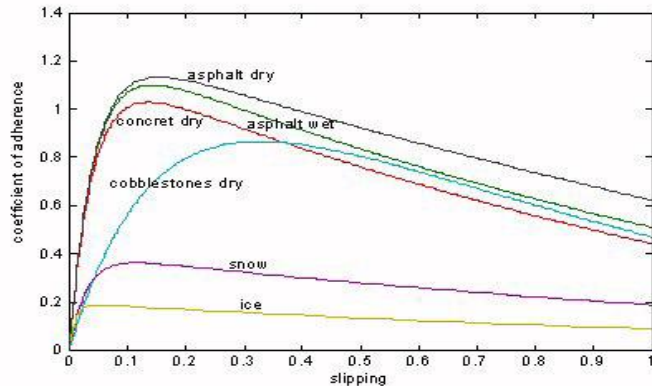


Comportement Nominal

Modèle 16 DDL et Forces de Contact

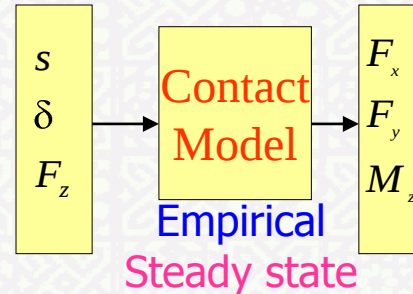
- ✓ 16 Variables et leurs dérivées

$$q^T = [x, y, z, \theta_z, \theta_y, \theta_x, z_1, z_2, z_3, z_4, \delta_3, \delta_4, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4]$$



$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + V(q, \dot{q}) = \Gamma_e + \Gamma_a$$

$$\Gamma_e = J^T F_{xyz}$$



Contact, Forces

- Matrice Jacobienne (aux points de contact)

J^T : Jacobienne Transposée

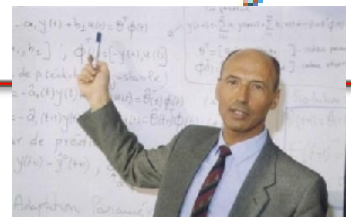
$F_{xyz}^{\{12\}}$: Forces R_{xyz} Repère de reference

$$J = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ J_{2,1} & J_{2,2} & 0 & J_{2,4} & J_{2,5} & 0 & J_{2,7} & J_{2,8} & 0 & J_{2,10} & J_{2,11} & 0 \\ J_{3,1} & J_{3,2} & J_{3,3} & J_{3,4} & J_{3,5} & J_{3,6} & J_{3,7} & J_{3,8} & J_{3,9} & J_{3,10} & J_{3,11} & J_{3,12} \\ J_{4,1} & J_{4,2} & J_{4,3} & J_{4,4} & J_{4,5} & J_{4,6} & J_{4,7} & J_{4,8} & J_{4,9} & J_{4,10} & J_{4,11} & J_{4,12} \end{bmatrix}$$

$$F_{xyz}^{12} = {}_w^a J_{\{12,12\}} \times F_w^{12}$$

Properties: *The systems has a triangular form*

- 1) *The systems has limited velocities and accelerations,*
 $\|\dot{q}\| < \dot{q}_{\max}$ and $\|\ddot{q}\| < \ddot{q}_{\max}$
- 2) *The inertia matrix $M(q)$ is Symmetric Positive Definite (SPD) and bounded: $\exists \alpha_0, \alpha_1 \in \mathbb{R}$ such as, $\forall q \in \mathbb{R}^n$, $\alpha_0 I_n < M(q) < \alpha_1 I_n$*
- 3) *$\exists \alpha_2 \in \mathbb{R}$ such that $\|C(q, z)\| < \alpha_2 \|z\|$, $\forall q, z \in \mathbb{R}^n$*
- 4) *$\exists \alpha_3 \in \mathbb{R}$ such that $\|G(q)\| < \alpha_3$, $\forall q \in \mathbb{R}^n$*
- 5) *Frictions and disturbance torques are bounded[13]:*
 $\exists \alpha_4, \alpha_5 \in \mathbb{R}$ such as $\|V(q, \dot{q})\| < \alpha_4 + \alpha_5 \|\dot{q}\|$, $\forall q, \dot{q}$.
- 6) *All the perturbation terms η_i (coupling, neglected dynamics), are bounded: $\exists k_i > 0, i = 1, ..5$, such and as $|\eta_i| < k_i \forall t \in R$*
- 7) *$C(q, \dot{q})\epsilon = C(q, v)v - \Pi(q, v)\epsilon$, with $\epsilon = v - \dot{q}$ and $\Pi(q, v) = \frac{\partial}{\partial x_2} \{C(q, \dot{q})\dot{q}\}_{\dot{q}=v}$*
- 8) *The matrix $N = \dot{M}(q) - 2C(q, \dot{q})$ is skew symmetric, i.e $\forall v \in \mathbb{R}^n$, $v^T N v = 0$ or $N = -N^T$*
- 9) *The system verify the passivity property: the transfert $u = \tau - \eta_o - G(q) \mapsto \dot{x}_1 = \dot{q}$ is passive.*





Rappel: Les Systèmes Passifs

Remarque 3 *Considérons les systèmes vérifiant l'équation:*

$$\dot{V}(t) = y^T \cdot u - g(t) \quad (53)$$

Si $g(t) = 0$, $\forall u \in L_2$, $\forall y \in L_2$, $\forall t \geq 0$, alors le système est conservatif, c'est le cas par exemple d'un oscillateur.

Définition 11 *Un système vérifiant l'équation 53 est dit passif si $g(t) \geq 0$ et il vérifie l'inégalité de Popov:*

$$\int_0^t y(\tau)^T \cdot u(\tau) d\tau \geq -\gamma^2 \quad (54)$$

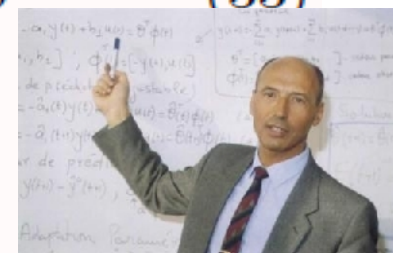
Définition 12 *Un système passif est dit dissipatif si on a la propriété suivante:*

$$\int_0^\infty y(\tau)^T \cdot u(\tau) d\tau \neq 0 \implies \int_0^\infty g(\tau) d\tau \geq 0 \quad (55)$$

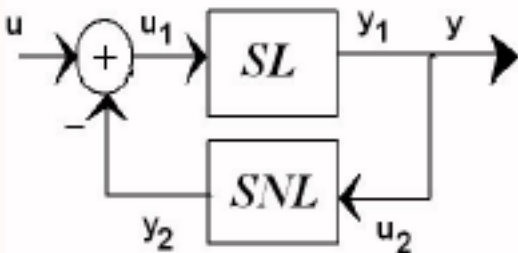
Définition 13 *Un système passif vérifie la propriété:*

$$E(t_1) = E(0) + E_s(0, t_1) - E_L(0, t_1)$$

avec $E(0)$, l'énergie à l'instant initial, $E_s(0, t_1)$ l'énergie fournie au système et $E_L(0, t_1)$ l'énergie perdue ou dissipée entre l'instant 0 et t_1 .



Stabilité des Systèmes Passifs



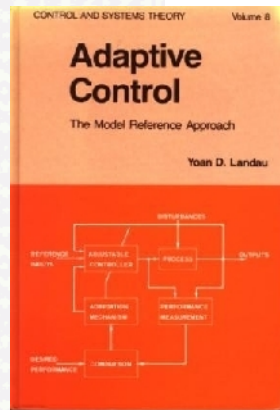
$$\int_{t_0}^{t_1} y_2(\tau)^T \cdot u_2(\tau) d\tau \geq -\gamma_o^2 \quad \text{avec} \quad \gamma_o^2 < \infty \quad \forall t \geq 0$$

Théorème 3 Hyperstabilité: Toutes solutions $x(x(0),t)$, du système décrit par les équations ci dessus en boucle fermée sur le bloc non-linéaire qui vérifie l'inégalité de Popov, satisfait la propriété:

$$\|x(t)\| < \delta (\|x(0)\| + \gamma_o) \quad \text{avec} \quad \delta > 0, \gamma_o > 0 \quad \forall t > 0 \quad (73)$$

si et seulement si la matrice de fonctions de transfert $H(p)$ est positive réelle.

Théorème 4 Hyperstabilité asymptotique: Toutes solutions $x(x(0),t)$, du système décrit ci dessus en boucle fermée sur un bloc non-linéaire qui vérifie l'inégalité de Popov, satisfait l'inégalité 73 de plus nous avons $t \rightarrow \infty \lim x(t) = 0$, pour toute entrée $u_1(t)$ bornée, si et seulement si la matrice de fonctions de transfert $H(p)$ est Strictement Positive Réelle (SPR).



C'est une composition de Systèmes Passifs

$$\tau - \eta_o = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + V(q, \dot{q}) + G(q) \quad (2)$$

$$\tau = \Gamma_e + J(x_1)^T F \quad (3)$$

$$\dot{F} = f(\alpha, \lambda, q, F_N) + e(t) \quad (4)$$

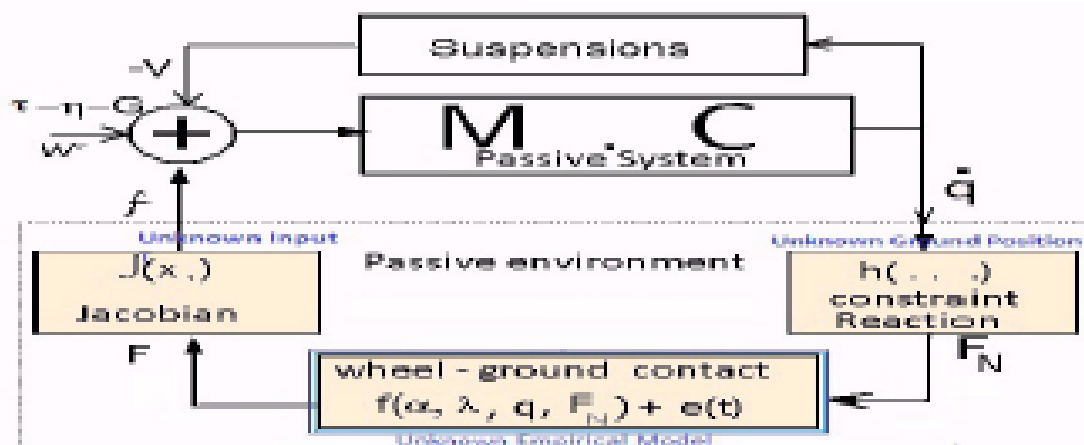
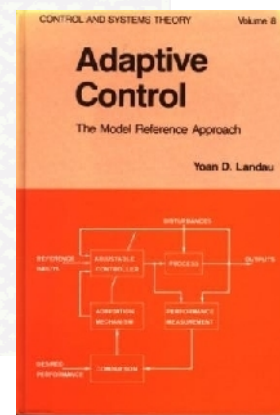


Figure 4. Vehicle dynamics in a Passive Feedback Equivalent Scheme.



$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= M(x_1)^{-1}(\Gamma_e + J^T F - H - \eta(x_1, x_2)) \\ \dot{F} &= f(\alpha, \lambda, q, F_N) + e(t) \\ y &= h(x); \quad H = C(x_1, x_2)x_2 - V(x_1, x_2) - G(x_1) \end{aligned}$$

Découpage en Sous-Systèmes Passifs

✓ Formalisme de Lagrange

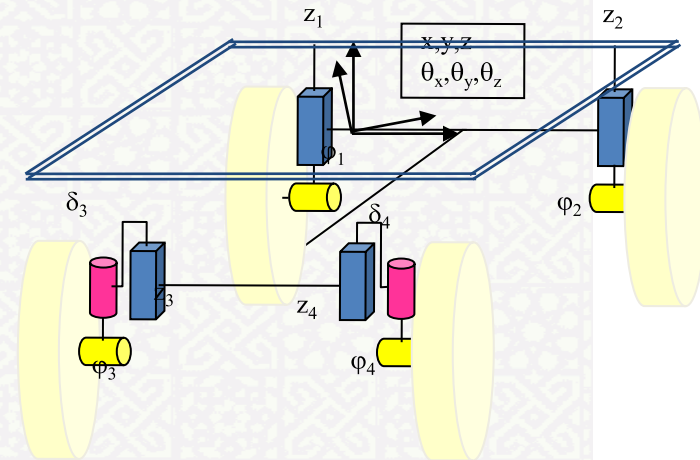
$$\Gamma + J^T F = M\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + Kq + G$$

$$M = \begin{bmatrix} \bar{M}_{1,1} & \bar{M}_{1,2} & \bar{M}_{1,3} & 0 & 0 \\ \bar{M}_{2,1} & \bar{M}_{2,2} & \bar{M}_{2,3} & \bar{M}_{2,4} & \bar{M}_{2,5} \\ \bar{M}_{3,1} & \bar{M}_{3,2} & \bar{M}_{3,3} & 0 & 0 \\ 0 & \bar{M}_{4,2} & 0 & \bar{M}_{4,4} & 0 \\ 0 & \bar{M}_{5,2} & 0 & 0 & \bar{M}_{5,5} \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 0 & \bar{C}_{12} & \bar{C}_{13} & 0 & 0 \\ 0 & \bar{C}_{22} & \bar{C}_{23} & \bar{C}_{24} & \bar{C}_{25} \\ 0 & \bar{C}_{32} & \bar{C}_{33} & 0 & 0 \\ 0 & \bar{C}_{42} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \bar{C}_{52} & 0 & 0 & \bar{C}_{55} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_T \\ F_2 \\ F_3 \\ 0 \\ U_5 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} \ddot{\xi}_1 \\ \ddot{\xi}_2 \\ \ddot{\xi}_3 \\ \ddot{\xi}_4 \\ \ddot{\xi}_5 \end{bmatrix} + C \begin{bmatrix} \dot{\xi}_1 \\ \dot{\xi}_2 \\ \dot{\xi}_3 \\ \dot{\xi}_4 \\ \dot{\xi}_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ R_{33}\xi_3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

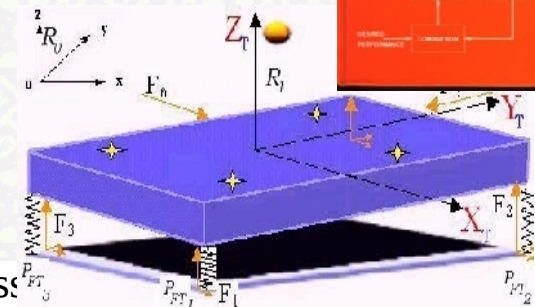
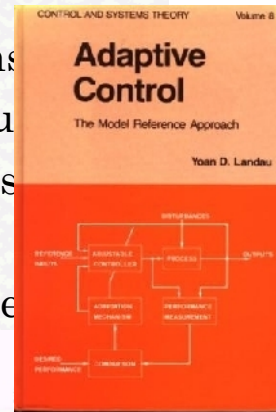
✓ Entrées $U = \Gamma + J^T F$:

- Couples appliqués: moteur, freins et braquage
- Forces Internes: suspensions, frottements
- Forces Externes: Aérodynamiques, forces de contact pneus-chaussée



■ 5 blocks

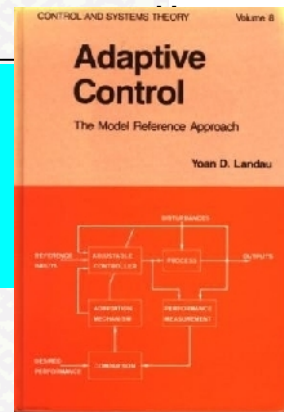
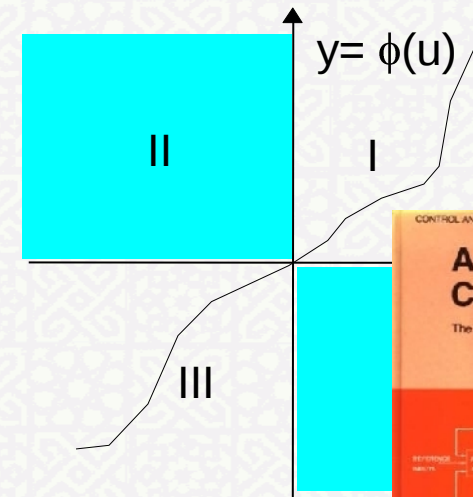
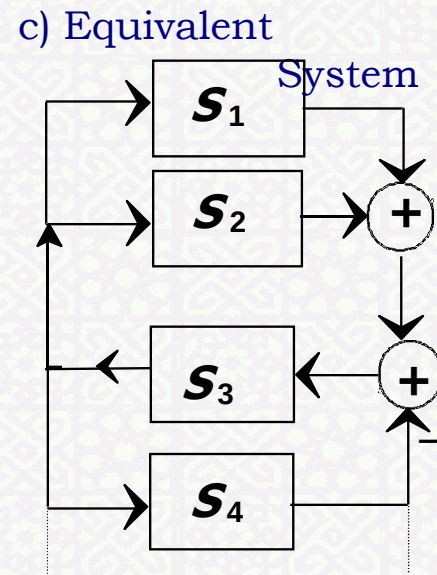
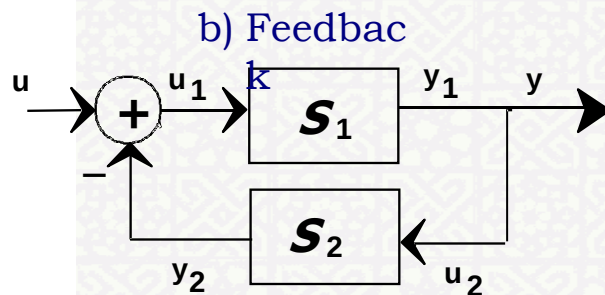
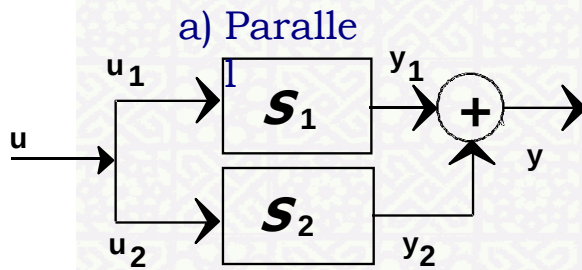
- Translations
- rotations du
- Suspensions
- Braquage
- Rotations de



Association de Systèmes Passifs

Lemme 1 *Un système obtenu en combinant en parallèle de deux systèmes passifs est passif.*

Lemme 2 *Tout système obtenu par combinaison en contre réaction de deux systèmes passifs est passif.*

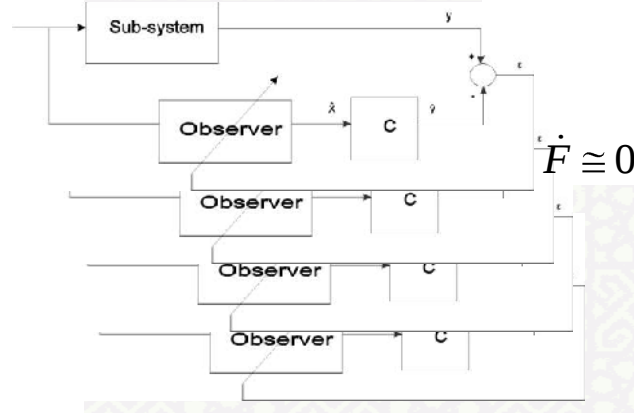




Découpage en Sous-Systèmes Passifs

Hypothèse: Forces à variations lentes ($\dot{F} \approx 0$) ou un bruit

Σ_1 (rotation roues): $\dot{x}_1 = f(x_1, u, F) - v_c^1$
 Σ_2 (suspension) : $\dot{x}_2 = f(x_2, u, F) - v_c^2$
 Σ_3 (caisse) : $\dot{x}_3 = f(x_1, x_2, x_3, u, F) - v_c^3$
 v_c^i couplage avec les autres sous-systèmes, avec $|v_c^i| < k_0 \quad \forall t$



• dynamique des roues, système Σ_1

$$\begin{cases} \dot{x}_{11}^i = x_{21}^i \\ \dot{x}_{21}^i = J^{-1}(\tau - rF_{i1}) - v_c^{1i} \\ y_1^i = h(x_1^i) = x_1^i \end{cases}$$

• observateur

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}_{11}^i = \hat{x}_{21}^i - \lambda_{11}^i \text{sign}(\hat{x}_{11}^i - x_{11}^i) \\ \dot{\hat{x}}_{21}^i = J^{-1}(\tau - r\hat{F}_{i1}) - \lambda_{21}^i \text{sign}(\hat{x}_{11}^i - x_{11}^i) \\ \dot{\hat{F}}_{i1} = -P\lambda_{31}^i \text{sign}(\hat{x}_{11}^i - x_{11}^i) \end{cases}$$

• dynamique de l'erreur

$$\begin{cases} \tilde{\dot{x}}_{11}^i = \tilde{x}_{21}^i - \lambda_{11}^i \text{sign}(\tilde{x}_{11}^i) \\ \tilde{\dot{x}}_{21}^i = -rJ^{-1}\hat{F}_{i1} - \lambda_{21}^i \text{sign}(\tilde{x}_{11}^i) + v_c^{1i} \\ \tilde{\dot{F}}_{i1} = -P\lambda_{31}^i \text{sign}(\tilde{x}_{11}^i - x_{11}^i) \end{cases}$$

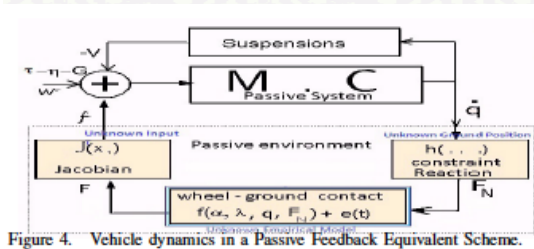
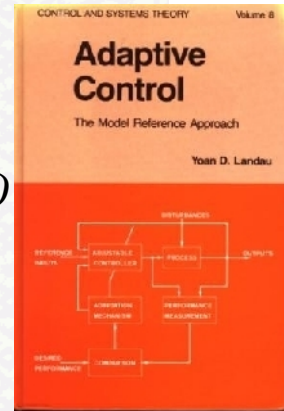
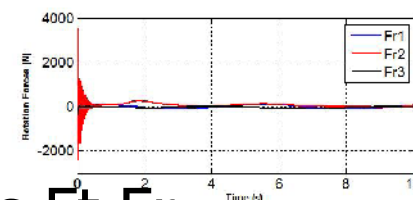
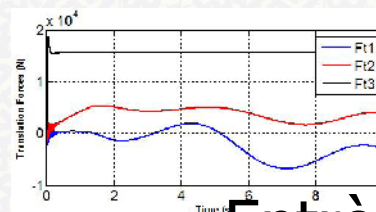
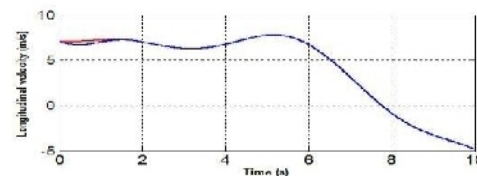
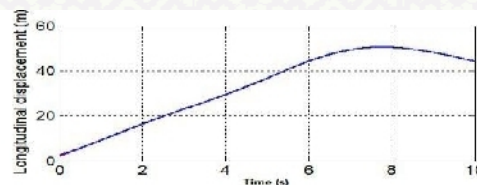
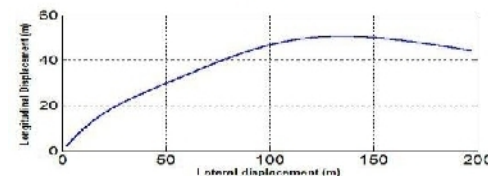
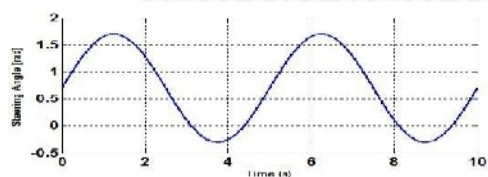
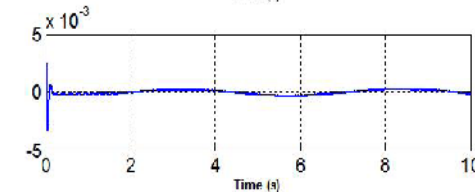
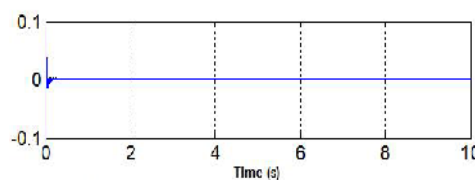
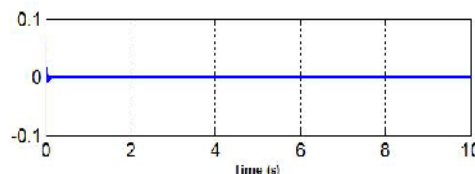
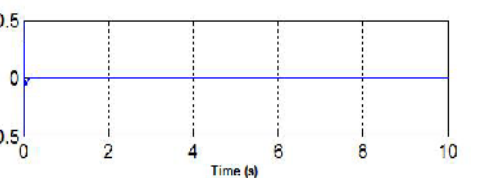
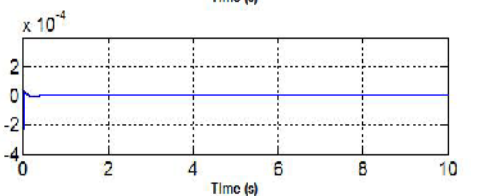
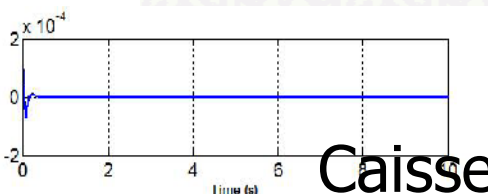
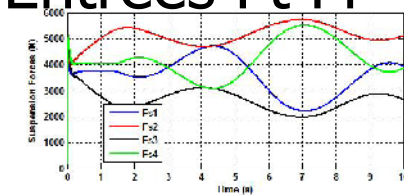


Figure 4. Vehicle dynamics in a Passive Feedback Equivalent Scheme.

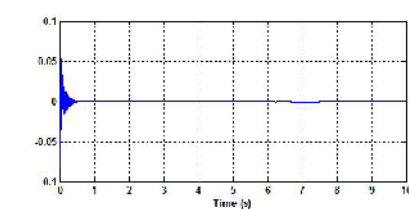
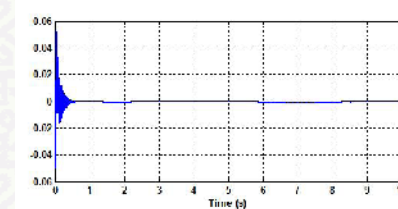
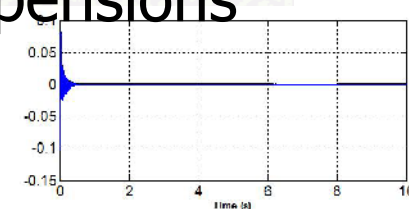
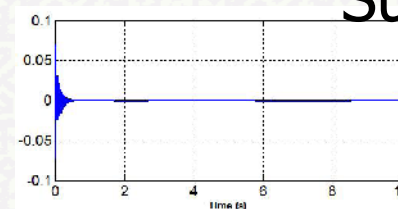
Termes de couplages entre Block



Entrées Ft Fr



Suspensions



Observateurs MG

$$\dot{\hat{x}}_{11} = \hat{x}_{12} - \Lambda_{11} \text{sign}(\tilde{x}_{11}) \quad (29)$$

$$\dot{\hat{x}}_{12} = \hat{M}_1^{-1} (J_1^T \hat{F} - \hat{C}_1(\hat{x}_{11}, \hat{x}_{12}) \hat{x}_{12} - \hat{V}_{12}) - \Lambda_{12} \text{sign}(\tilde{x}_{11})$$

$$\dot{\hat{F}}_1 = -P \Lambda_{13} \text{sign}(\tilde{x}_{11}) \quad (30)$$

MG Ordre 1

Observateurs, Estimateurs,
Observateurs, tests, ..
Estimateurs, ...

$$\dot{\hat{x}}_{11} = v_{11} = \hat{x}_{12} - \lambda_{11} |\hat{x}_{11} - x_{11}|^{\frac{2}{3}} \text{sign}(\hat{x}_{11} - x_{11}) \quad (50)$$

$$\dot{\hat{x}}_{12} = -\zeta_{12} - \lambda_{12} |\hat{x}_{12} - v_{11}|^{\frac{1}{2}} \text{sign}(\hat{x}_{12} - v_{11}) \quad (51)$$

MG OS

with $\zeta_{12} = \hat{M}_{11}^{-1} (\hat{C}_1(\hat{x}_1, \hat{x}_2) \hat{x}_2 + \hat{G} - J_1^T \hat{F})$



TT

FOSM

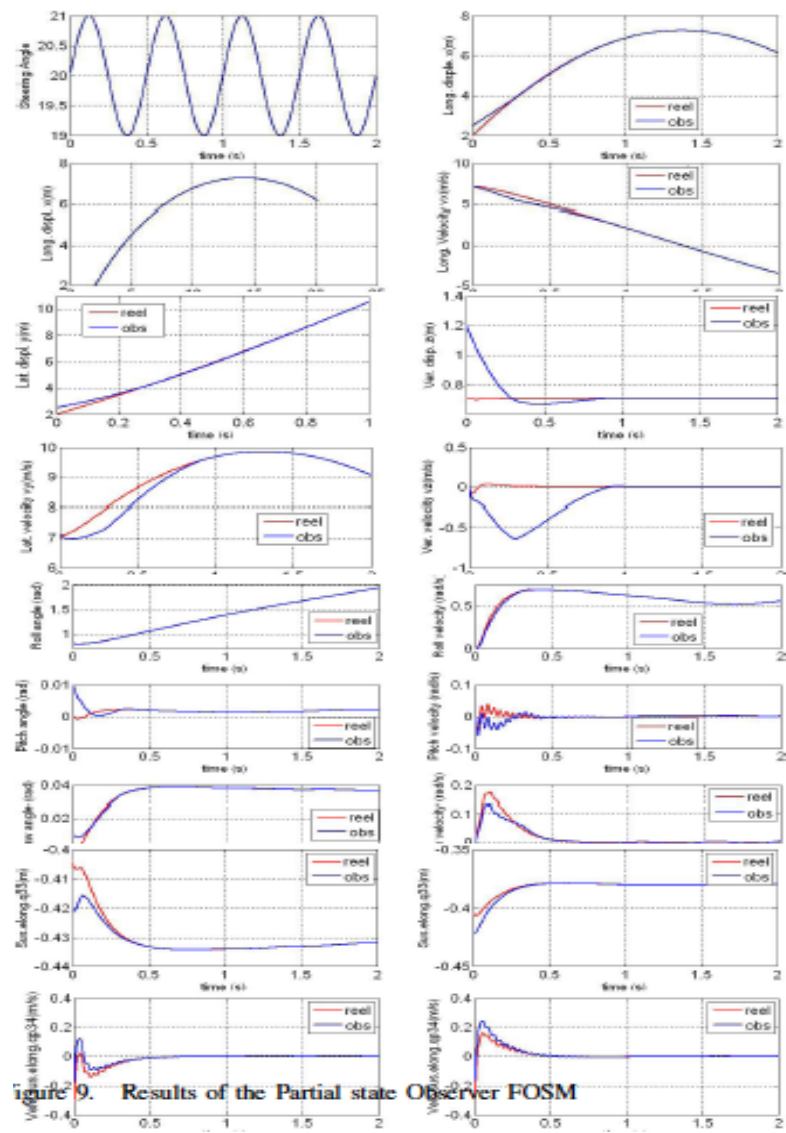


Figure 9. Results of the Partial state Observer FOSM

HOSM

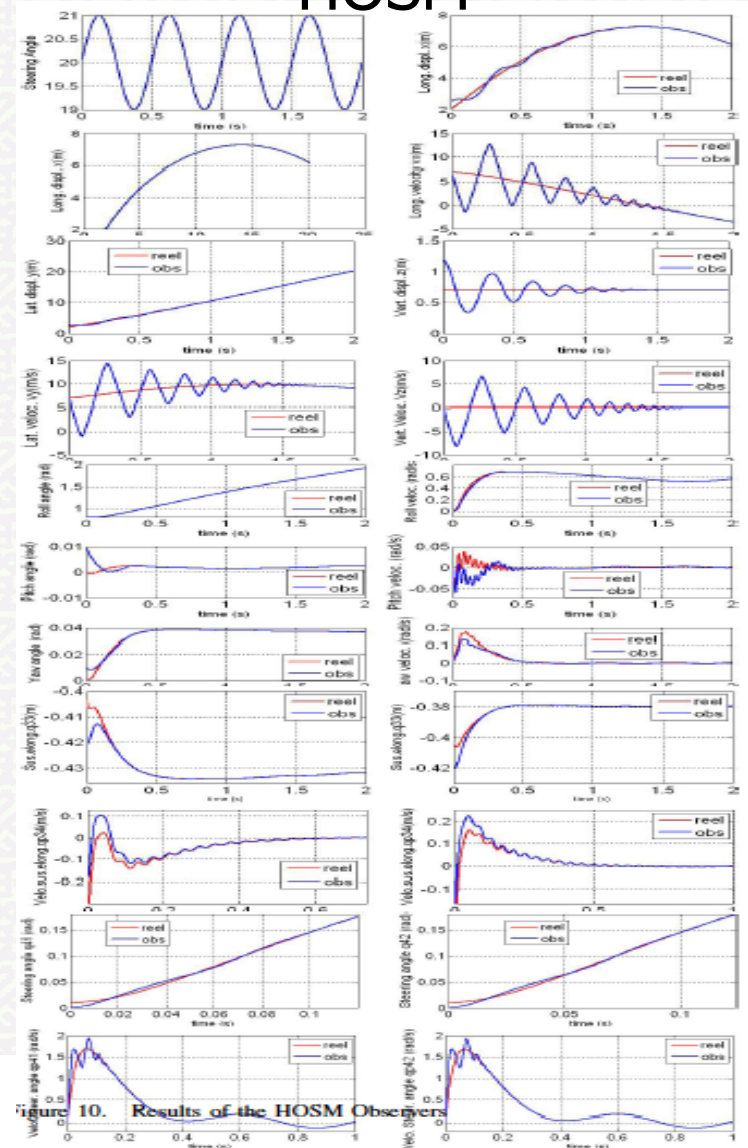
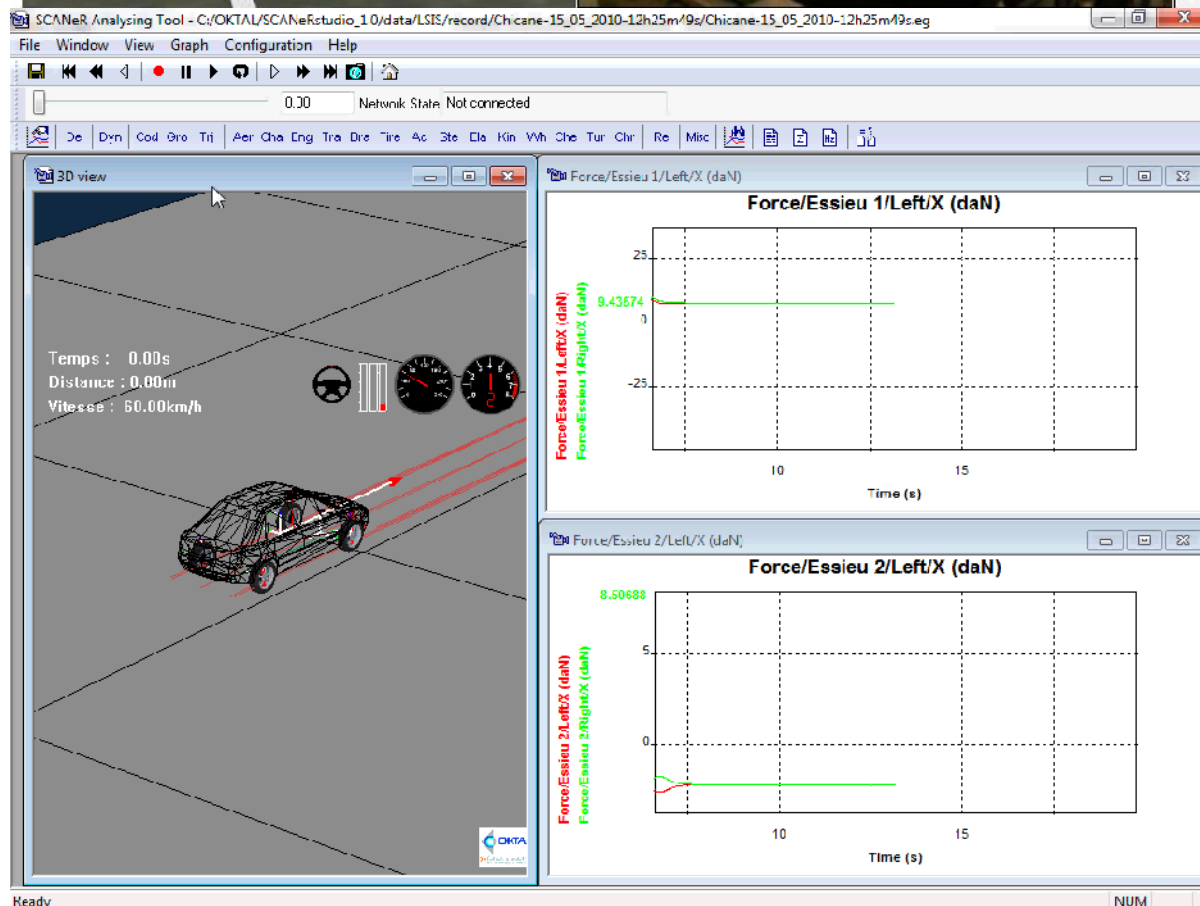
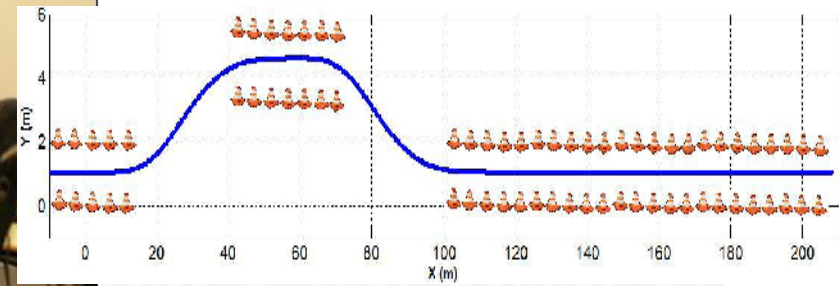
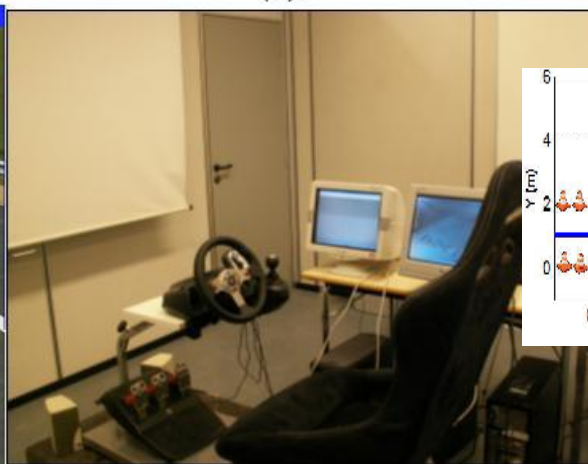


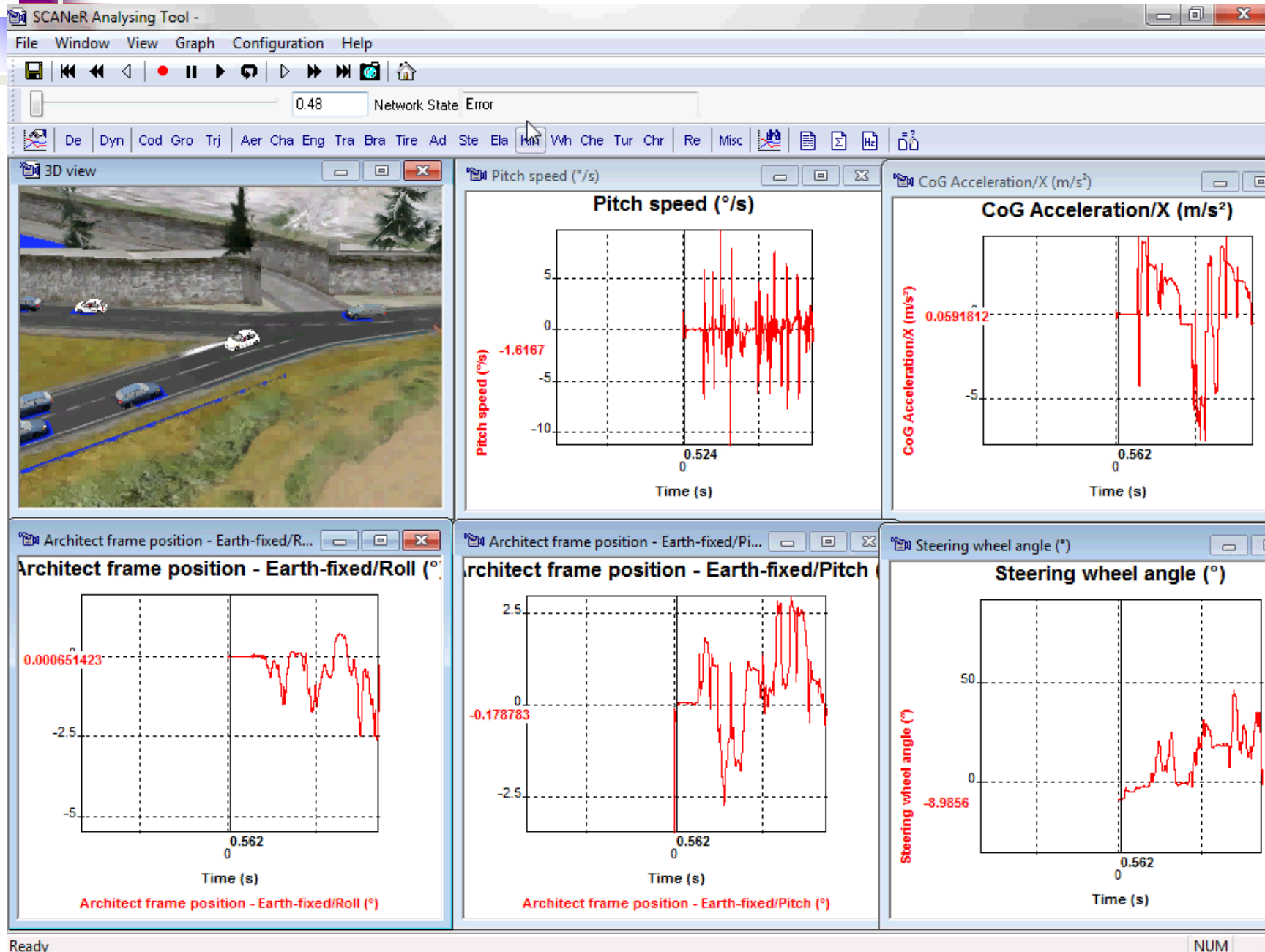
Figure 10. Results of the HOSM Observers

(a)



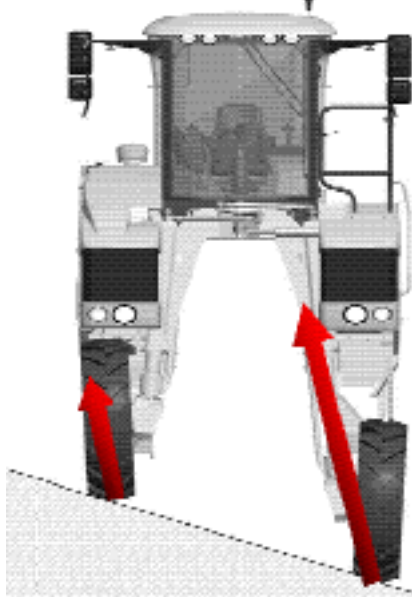
(b)





Quelques Perspectives

Correcteur d'assiette



LSIS
XLIM
LASMEA
CEMAGREF
Gregoire, Cetim,

Glissement, Stabilité, décrochage



Matériel à 4 roues motrices



Abaissement du centre de gravité

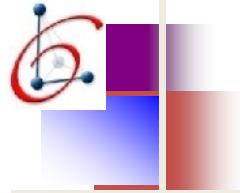
Etude du contact roue sol
On recommence



Augmentation de la surface sustentation



Dispositifs de correction de dévers



Conclusion sur l'observation de l'état

Le Modèle de comportement nominal est représentatif de la dynamique, (VRIM)

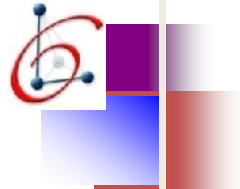
L'observation basée MG est relativement bonne

Le découpage du modèle nominal en blocks est intéressant

- S'explique par les bonnes propriétés du système mécanique
- Permet d'exploiter les Observateurs et commandes robuste avec des modèles simples
- Le découpage peut se faire en fonction de la dynamique (rapide / lente)
- Les résultats de simulation justifient l'emploi de modèles partiels
- La Passivité est une bonne approche, ..

Améliorations :

Estimation Structurée

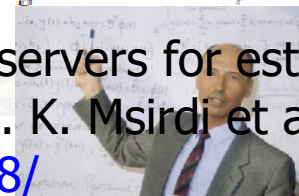


Quelques références Utiles

- [14] R. Ortega and M. Spong, "Adaptive motion control rigid robots: A tutorial." in *IEEE Conf. On Decision and Control*, Austin, Texas, 1988.
- [15] W. Khalil and E. Dombre, *Modélisation, Identification Commande de Robots*. Paris: Ed Hermès, 1999.
- [16] I. Landau and R. Horowitz, "Application of the passivity systems approach to the stability analysis of adaptive control for robot manipulators," *International Journal of adaptive controllers and signal processing*, vol. 3, 1989.
- [12] E. Velenis, M. Basset, G. Gissinger, C. Canudas de Wit, P. Tsotras. Dynamic friction models for road/tire longitudinal interaction. *Vehicle System Dynamics*, 39(3):189–226, 2003.
- [13] N. K. M'Sirdi, B. Jaballah, A. Naamane, and H. Messaoud. Robust observers and unknown input observers for estimation, diagnosis and control of vehicle dynamics. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Invited paper in the Workshop on Modeling, Estimation, Path Planning and Control of All Terrain Mobile Robots*, IROS 08: September 22th 2008, Nice, France. <http://www.lasmea.univ-bpclermont.fr/MEPPC08/>, 2008.
- [14] A. Levant. High-order sliding modes, differentiation and output-feedback control. *International Journal of Control*, 76:924–941, 2003.
- [5] A. Rabhi, H. Imine, N. M'Sirdi, and Y. Delanne. Observers with unknown inputs to estimate contact forces and road profile. *AVCS'04, International Conference on Advances in Vehicle Control and Safety* Genova -Italy, October 28-31, 2004.
- [6] N.K. M'sirdi, A. Rabhi, L. Fridman, J. Davila, and Y. Delanne. Second order sliding mode observer for estimation of velocities, wheel slip, radius and stiffness. *ACC, Proceedings of the 2006 American Control Conference* Minneapolis, Minnesota, USA, June 14-16, 3316 –3321, 2006.
- [7] N.K.M'sirdi, A.Rabhi, N.Zbiri, and Y. Delanne. Vrim: Vehicle road interaction modelling for estimation of contact forces. *Tyre Colloquium Tyre Models For Vehicle Dynamics Analysis*, 2004.
- [8] A. Rabhi, L. Fridman, N. K. M'Sirdi, A. Boubezoul. Estimation of performance of heavy vehicles by sliding modes observers. *ICINCO*: pp360–365, 2006.
- [9] N.K. M'Sirdi, A. Rabhi, and Aziz Naamane. Vehicle models and estimation of contact forces and tire road friction. *ICINCO*, Invited paper ICINCO:351–358, 2007.
- [10] K. N. M'Sirdi, A. Rabhi, and A. Naamane. A nominal model for vehicle dynamics and estimation of input forces and tire friction. *Conference on control systems*, Proceedings of the CSC 07, Marrakech, Maroc, 16-18 mai 2007... 2007.

IROS 08, Nice. Robust observers and unknown input observers for estimation, diagnosis and control of vehicle dynamics. N. K. M'sirdi et al.

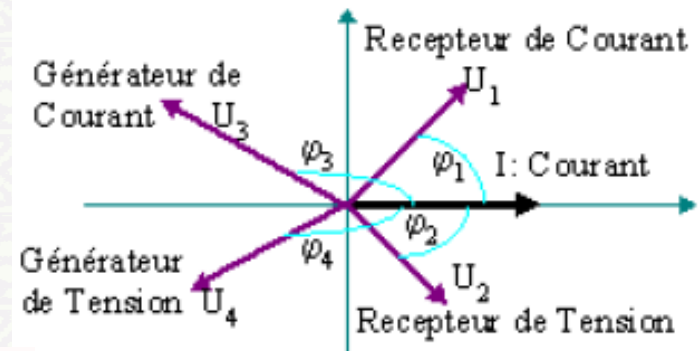
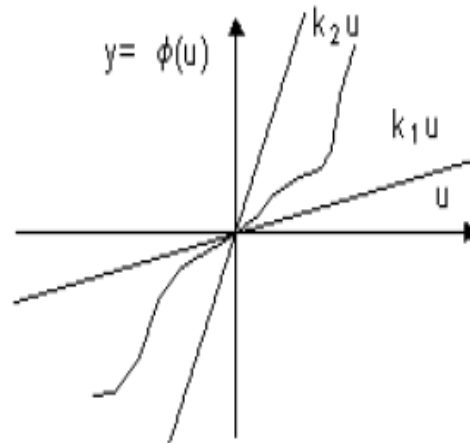
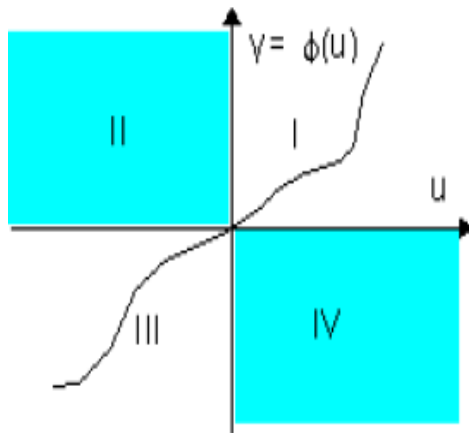
<http://www.lasmea.univ-bpclermont.fr/MEPPC08/>



Systèmes Passifs

Systèmes Passifs sans mémoire

$$k_1 \leq \phi(u)/u \leq k_2.$$



Représentation de FRESNEL

$$\phi(0) = 0 \text{ et } k_1 u^2 \leq \phi(u).u \leq k_2 u^2 \quad \forall u \in \mathbb{R}$$

Remarque 2 Notons aussi que nous avons pour ces systèmes:

$$W(0, t) = \int_0^t (\phi(u(\tau)))^T . u(\tau) d\tau \geq 0.$$



Systemes Passifs

Définition 14 Passivité: *L'opérateur S est passif si et seulement si $\exists \gamma \in \mathbb{R}$, tels que $\forall u \in L_2, t \geq 0$*

$$\langle S \otimes u, u \rangle = \int_0^t y(\tau)^T \cdot u(\tau) d\tau \geq \gamma \quad (57)$$

Définition 22 Stricte Positivité Réelle (SPR): *Une matrice $H(p)$ ($n \times n$) de fonctions réelles rationnelles est Strictement Positive Réelle si:*

- 1). *Tous les pôles des éléments de $H(p)$ sont dans le demi-plan gauche, $\text{Re}[p] < 0$;*
- 2). *La matrice $H(j\omega) + H(-j\omega)$ est Hermitienne définie positive pour tout ω .*

Interprétations fréquentielles

D'Après les définitions ci dessus, on constate que les conditions nécessaires pour qu'une fonction de transfert soit SPR sont:

- 1) $H(p)$ strictement stable,
- 2) Le diagramme de Nyquist de $H(j\omega)$ est dans le demi plan droit,
- 3) Le déphasage introduit par $H(p)$ est toujours inférieur à $\pi/2$,
- 4) $H(p)$ est de degré relatif 0 ou 1 (degré(Den) - degré(Num)),
- 5) $H(p)$ est strictement à phase minimale,
- 6) $H(p-\varepsilon)$ est PR pour $\varepsilon > 0$,

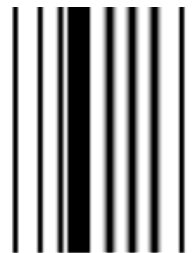


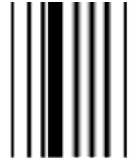
Estimation du Couple Conducteur et de la Force de Réaction d'une Direction Assistée Electrique (DAE)

Alaa Marouf, Mohamed Djemaï, Chouki Sentouh, Philippe Pudlo

Journées d'Automatique et Automobile du GDR MACS

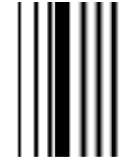
Amiens, FRANCE, 7,8 Décembre 2010





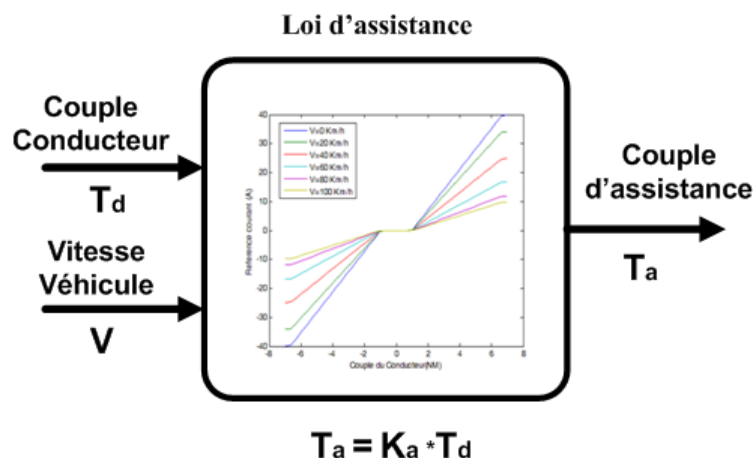
PLAN

- Motivations et objectifs
- Modèle dynamique du système de Direction Assistée Electrique (DAE).
- Synthèse de l'observateur à mode glissant (MG) à entrées inconnues
- Résultats de simulations
- Conclusions et perspectives

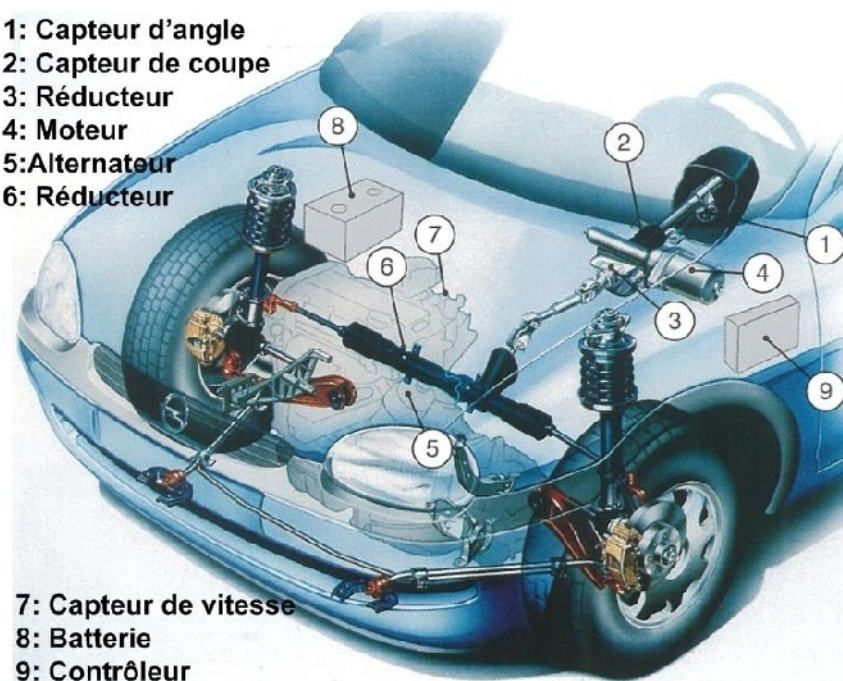


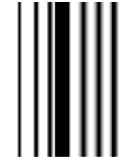
Motivations et objectifs

- Le couple conducteur détermine le couple d'assistance
- Le couple conducteur n'est pas directement mesurable



- 1: Capteur d'angle
- 2: Capteur de coupe
- 3: Réducteur
- 4: Moteur
- 5: Alternateur
- 6: Réducteur

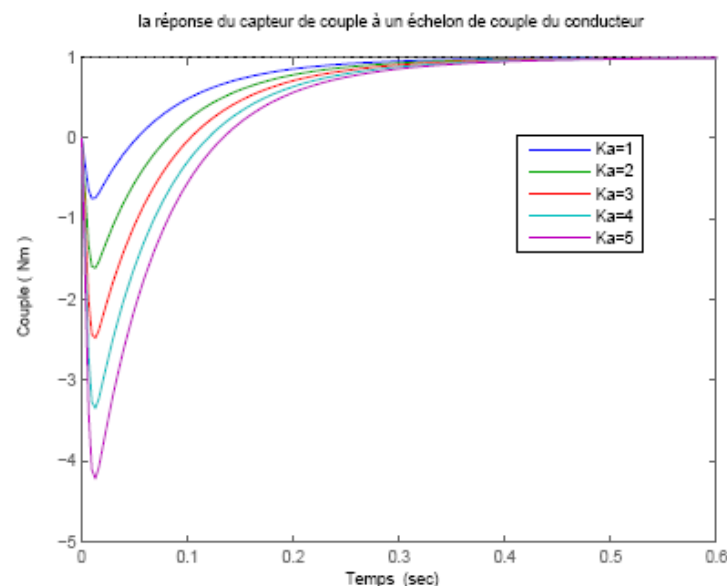




Motivations et objectifs

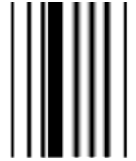
- Elimination du capteur de couple augmente la rigidité de la colonne de direction
- La force de réaction de la route détermine les manœuvres du conducteur
- Le conducteur doit percevoir une quantité appropriée de la force de réaction afin d'assurer de bonnes sensations de conduite

$$T_c = K_c \theta_c - \theta_p$$



La réponse du capteur de couple en boucle fermée à une échelon de T_d

Slide 5



Modèle Dynamique de DAE

- La représentation d'état du système:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + B_1 u_1 + B_2 u_2 \\ y = Cx \end{cases}$$



- Avec:

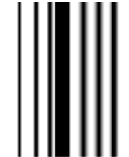
$x = [\theta_c \quad \dot{\theta}_c \quad \theta_m \quad \dot{\theta}_m \quad I_m]^T$: Vecteur d'état

$y = \theta_c \quad \theta_m$: Vecteur de sorties

$u_1 = V$: La tension du moteur

$u_2 = T_d \quad F_r^T$: Entrées inconnues

- T_d : Couple du conducteur
- F_r : Force de la réaction



Synthèse de l'observateur à MG

- Considérons un système dynamique modélisé par:

$$\begin{cases} \dot{x} = A \cdot x + B_1 \cdot u_1 + B_2 \cdot u_2 \\ y = C \cdot x = [C_1 \cdots C_p]^T \cdot x \end{cases}$$

– Avec:

$$x \in \mathbb{R}^n, u_1 \in \mathbb{R}^{m_1}, u_2 \in \mathbb{R}^{m_2}, y \in \mathbb{R}^p \quad p \geq m_2$$

$$\|u_2(t)\| \leq \rho, \rho > 0 \quad \text{L'entrée inconnue est bornée}$$

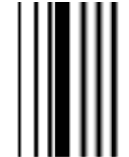
B_2 et C sont de rang plein

- L'observateur à mode glissant pour ce système:

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + B_1 u_1 + L(y - \hat{y}) - B_2 E(\hat{y}, y, \eta) \quad [\text{Wallcot \& Zak, 1987}]$$

– Avec: $\hat{y} = C\hat{x}$

$$E(\hat{y}, y, \eta) = \begin{cases} \eta \frac{F(\hat{y} - y)}{\|F(\hat{y} - y)\|_2} & \text{for } F(\hat{y} - y) \neq 0 \\ 0 & \text{for } F(\hat{y} - y) = 0 \end{cases}$$



Synthèse de l'observateur à MG

- F doit satisfaire les contraintes suivantes:

$$\begin{cases} A - LC^T P + P A - LC = -Q \\ FC = B_2^T P \end{cases}$$

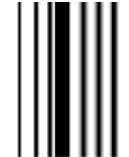
Q, P sont des matrices SDP

- Les conditions nécessaires pour l'existence de l'observateur: [\[Wallcot & Zak, 1987\]](#)
 - La condition de recouvrement est satisfaite

$$\text{rank}(B_2) = \text{rank}(CB_2) = m_2$$

- Les zéros du système (A, B₂, C) sont dans le demi-plan gauche

$$\text{rank} \begin{bmatrix} sI_n - A & B_2 \\ C & 0 \end{bmatrix} = n + m_2 \quad \text{Pour tous les } s \text{ tels que } \text{Re}(s) \geq 0$$



Synthèse de l'observateur à MG

- Pour assurer l'existence de l'observateur, des sorties supplémentaires ont été générées [Floquet et al, 2007]
 - Introduire la notion de degré relatif: $\mu_j \in \mathbb{N}, 1 \leq j \leq p$ de la sortie y_j par rapport aux entrées inconnues u_2 , μ_j est défini comme:

$$\begin{cases} C_j A^k B_2 = 0 & \text{for all } k < \mu_j - 1 \\ C_j A^{\mu_j - 1} B_2 \neq 0 \end{cases}$$
 - Choisir $1 \leq \mu_{\alpha_i} \leq \mu_i$ de telle sorte que $\text{rank } C_a B_2 = \text{rank } B_2$

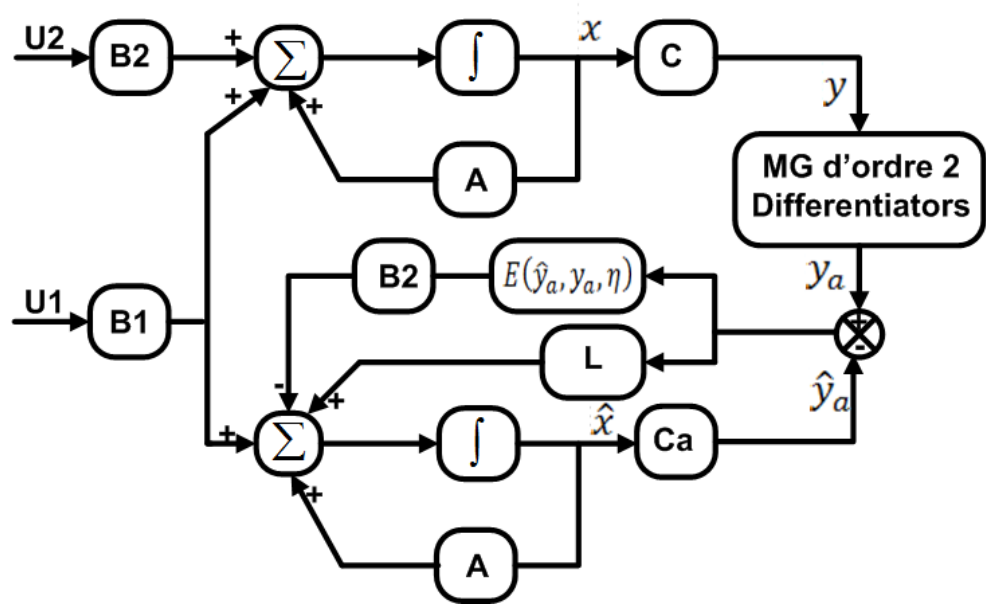
$$C_a = \begin{bmatrix} C_1 & \cdots & C_1 A^{\alpha_1 - 1} & \cdots & C_p & \cdots & C_p A^{\alpha_p - 1} \end{bmatrix}^T$$
 - Les zéros de A, B_2, C , A, B_2, C_a sont identiques



Synthèse de l'observateur à MG

- Nous pouvons construire l'observateur Walcott & Zak pour:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + B_1u_1 + B_2u_2 \\ y = C_ax = \begin{bmatrix} C_1 & C_1A & C_2 & C_2A^T \end{bmatrix} x \end{cases}$$

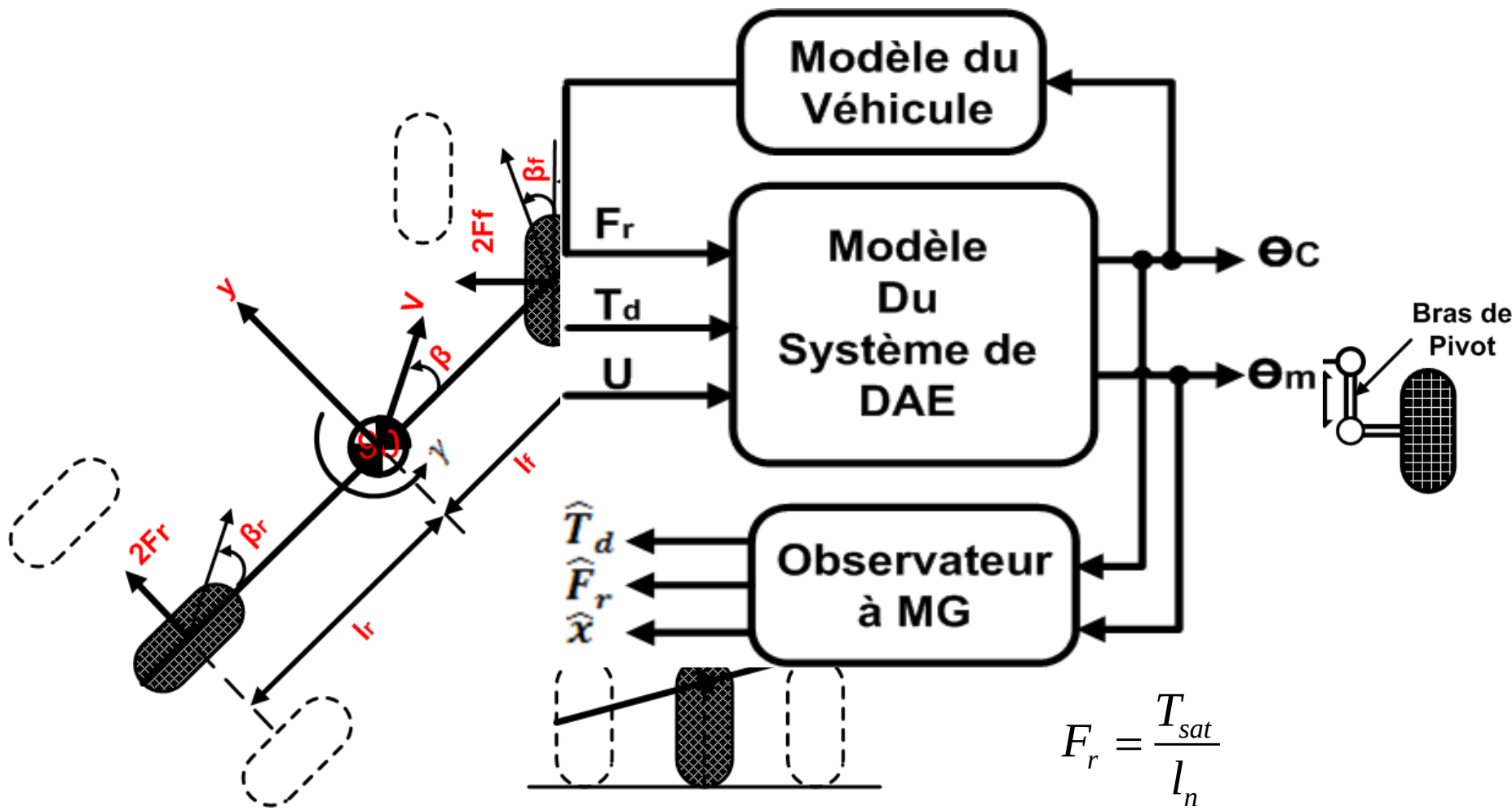


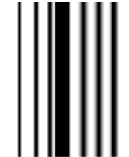
$|\dot{x} \ t| \leq X, X > 0$ [Levant, 1998]

$$\begin{cases} v \ e = \varphi \ e + \lambda_1 |e|^{0.5} \\ \dot{\varphi} \ e = \lambda_2 . \text{signe} \ e \\ e = x - \hat{x} \end{cases}$$
$$\lambda_1 > X, \ \lambda_2 \geq 2 \sqrt{X \frac{\lambda_1 + X}{\lambda_1 - X}}$$



Résultats de Simulation



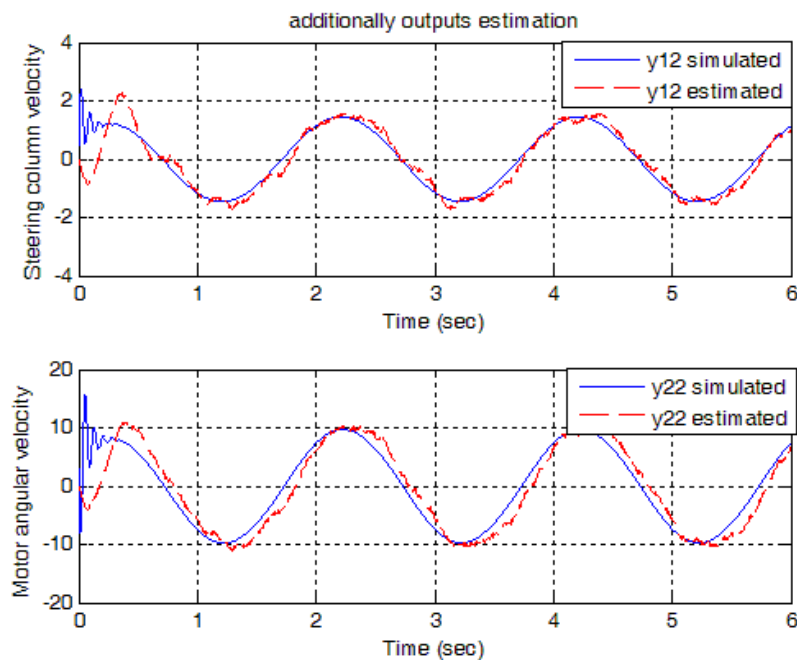
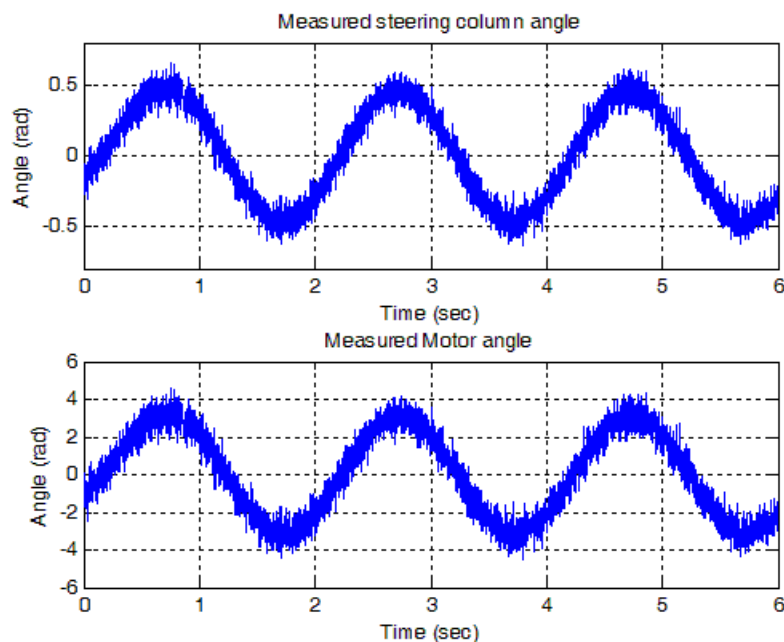


Résultats de Simulation

$V = 10 \text{ m/s}$

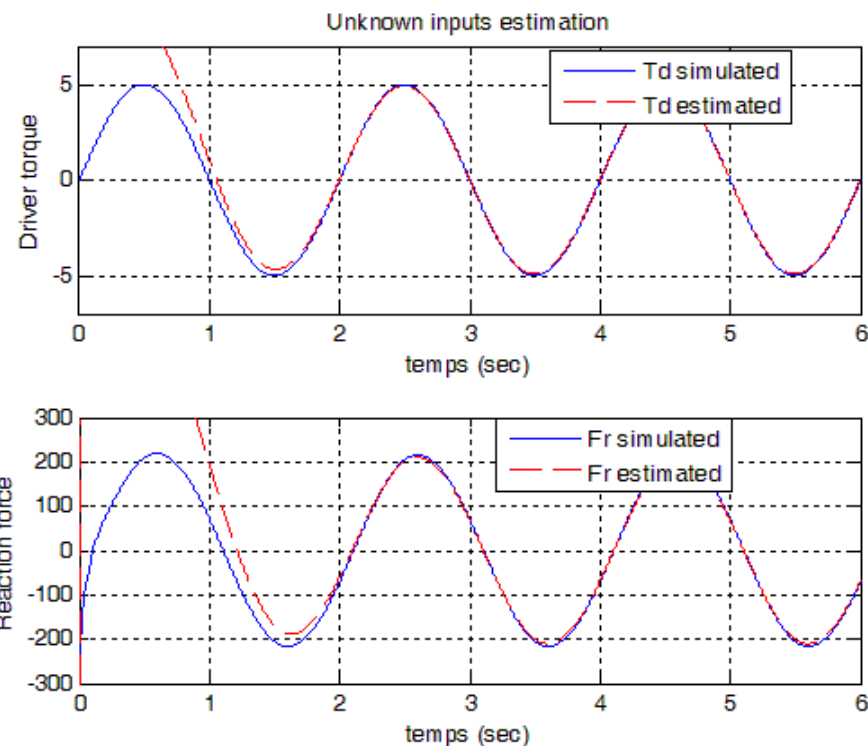
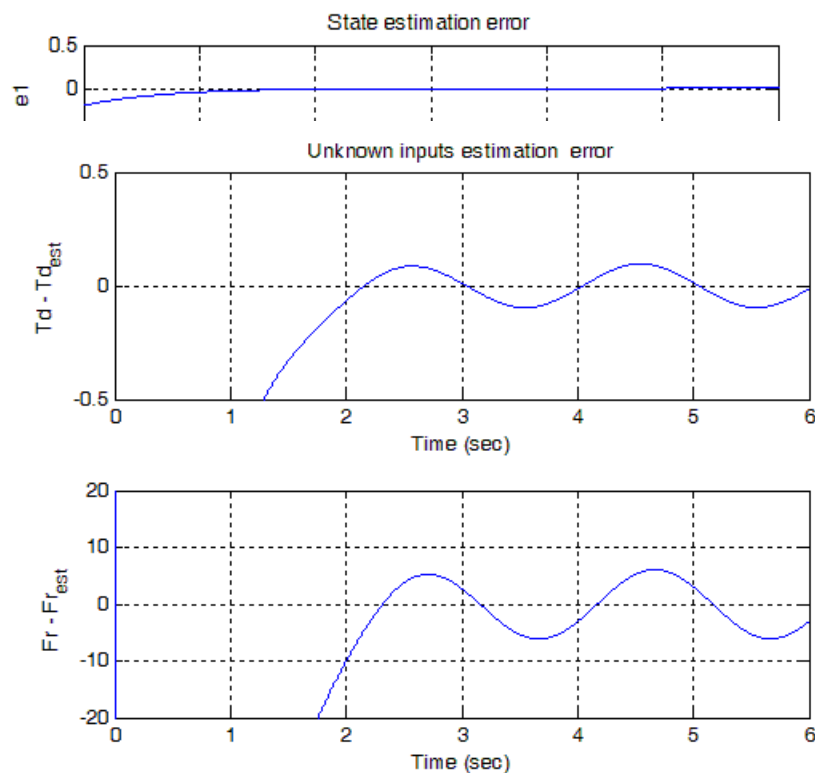
$X_s(0) = [0.2 \ 0.5 \ -1 \ 3 \ -0.04]^T$

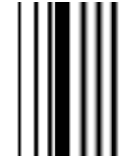
$X_o(0) = 0$





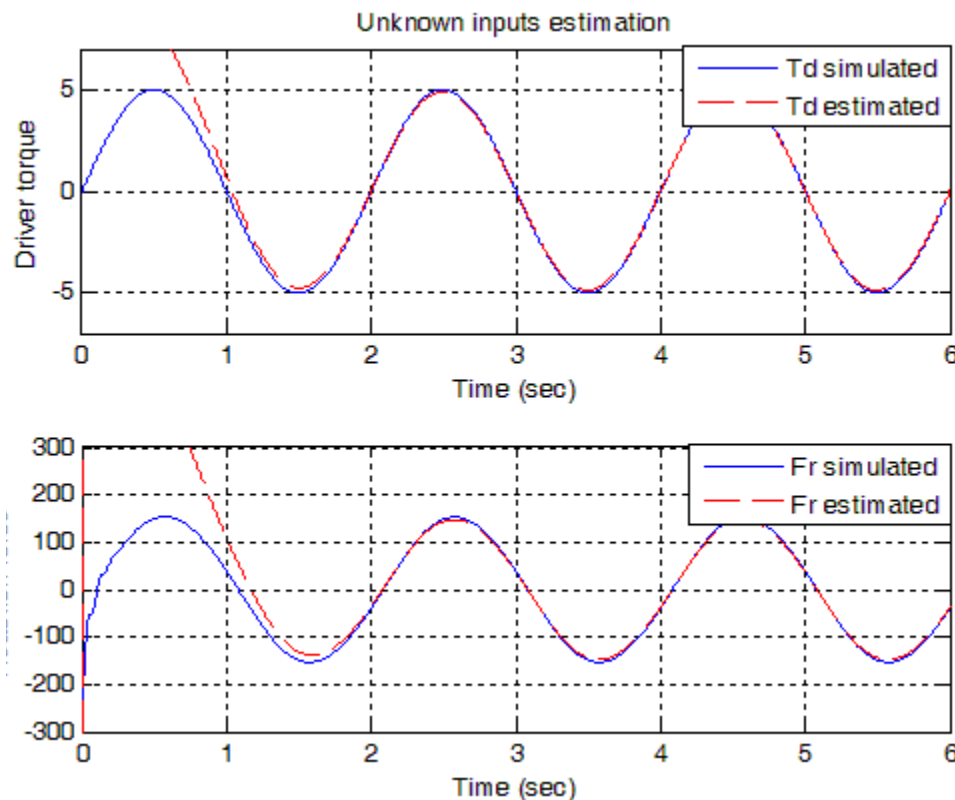
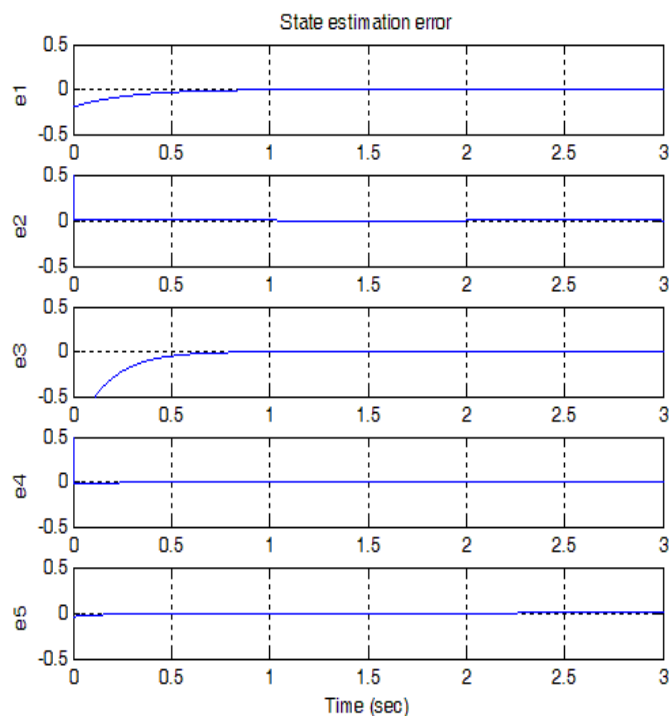
Résultats de Simulation

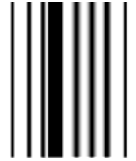




Résultats de Simulation

Résultats de simulation avec une variation de 20% des paramètres





Conclusions et Perspectives

- Les résultats des simulations montrent l'efficacité et la robustesse de l'observateur
- L'observateur proposé avec un contrôle approprié permet :
 - D'obtenir une réponse rapide
 - D'améliorer les sensations de conduite
 - De réduire le coût du système
- L'observateur sera validé expérimentalement sur une maquette du laboratoire qui sera réalisé au LAMIH

MERCI POUR VOTRE ATTENTION



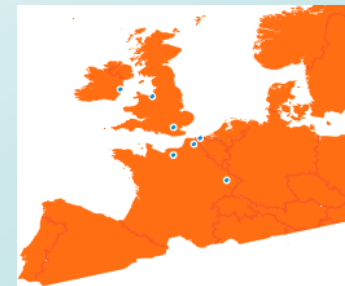
Intelligent Transportation for Dynamic Environment

InTraDE 091C
2009-2013

Rochdi Merzouki

LAGIS-Polytech'Lille, 59555, Villeneuve d'Ascq,

rochdi.merzouki@polytech-lille.fr





Context

1 Growth of the world maritime trade;

N°	Port	Throughputs in millions of TEUs			% Change	
		2003	2004	2005	2003/2004	2004/2005
1	Singapore (Singapore)	18.41	21.33	23.19	15.86	8.72
2	Hong Kong (China)	20.82	21.93	22.43	5.33	2.28
3	Shanghai (China)	11.37	14.57	18.04	28.14	23.82
4	Shenzhen (China)	10.70	13.65	16.20	27.57	18.68
5	Busan (Korea)	10.37	11.43	11.84	10.22	3.59
6	Kaoshiung (Taiwan)	8.81	9.71	9.47	10.22	-2.47
7	Rotterdam (Netherlands)	7.10	8.30	9.30	16.90	12.05
8	Hamburg (Germany)	6.14	7.03	8.05	14.50	14.51
9	Dubai (UAE)	5.15	6.43	7.62	24.85	18.51
10	Los Angeles (USA)	6.61	7.32	7.48	10.74	2.19
11	Long Beach (USA)	4.66	5.78	6.71	24.03	16.09
12	Antwerp (Belgium)	5.44	6.06	6.48	11.40	6.93
13	Qingdao (China)	4.24	5.14	6.31	21.23	22.76
14	Port Klang (Malaysia)	4.80	5.24	5.54	8.17	5.73
15	Ningbo (China)	2.77	4.00	5.19	44.40	29.75
16	Tianjin (China)	3.01	3.81	4.81	26.58	26.25
17	New York (USA)	4.04	4.45	4.80	10.15	7.87
18	Guangzhou (China)	2.76	3.31	4.68	19.93	41.39
19	Tanjung Pelepas (Malaysia)	3.50	4.06	4.17	14.86	3.73
20	Laem Chabang (Thailand)	3.18	3.62	3.81	13.84	5.25
Total Top 20		143.88	167.13	186.12	16.16	11.36

Table 1. Top 20 container terminals and their throughput, 2003-2005 [3]



- 2 Ports become increasingly limited in the area and the internal traffic converges to the saturation;
- 3 Sustainable development of the regions;



Project Aims

A. Development of an internationally competitive maritime industry;

B. Improving functional integration of NWE through developed regional interoperability maritime trade;

C. Modernizing the internal traffic of the ports by considering the space optimization.



Project Objectives



1. To study traffic flow within confined spaces of different terminals;
2. To investigate existing traffic control methods;
3. To identify automatic navigation methods;
4. To investigate practical issues in implementing automatic navigation system in ports terminals;



5. To develop an automatic traffic time-domain simulator for autonomous and human driven-vehicles within the terminals;
6. To carry out a design case study of terminal layout using a virtual simulator;
7. To experiment the online inter connexion simulator and intelligent transport vehicle in real environment.

How can it be possible with InTraDE?

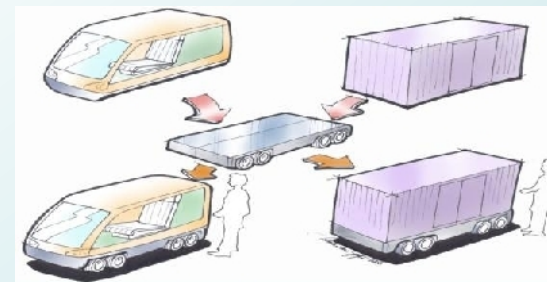
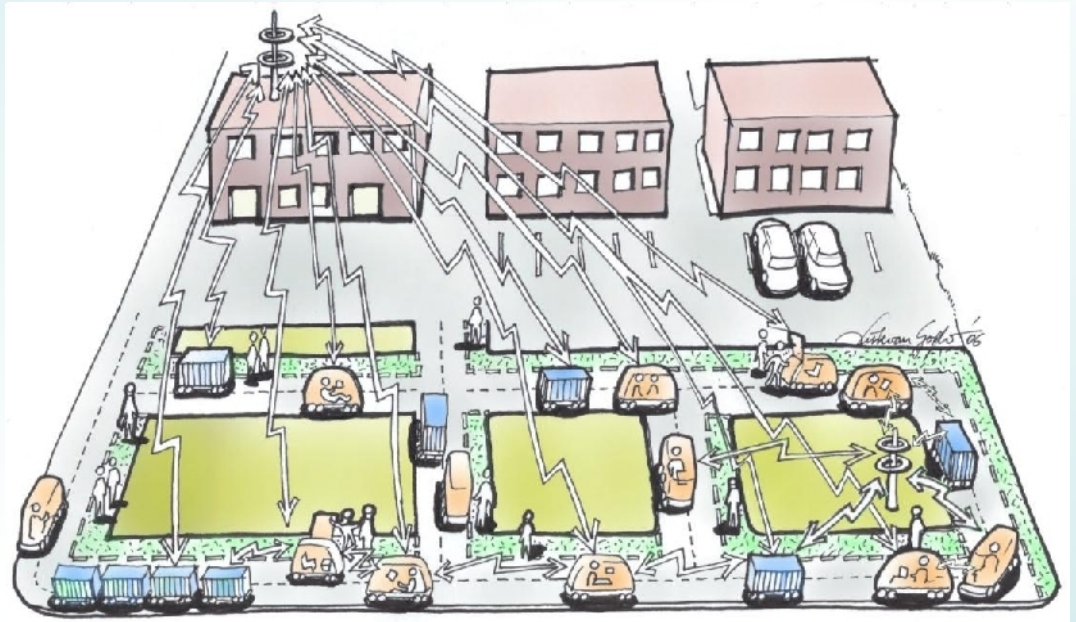
Technology transfer and know-how in:

1. Control and supervision of intelligent transport system;
2. Virtual simulation.

For the port service:

1. Improvement of the internal traffic;
2. Improvement of space management.

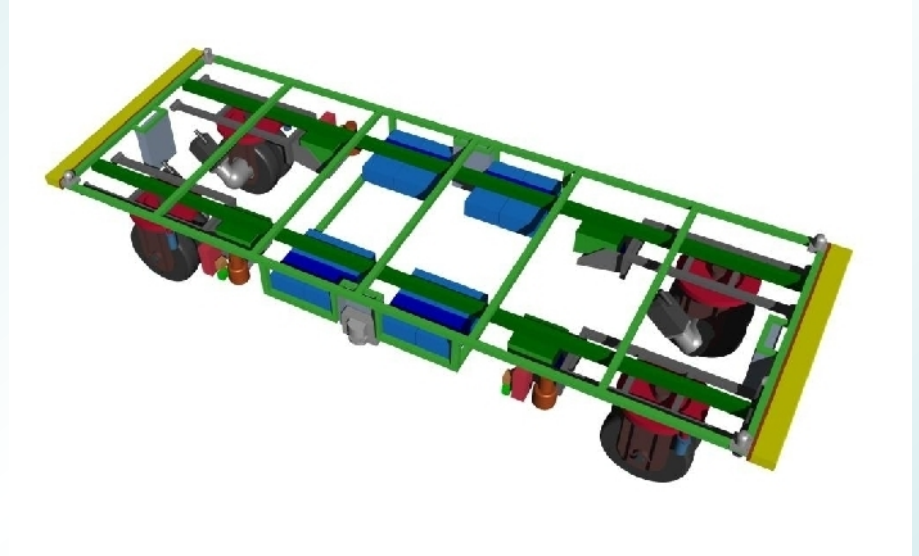
Intelligent Seaport Environment





IAV

Intelligent Autonomous Vehicle



1. Intelligent omnidirectional Vehicles;
2. Vehicles should be adapted to the Infrastructure;
3. Electrical and Hybrid motorizations;
4. Bi-modes operated system (manual and automatic);
5. Operated in safety area + online system surveillance + intelligent interaction system-environment;
6. Coupled with virtual simulator.

Virtual Port Simulator

1. Simulation of traffic of IAV in the virtual environment;
2. Dynamic Vehicles modeling;
3. Seaport Infrastructure modeling;
4. Weather simulation;
5. Accidental and faulty situations;
6. Test and validation;
7. Inter-Link with the real IAV system;
8. Training platform for the end users.





InTraDE Partnership

1. Project Leader: University of Science and Technology of Lille (France)
www.univ-lille1.fr



2. Institut National de Recherche et Informatique et Automatique (France)
www.loria.fr



3. South East England Development Agency (United Kingdom)
www.seeda.co.uk



4. Centre Régional d'Innovation et de Transfert de Technologie ,
Transport et Logistique, CRITT –TL (France)
www.critt-tl.fr



5. AG Port of Oostende (Belgium)
www.portofoostende.be



6. Dublin Institute of Technology (Ireland)
www.dit.ie



7. Liverpool John Moores University (United Kingdom)
www.ljmu.ac.uk



OKTAL: Port Simulator sub-contractor
www.oktal.bfr

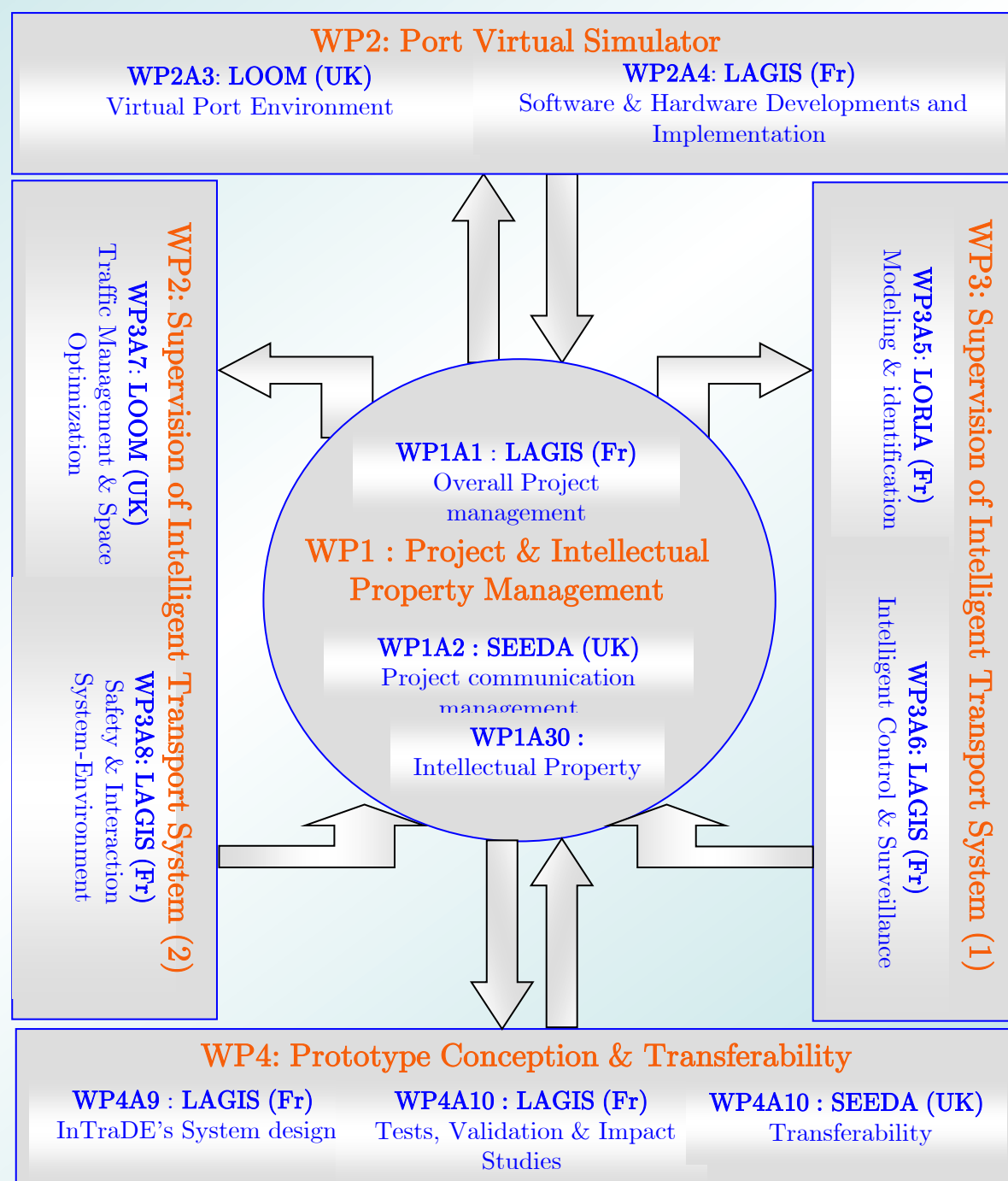


ROBOSOFT: Intelligent Autonomous Vehicle Sub-contractor
www.robosoft.fr



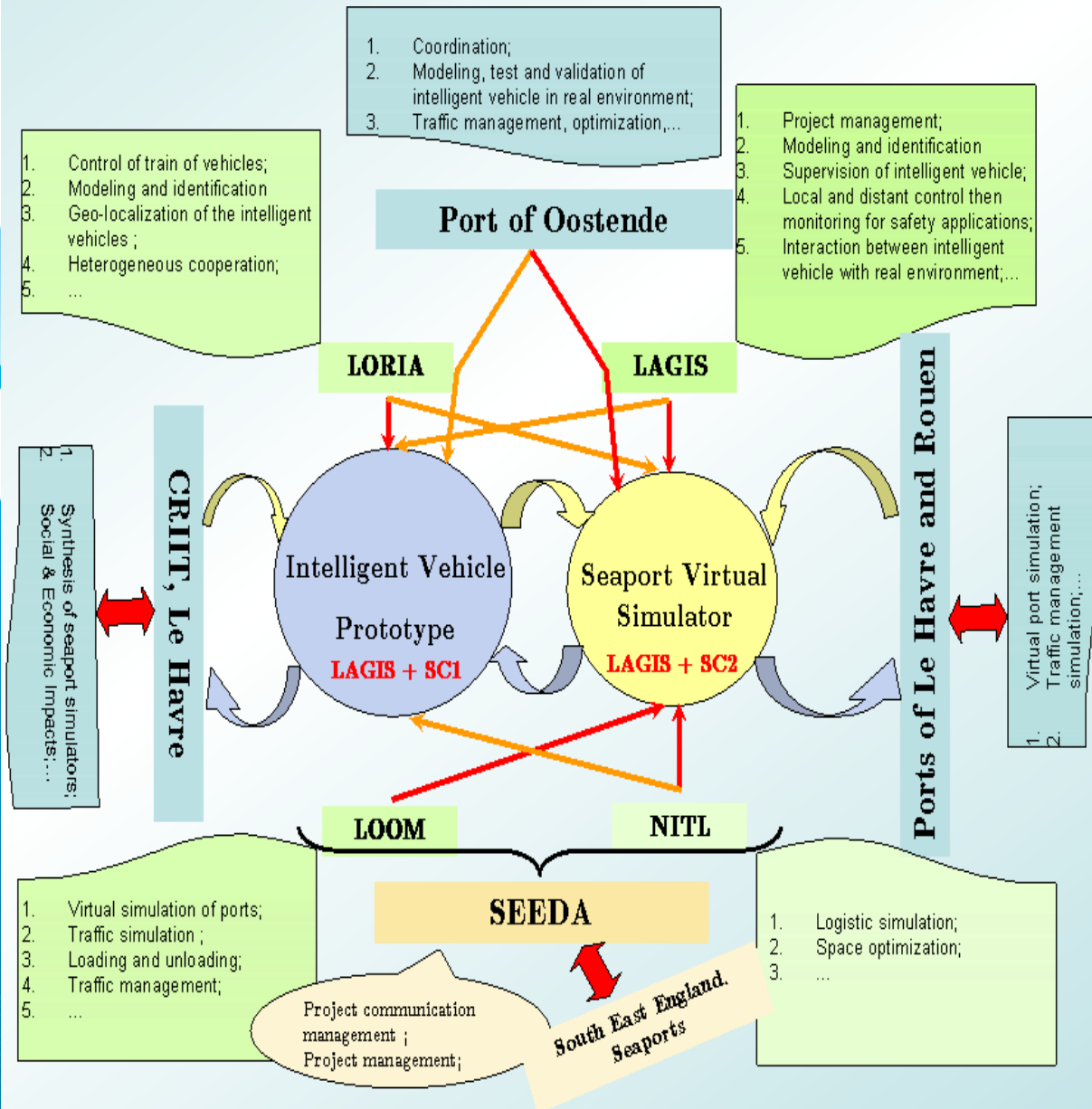


InTraDE's Workpackages





InTraDE's Tasks



InTraDE's Partners' cooperation



End

www.intrade-nwe.eu



SCANeR™ *studio* v1.0

Feature Overview v1.0

*The world's leading
driving & testing
simulation engine*



The SCANeR™ World

- Users driven software thanks to a worldwide community
- Integrated by OKTAL or by partners everywhere in the world
- Distributed through a VAR network
- Interfaces with major third party software packages





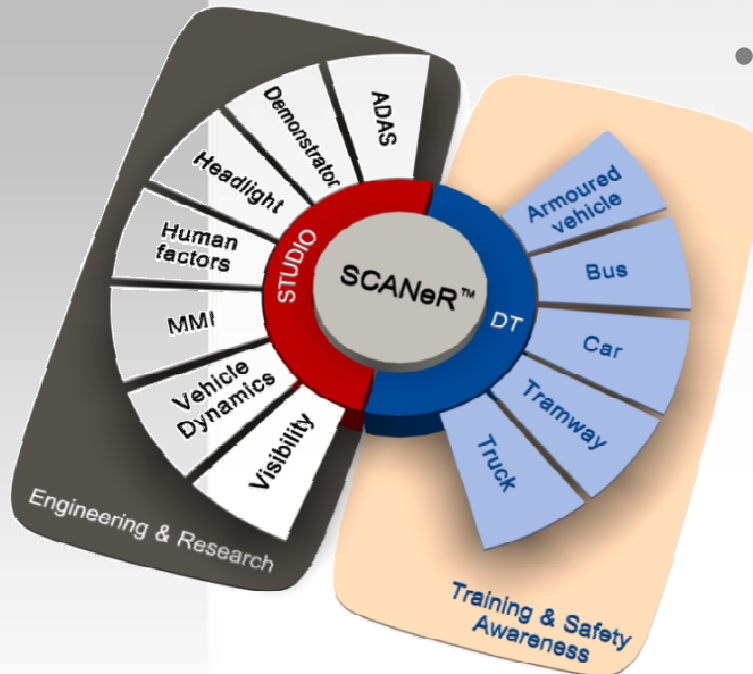
SCANeR™ software and RoadXML file format

- The RoadXML is an initiative of OKTAL to open its own file format for road network description (www.road-xml.org)
- The RoadXML schema and specification are freely available under opensource licence
- SCANeR™ is RoadXML v2.0 native





SCANeR™ *studio* : SCANeR™ package dedicated to Engineering and Research purposes



- Based on SCANeR™, OKTAL has packaged two different softwares :
 - SCANeR™ *studio* dedicated to engineering & research
 - SCANeR™ **DT** dedicated to training and safety awareness



Product history

SCANeR™ *studio* incorporates overall functionalities of 3 previous product lines:

- **EVARISTE** which has been developed in partnership with PSA Peugeot Citroën and INRETS since 1995
 - **SCANeR™ II** which has been co-developed with Renault since 1997
 - **CALLAS/PROSPER** which has been developed in partnership with French MoD (ETAS) since 1992
- More than 60 different users worldwide from Universities & Research Centers to Car manufacturers&Suppliers
 - More than 200 software licences installed worldwide.
 - An active User group established in 2001



All in One concept

SCANeR™ *studio* is based on a revolutionary all in one concept:

- All functions available for accurate simulation in one product
- Addressing both testing and driving applications with one product
- Can integrate or be integrated in third party software
- A unified data management:
 - Only one Simulation XML file for the simulation configuration
 - One post-processing tool to analyze all the simulation parameters
 - One API to extend the capabilities of SCANeR™ *studio*



A fully new and state of the art GUI...

- You stay in SCANeR™*studio* for ALL your tasks
- You can change the SCANeR™*studio* mode whenever you want: you keep your work in the status you are.
- **NO** text file to edit: every module has its GUI
- A unified GUI design and ergonomics





based on an intuitive workflow



Preparation step:

- Terrain Mode
- Vehicle mode
- Scenario mode

Runtime step:

- Simulation mode (driving application)
- Vehicle mode (testing application)

Post-processing step:

- Analysis mode



Feature components

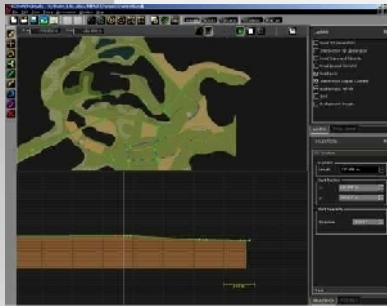
- Features are regrouped according to different components to run experimentations :
 - Core
 - Driver
 - Environment
 - Vehicle
 - Simulation





SCANeR™ *studio* : **core component**

- Minimum features to apply all the workflow (all the modes)



Terrain mode



Vehicle mode



Scenario mode



Analysis mode



Simulation mode



SCANeR™ studio : Driver component

- Human Driver
 - Steering and pedals
 - Multi-Visualization (stereo, synchro, multi-channel)
 - Sound (Inside car and environment)
- Tracker
 - Eye,
 - Head,
 - Video recording





SCANeR™ *studio* : Environment component

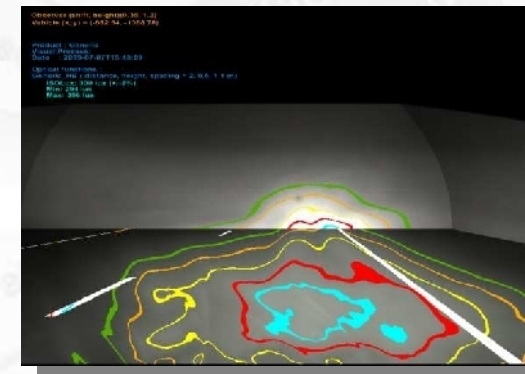
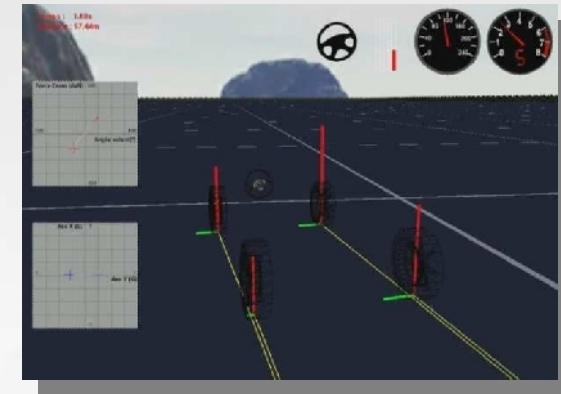
- Traffic (Intelligent and autonomous)
 - Multi-agent traffic and realistic vehicle behavior
 - mobiles types: various terrestrial vehicles and Pedestrians.
 - Collision detection , Left/right driving.
 - Involved a large number of vehicles (up to 200 vehicles)
 - Add-on for external micro simulation traffic software
- Terrain and Road infrastructure
 - Recreate a road network drastically faster as usual tools
 - Design and generate 3D and logical road network with civil engineering approach
 - From scratch, from existing 3D databases or from GIS data (geo-specific environment)





SCANeR™ studio : Vehicle component (1)

- Vehicle dynamics:
 - Vehicle conception (from pilot studies to final setup on track),
 - Homologation tests,
 - Accident reconstruction,
 - Road / vehicle compliance test,
 - Advanced chassis control,
 - Compare simulation to measurement,
 - Co-simulation,
 - Real time driving simulator
- Headlight Control:
 - Photometric rendering using illumination map from physical goniometer scanned or from virtual design data .
 - Reflective material rendering
 - Relative visual comparison of night driving
 - Evaluation and validation of AFS
 - Interactive measurement





SCANeR™ studio : **Vehicle component (2)**

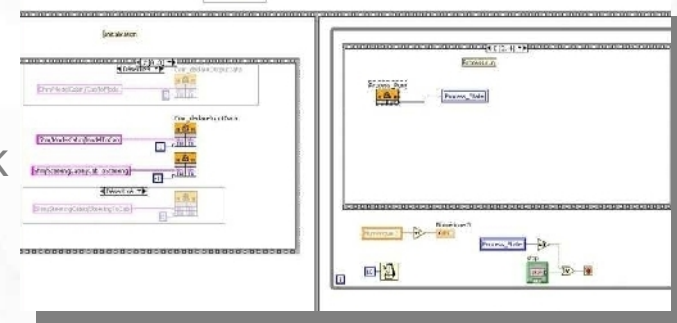
- Cockpit interiors
 - CAD import data
 - Mirror reflexion
 - Cockpit animation (needle, steering...)
- Sensors (ADAS)
 - Optical / Infrared
 - Intelligent transportation system test





SCANeR™ studio : Simulation component

- Analyzing
 - Graph data
 - Video replay
 - 3D environment, camera view...
- SDK
 - C++ API (Network and SHM)
 - ROADXML API
 - Visual plugin API
 - Labview® and Matlab® Simulink interface





Packaging main principle

- Two (2) kinds of applications

DRIVING



TESTING



- One specific packaging for each application



Driving Packages (1)

- Predefined configurations

Functional:

- ACADEMIC
- SILVER
- GOLD
- PLATINIUM



Customer:

- Headlight
(available on version 1.1)
- MMI
- Human Factors
- Demonstrator
- Visibility





Driving Packages (2)

- Additional modules

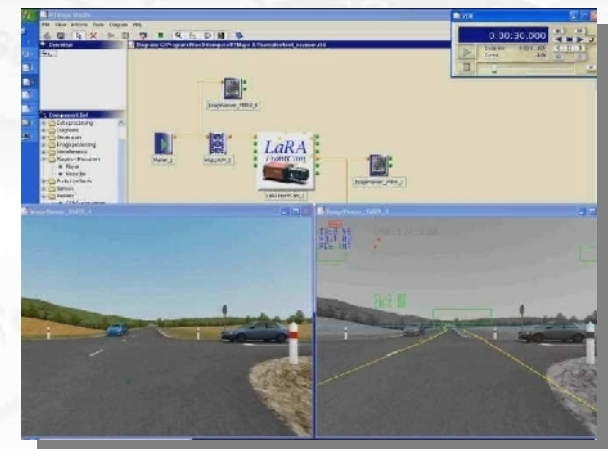
Add-on modules:

- AFS
- HIL



Bundles modules:

- Interface to AIMSUN
- Interface to RTMaps





Testing Packages (1)

- Predefined configurations

Customer modules:

- Headlight
(available on version 1.1)
- ADAS



Vehicles modules:

- CAR Academic
- CAR
- TRUCK&BUS
- MOTORSPORT
(available on version v1.1)
- MILITARY
(available on version v1.1)





Testing Packages (2)

- Additional modules

Add-on modules:

- **Military vehicle**
(available on version v1.1)



Bundle modules:

- **Interface to CARSIM**





DATA SETS

ROAD Environments:



ROAD Features:

- Right & left hand driving
- Traffic Signs
- Localized environment objects

Mobiles sets:

- Cars
- Truck
- Bicycles
- Pedestrians
- Bus



Complémentarité des modèles fonctionnels et Bond Graph pour la supervision d'un système de traction pour un VIA

Nizar CHATTI

Encadré par :

B. OULD BOUAMAMA

A.-L. GEHIN

R. MERZOUKI

*Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique
et Signal (LAGIS – FRE 3303)*

nizar.chatti@polytech-lille.fr

Tel: (33) (0) 3 28 76 71 39 , Bureau D314 Polytech-Lille

Plan

1. Introduction
2. Modèle générique de composants
3. Modèle Bond Graph
4. Application à une traction décentralisée d'un VIA
5. Conclusion & Perspectives

1. Introduction

Conduite autonome de véhicules

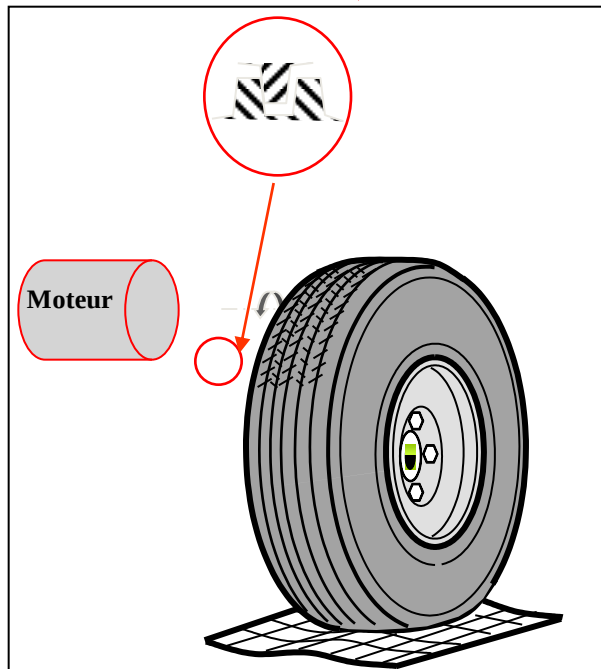
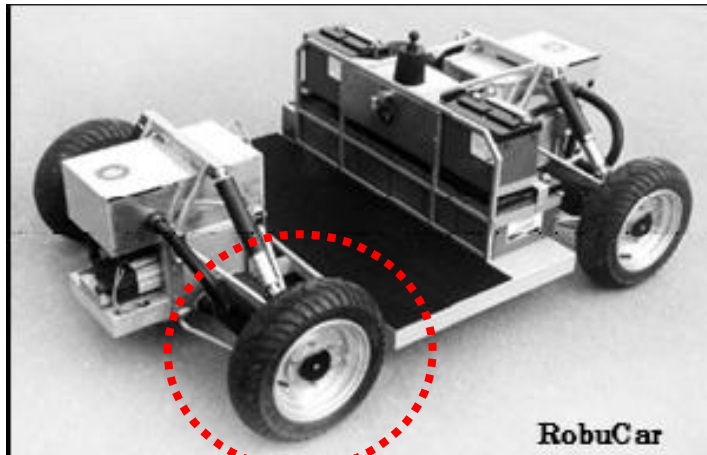
- Que faut-il améliorer, les véhicules ou les infrastructures ?
- Quelles sont les exigences que doit satisfaire une application ITS?

Véhicule Intelligent Autonome

Une application VIA doit satisfaire certaines exigences vitales :

- **Système robuste aux différents états et changements d'environnement, de route, de trafic, ...**
- **Des systèmes de sûreté critique pour lesquels un haut degré de fiabilité est exigé**
- **les VIA doivent être déclenchés et contrôlés par un opérateur humain.**

Description du Robucar



Dimensions:

Longueur: 1,836 m (73,90");
largeur: 1,306 m (51,42");
hauteur: 0,616 m (24,25").

Poids:

310 Kg (449 Lbs) avec des batteries.

Vitesse: 18 Km/h équivalent à 5m/s.

Batteries:

8×12 Volts 60 Ah.

Alimentation 24 Volts.

Moteurs:

4×900 Watts.

2300 rpm primary, 230 rpm output.

Inductance $L=0.075$ H.

Résistance $R=0.32 \Omega$.

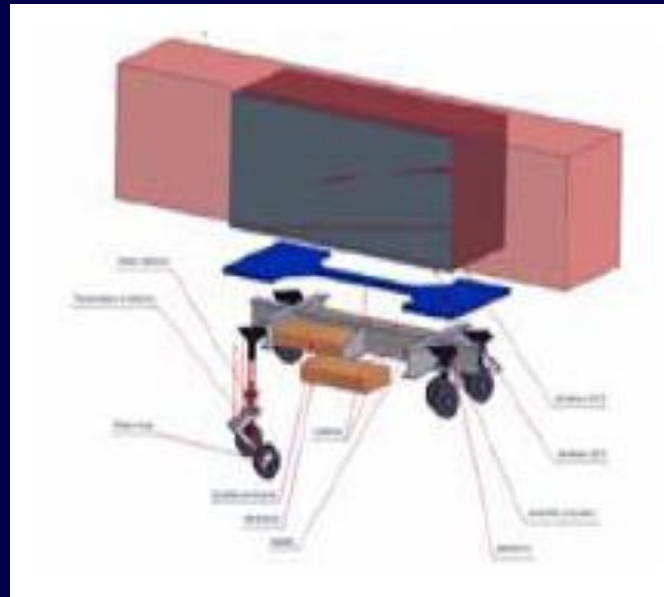
Instrumentation:

6 encodeurs optiques <1mm, 4 pour la traction et 2 pour la direction

Analyse fonctionnelle

Objectif

- ➡ Générer des algorithmes pour l'autodiagnostic des véhicules autonomes
 - Le véhicule doit être capable de rendre compte, à chaque instant de son état fonctionnel



Fonctions du diagnostic

Détection

- ➔ Concerne la mise en évidence d'événements qui affectent l'évolution d'un système.

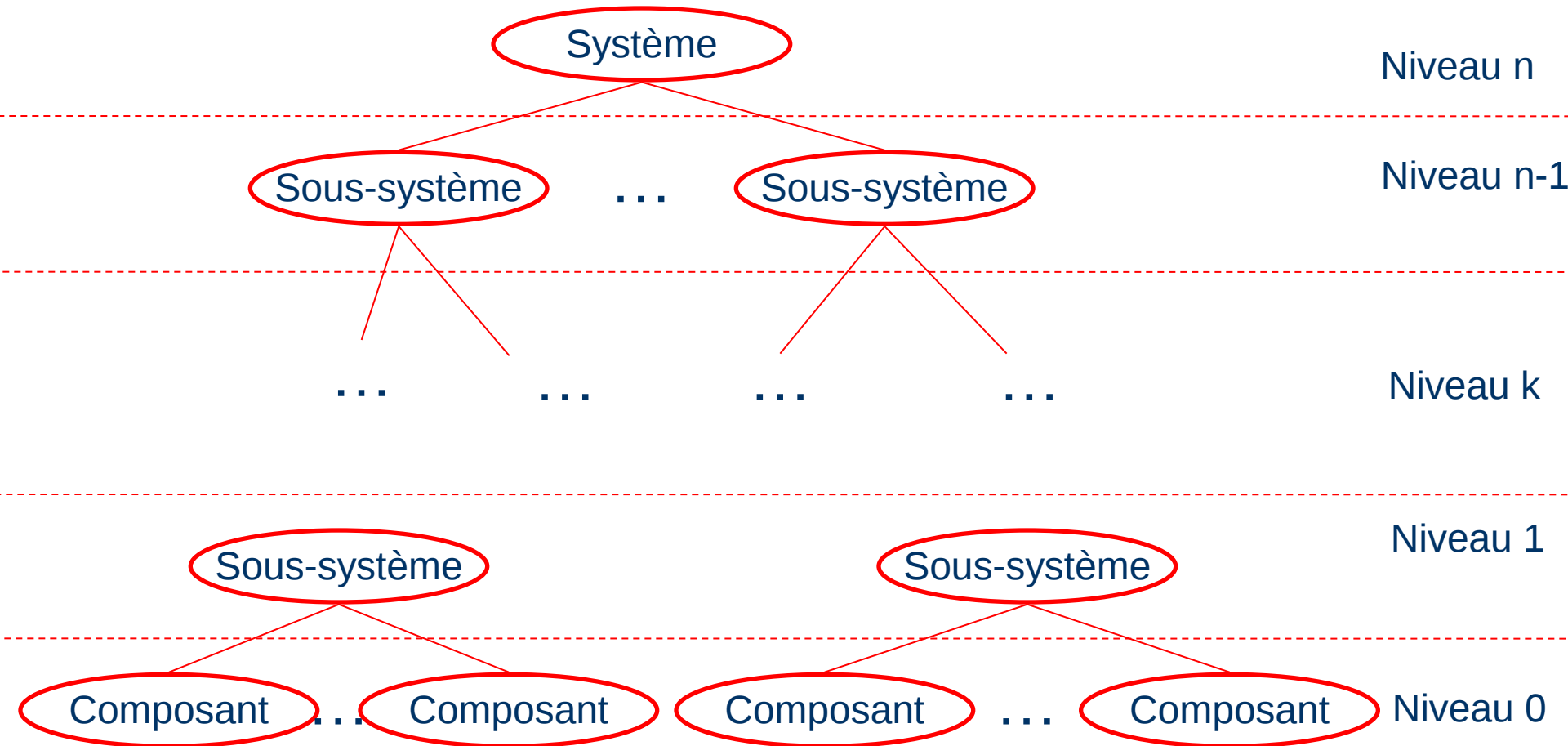
Localisation

- ➔ Circonscriit la défaillance à un sous-ensemble du système surveillé. Elle analyse les événements pour distinguer ceux qui sont anormaux.

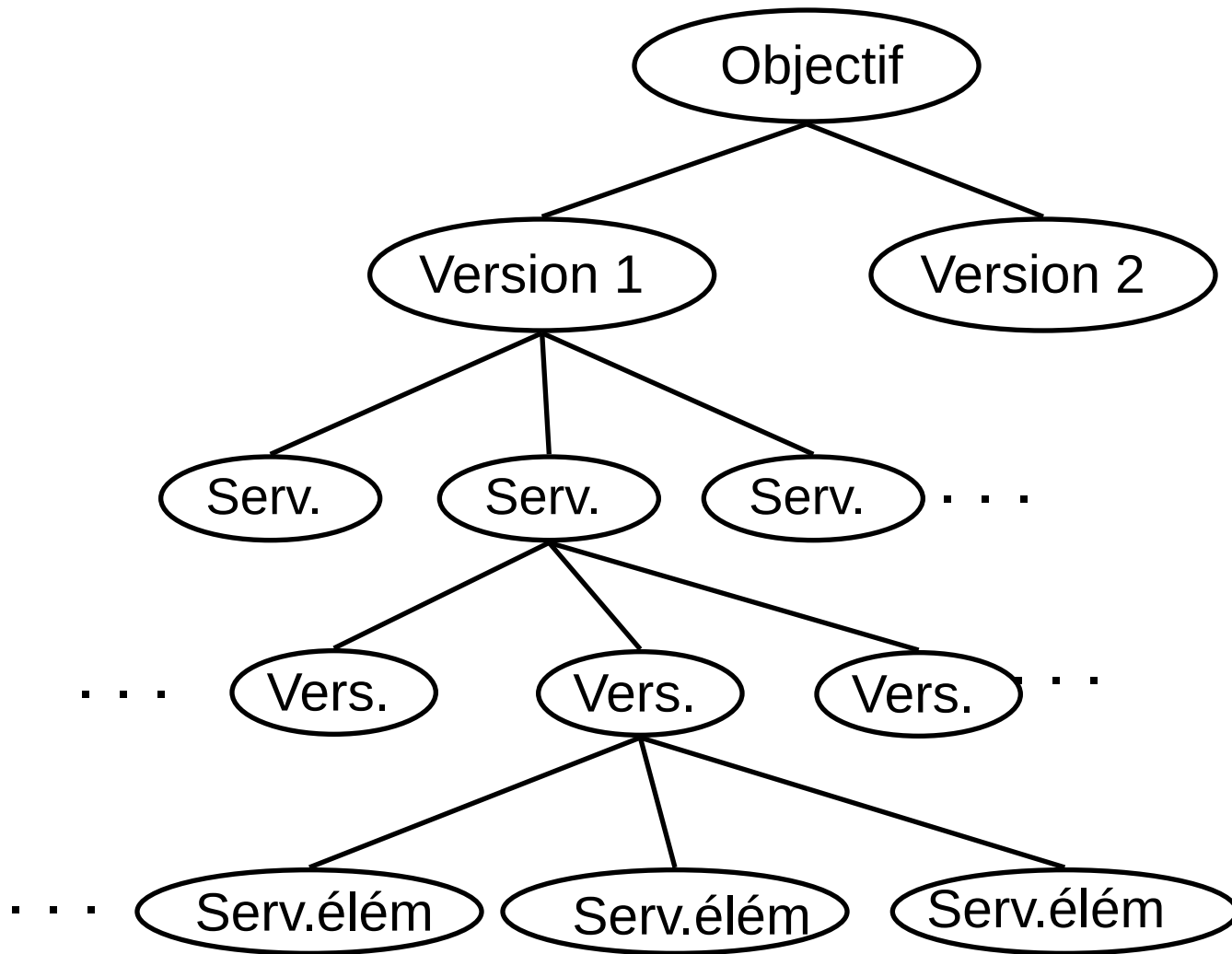
Identification

- ➔ Fournit des informations sur les caractéristiques de la défaillance. Elle quantifie celle-ci.

Décomposition pyramidale du système



Arbre ET/OU



Analyse fonctionnelle

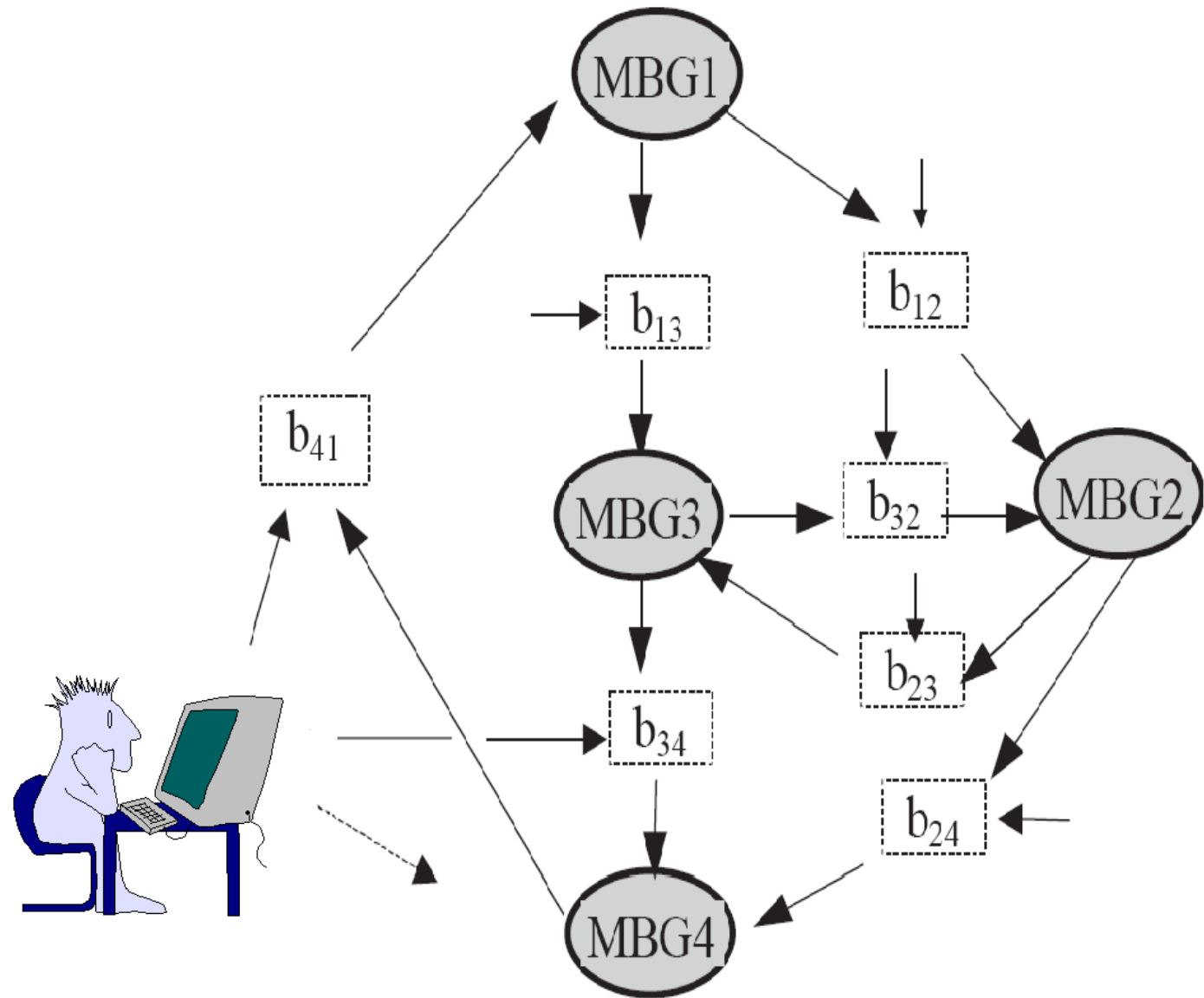
- ➔ Décomposer le système en termes de services à accomplir.
- ➔ Proposer un modèle générique de composant permettant de décrire une entité selon les services qu'elle fournit et leur organisation en modes d'utilisation.
- ➔ Fixer un cahier de charges en termes de performances du système de surveillance puis à implémenter en temps réel les algorithmes de diagnostic.

Bond Graphs

Pourquoi les Bond Graphs ?

- Représentation graphique des transferts de puissance
- Langage unifié pour tous les domaines physiques (analogie)
- Modèle BG d'un système :
 - entre le schéma physique et les modèles mathématiques
 - visualisation de la causalité

USOM Graph in Bond Graph sense



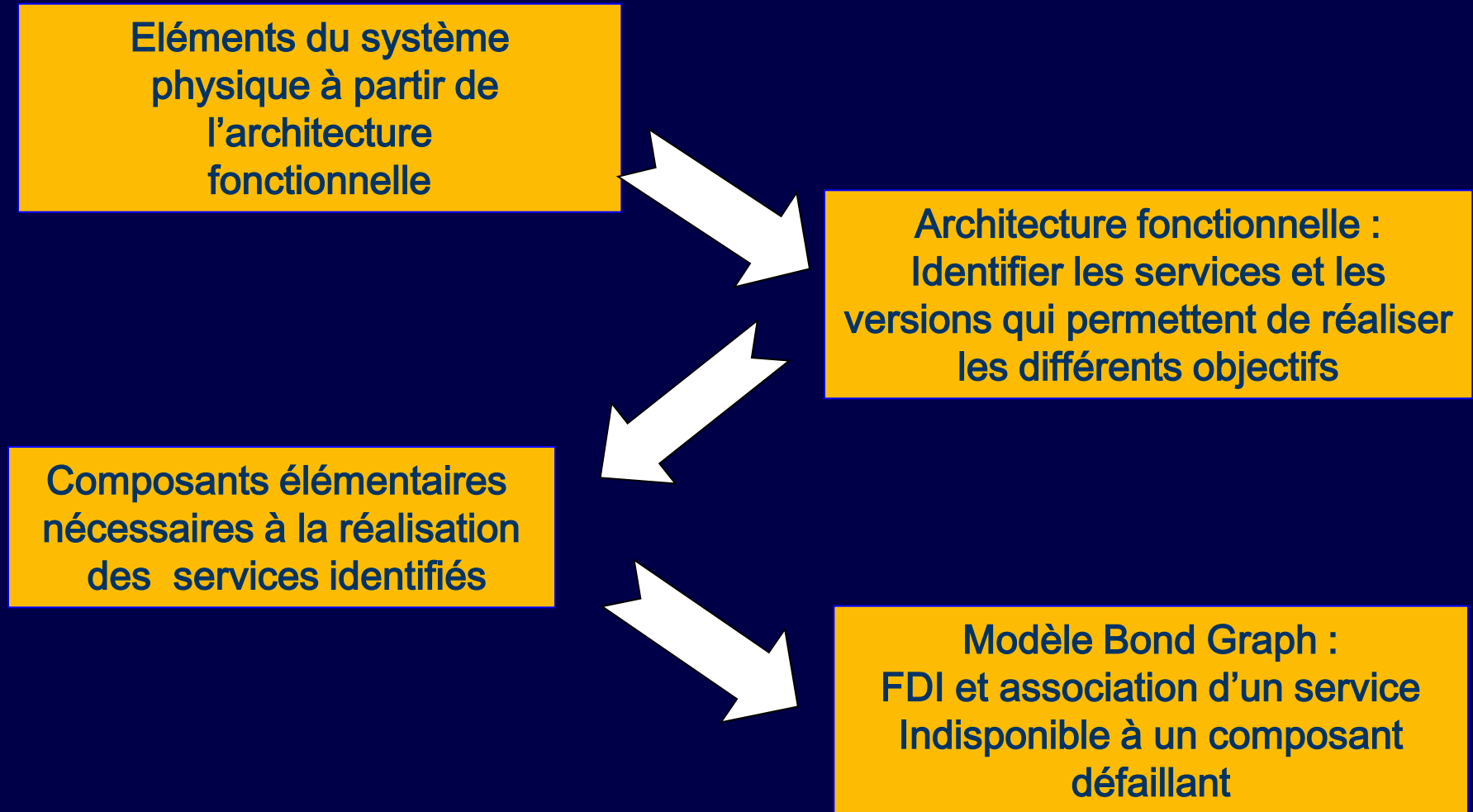
Les relations de redondances analytique

- ⇒ Générer des relation de redondance analytique « résidu »
- ⇒ Comparer à des seuils de surveillance fonction de la tolérance des grandeurs mesurées issues des capteurs.

Procédures FDI

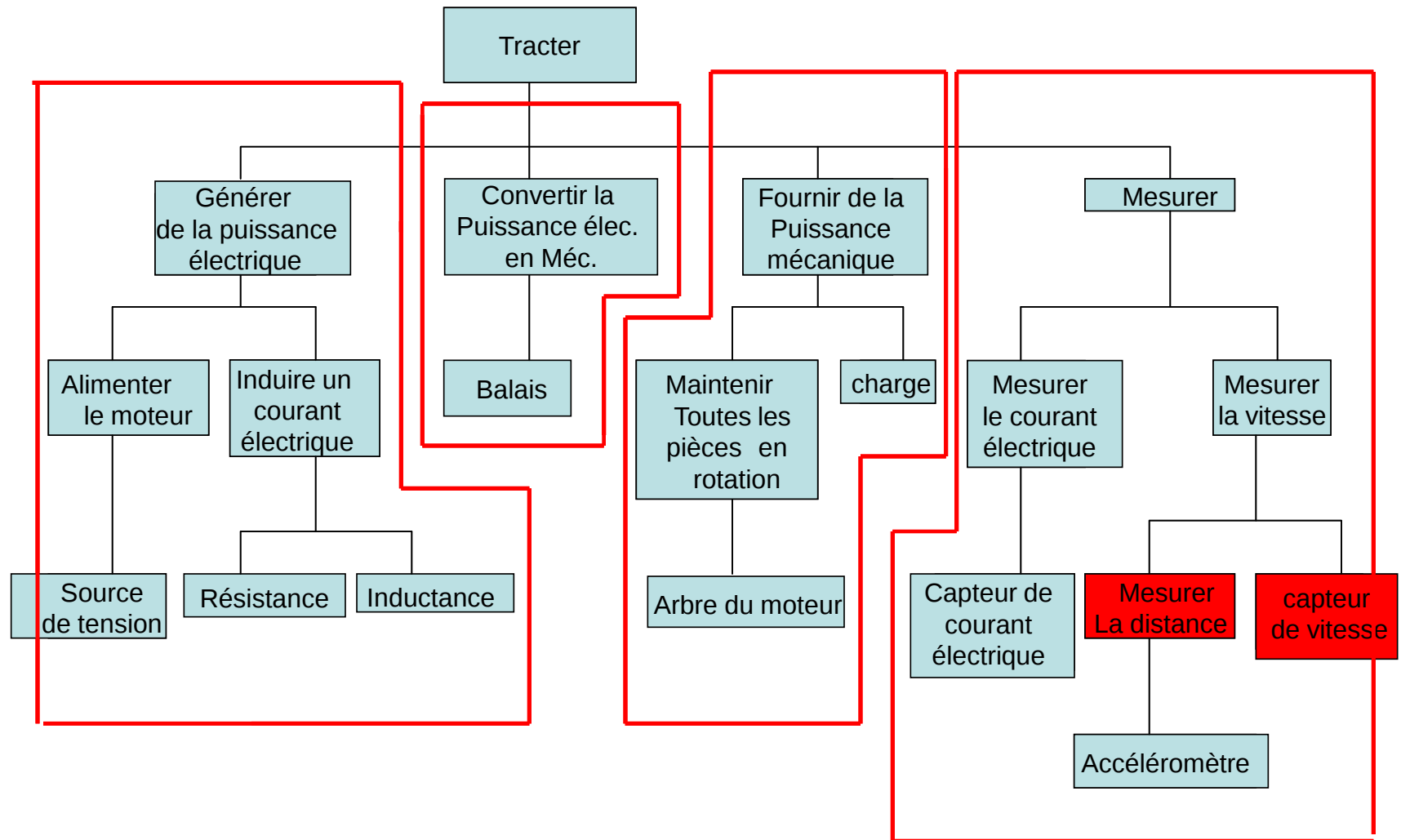
- ➔ Les méthodes analytiques: se basent sur la connaissance du système à surveiller (modèle du procédé)
 - Comparer les informations issues du système fonctionnement avec celles calculées à partir du modèle.
 - Aboutir à la génération de variables appelées résidus.
 - » Contenir toute l'information utile pour le diagnostic.
 - » Intégrer les considérations de robustesse et sensibilité

Analyse fonctionnelle & Modèle Bond Graph



Application à une traction décentralisée d'un VIA

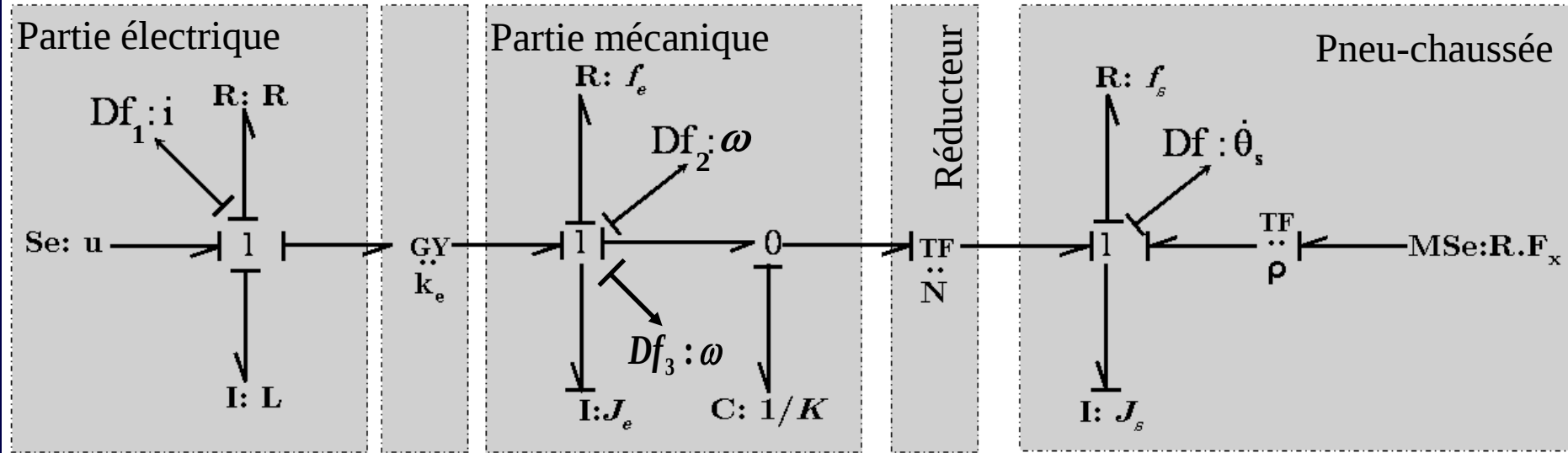
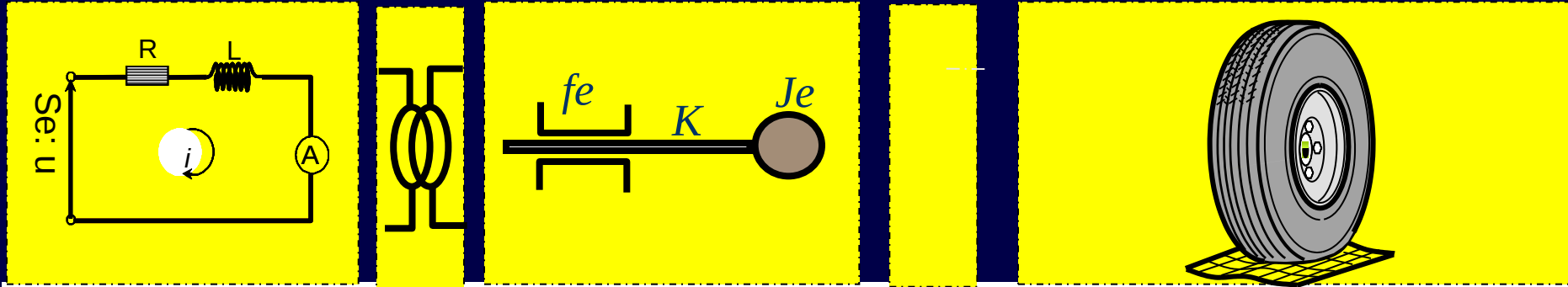
Analyse fonctionnelle d'un moteur DC



Composant élémentaire de chaque service du moteur DC

N°	Services	Eléments BG
1	Alimenter le moteur	MSe
2	Induire un courant électrique	$R : R_A; I : L_A$
3	Convertir la puissance électrique en mécanique	GY
4	Maintenir toutes les pièces en rotation	$R : F_m; I : J_m$
5	Fournir de la puissance mécanique	$Se : Load$
6	Mesurer la vitesse	$Df_1 : w; Df_2 : w$
7	Mesurer le courant	$Df : i$
8	Maintenir	-

Association entre Bond Graph et analyse fonctionnelle



Alimenter le moteur

Induire un courant électrique

Convertir la puissance électrique en mécanique

Fournir puissance mécanique

Charge

Matrice de signature de défaut

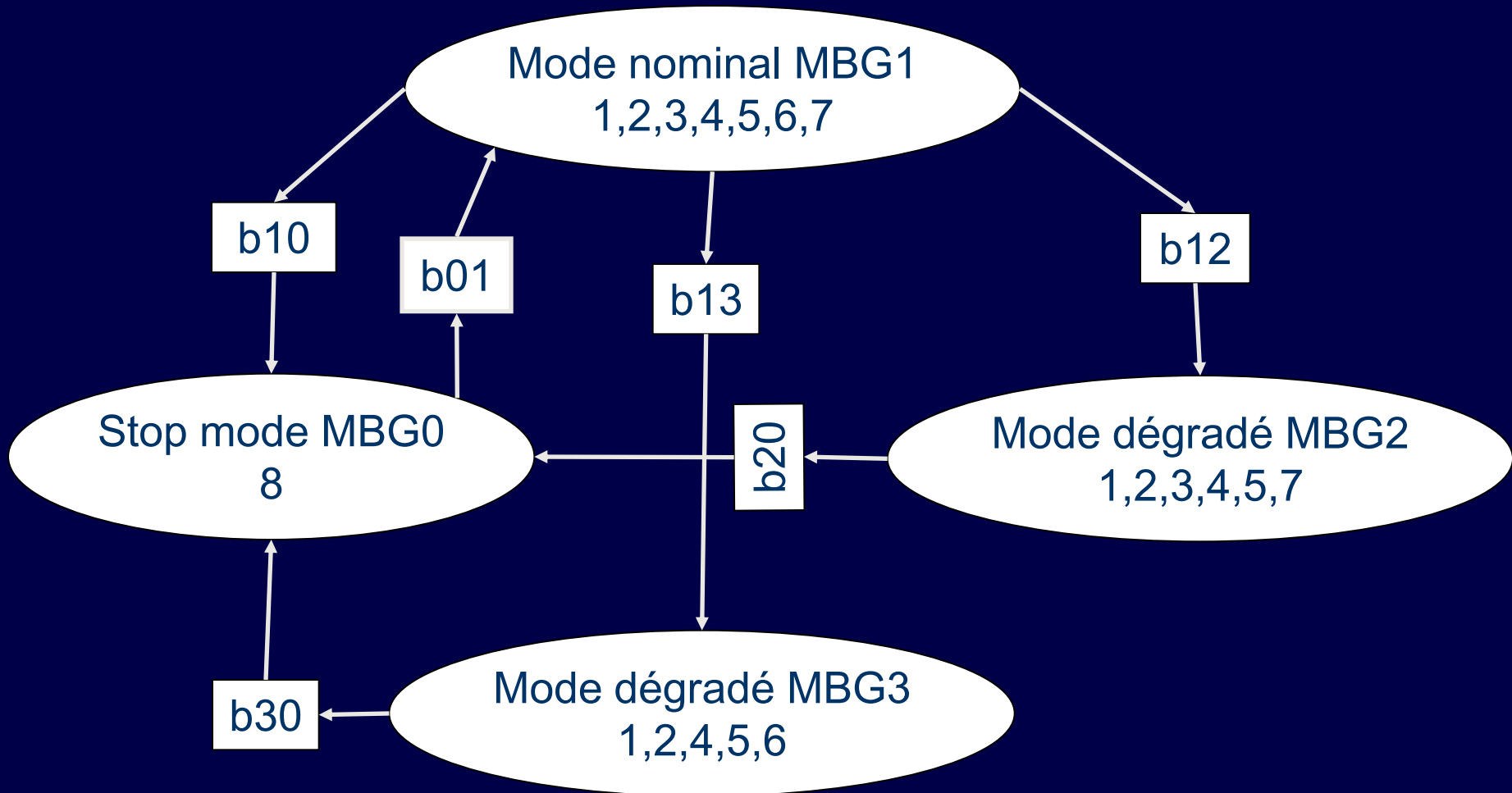
Services	Composants	M_b	I_b	R_1	R_2	R_3
fournir une puissance mécanique	charge	1	0	1	0	0
Générer une puissance électrique	Source de tension	1	0	0	1	0
Mesurer le courant électrique	capteur de courant	1	0	1	1	0
Mesurer la vitesse	Capteur de vitesse 1	1	1	1	1	1
Mesurer l'accélération	Capteur de vitesse 2	1	1	0	0	1
Induire un courant électrique	Résistance	1	0	1	0	0
Induire un courant électrique	Inductance	1	0	0	1	0
Convertir la puissance électrique en mécanique	Gyrateur	1	0	1	1	0

$$R_1 : S_e - R.Df_1 - I \frac{dDf_1}{dt} - K_e.Df_2 = 0$$

$$R_2 : -I \frac{dDf_2}{dt} - f_e.Df_2 + S_{e2} + Df_1.K_e = 0$$

$$R_3 : Df_2 - Df_3 = 0$$

Graphe des USOMs



Conclusion & Perspectives

Conclusion

⇒ L'analyse fonctionnelle :

- définit toutes les manières de réaliser une même mission
- structure les missions en modes d'utilisation
- fait le lien service élémentaire – composants élémentaires

⇒ Les Bond Graphs :

- associe un modèle de comportement au service
- permettent d'étudier la disponibilité des services.

⇒ l'utilisateur sait à chaque instant ce qu'il peut obtenir de l'IAV
et comment l'obtenir

Perspectives

- ➔ Mettre en place un modèle générique de tout le véhicule
- ➔ Associer l'analyse fonctionnelle aux modèles Bond Graphs
- ➔ Utiliser la logique floue pour rendre compte de l'état du véhicule
- ➔ Vérifier les spécifications fonctionnelles, s'auto-diagnostiquer et rendre compte de son état en temps réel.

Développement d'un système embarqué d'estimation de forces d'impacts pour poids lourd

Présenté par : OMAR KHEMOUDJ

M. Djemaï (LAMIH)

H. Imine (LEPSIS)

JJA – 7-8 Décembre 2010 Amiens

Contexte

- Mode routier dominant pour le transport de marchandises – en croissance -
- > 75% du fret en France et en UE
- entre 15 à 20% dans certains tronçons.



Conséquences

- Sur la sécurité routière : (5,2 % l'ensemble des accidents corporels, 13,4 % des accidents mortels)
- Sur l'infrastructure (endommagement des ponts, orniérages des chaussées, ...)
- Sur l'activité du transport



👉 La charge du PL est une des causes

Nécessité d'estimer cette charge

Objectif et applications

- Proposer un système embarqué sur véhicule permettant d'estimer en temps réel les forces d'impact du poids lourd sur la chaussée
- Applications visées :
 - √ minimiser les risques de renversement en identifiant les différents transferts de charge dans le PL
 - √ réduire l'agressivité des PL et protéger l'infrastructure
 - √ Outils de surveillance et de contrôle pour les gestionnaires de l'infrastructure

Plan de la présentation

- Introduction au pesage embarqué
- Méthodes d'estimation
- Résultats expérimentaux
- Application à la conduite assistée
- Conclusion et perspectives

Techniques de mesure embarquée de la charge dynamique

Pesage embarqué : mesure de la force d'impact à l'aide de capteurs présents uniquement dans le poids lourd.

✓ **Pesage de la charge dynamique** : force d'impact du véhicule en marche

- charge dans le véhicule
- scénario de conduite (ligne droite, en virage...)
- état de la chaussée (lisse, accidentée...)
- caractéristique du véhicule (suspensions, pneus...)

- Véhicule en marche → charges dynamiques
- Charge dynamique : type et état de la chaussée, vitesse du véhicule, type de suspensions...
- Charge dynamique : 2 x Charge statique sur chaussée accidentée

1- Roue instrumentée

- Instrumentation du moyeu de la roue par des capteurs d'effort.
- Précurseur : General Motors
- Introduction d'une électronique de roue par Kistler : roue instrumentée pour poids lourd
- Technologie sophistiquée et Précision élevée
- Utilisée par les constructeurs pour des essais sur les véhicule



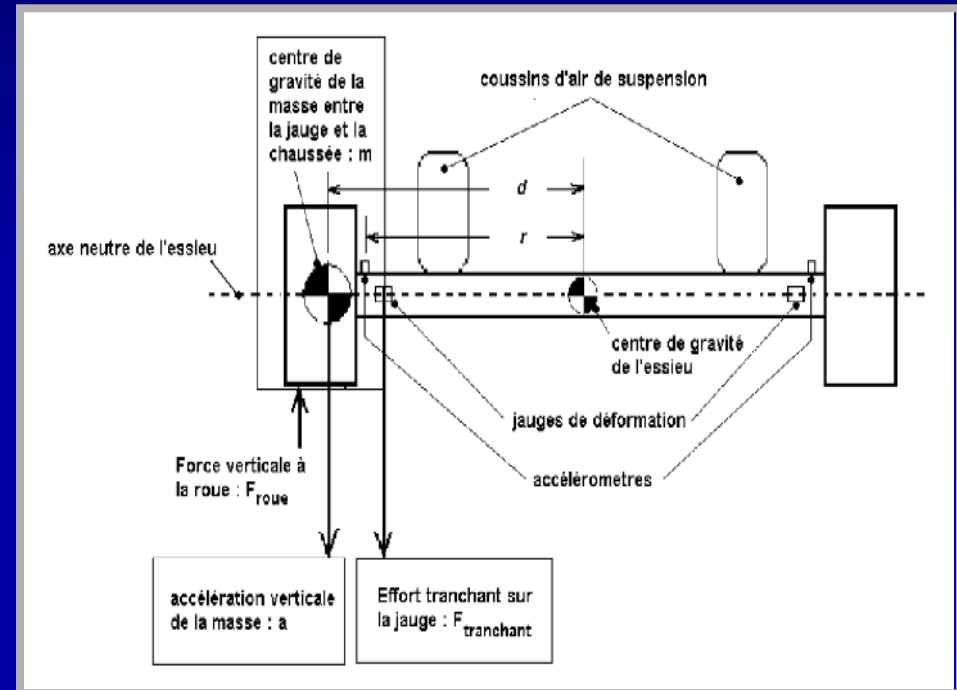
Coûteuse,
Difficulté d'installation et d'étalonnage
Dérive de température

2- Instrumentation des essieux

- L'essieu est assimilé à une poutre
- Mesure de l'effort tranchant
- Formule établie par Woodrooffe et al. (1986)

$$F_{roue} = F_{tranchant} + m a$$

- Faible rapport signal/bruit
- Corrélations des forces latérales avec la déformation mesurée



Utilisable uniquement en ligne droite et vitesse constante

Complexité d'installation et d'étalonnage

3- Écrasement du pneumatique

- Méthode de mesure de l'écrasement à l'aide d'un laser
- La force d'impact verticale est proportionnelle à l'écrasement
- Limitations
 - Concentricité : placer le capteur exactement au centre de la roue
 - Effet du profil de la chaussée : irrégularités considérées comme écrasement du pneu
- Précision entre 10 à 15%



Solution proposée

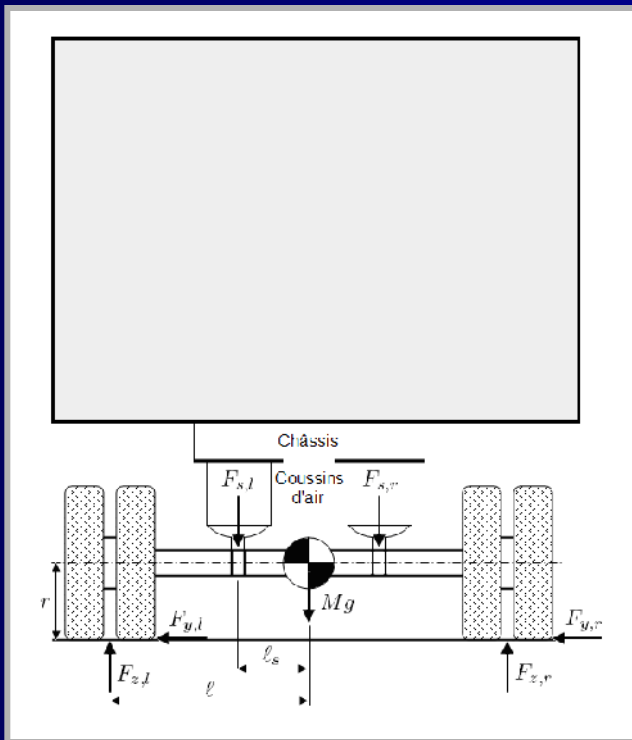
- ✓ Reconstitution des forces d'impact dans tous les scénarios de conduite : ligne droite et virage
- ✓ Simple de mise en œuvre et à étalonner
- ✓ Une solution optimale en capteurs et utiliser des capteurs à bas coût
- ✓ Exploiter les mesures en embarqué, déjà existants, de la force d'impact pour développer des systèmes d'alerte et de contrôle actif

Démarche

- √ développement du modèle
 - modèle de dynamique d'essieu (plan de roulis)
 - modèle de dynamique de châssis (plan de lacet)
- √ validation sous simulateur prosper/callas
- √ choix optimal des capteurs
 - mesures issues du bus CAN du véhicule
 - introduction de la différentiation numérique
- √ estimation des forces d'impact
 - inversion explicite ou implicite
- √ validation sur plateforme
- √ stabilisation des forces d'impact par contrôle actif

Modélisation

- Représentation sur le plan vertical d'un essieu de poids lourd



Dynamique de l'essieu régie par les :

- Forces latérales
- Forces de suspension
- Forces verticales

Modèle dynamique d'essieu

$$F_{zg} + F_{zd} = F_{sg} + F_{sd} + M_e \cdot g + M_e \cdot a$$

$$F_{zg} \cdot \ell + F_{sd} \cdot \ell_s = F_{zd} \cdot \ell + F_{sg} \cdot \ell_s + F_y \cdot r + I_e \cdot a_\varphi$$

Validation du modèle d'essieu sous simulateur
Prosper sur un profil de chaussée de la RN 10

Estimation des forces d'impact

✓ Le modèle de dynamique d'essieu proposé est valide

Conclusion : si les forces de suspension et les forces latérales sont connues alors les forces verticales peuvent être estimées

Problématique de départ

Estimation des forces verticales

Sous Problème I.

Estimation des forces de
suspension appliquées à
l'essieu

+

Sous problème II.

Estimation des forces
latérales appliquées à l'essieu

Estimation des forces d'impact

Problématique 1 : Mesurer les forces de suspension?

On mesure la force de suspension dynamique à partir :

- du débattement de la suspension mesurée par LVDT
- d'un capteur de pression du coussin de suspension

Références :

- Projet : Test de suspensions peu agressives

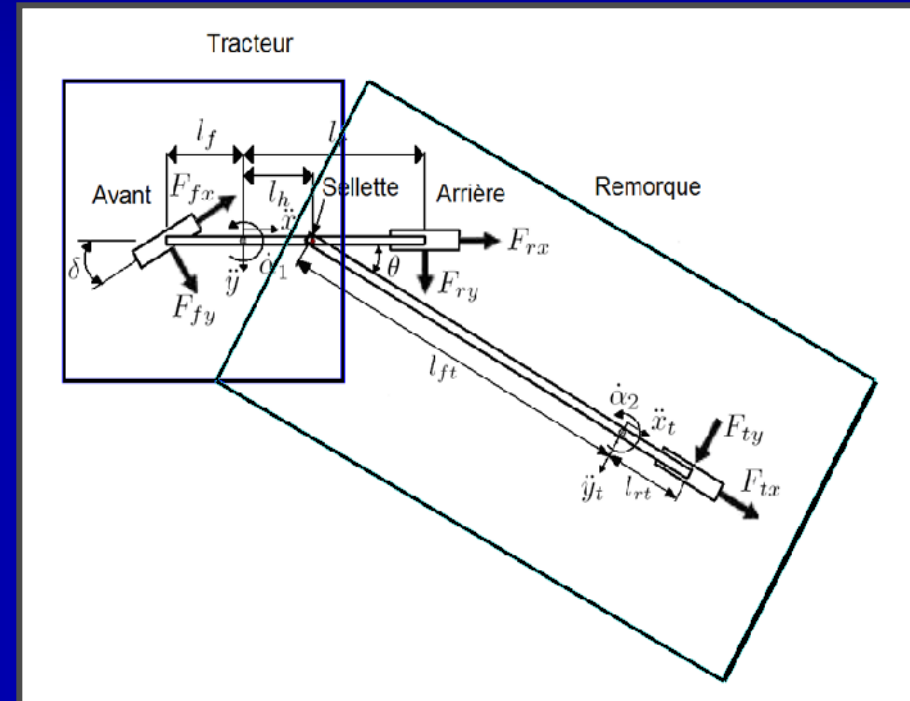
Mainroads et Queensland university of technology, Australie.

- Projet DIVINE/OCDE (dynamic interaction between vehicles and infrastructure experiment)

Estimation des forces d'impact

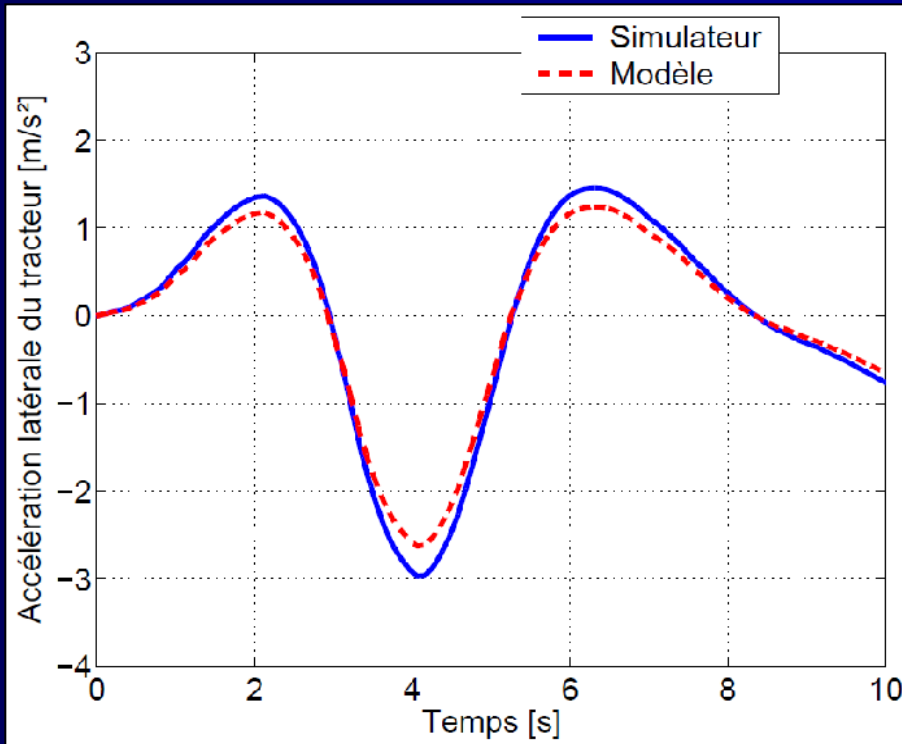
Problématique 2 : Estimer les forces latérales appliquées à l'essieu?

- ✓ Modélisation de la dynamique dans le plan de lacet
- ✓ Véhicule articulé : tracteur semi-remorque
- ✓ Essieu équivalent pour le groupe d'essieu à la remorque
- ✓ Forces en entrée
Vitesse et accélération en sortie

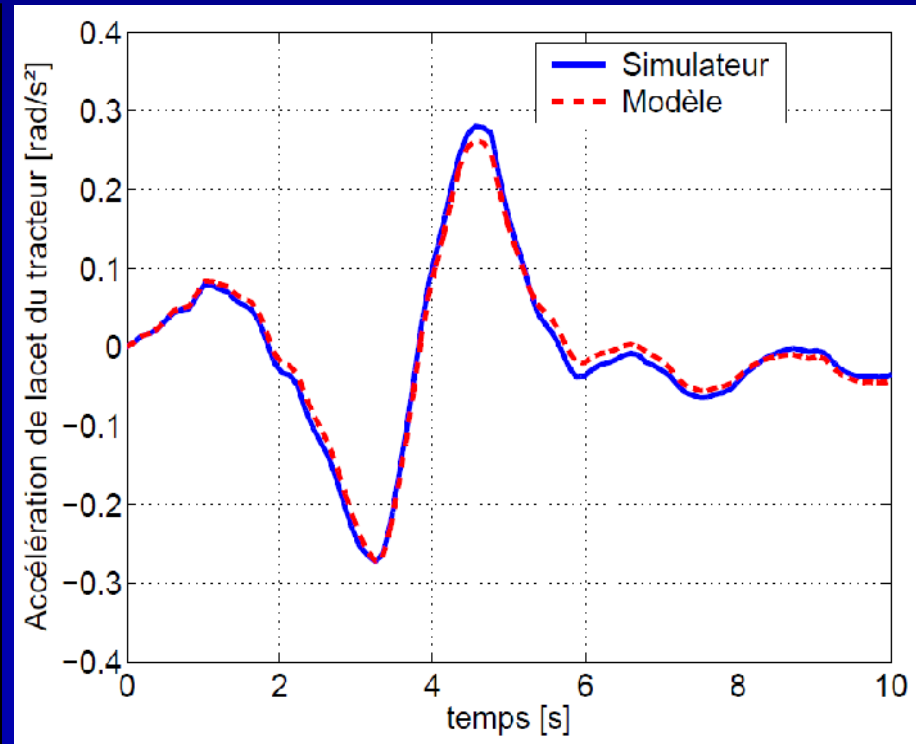


Validation du modèle de lacet sous simulateur Prosper

- accélérations latérale et de lacet pour le tracteur



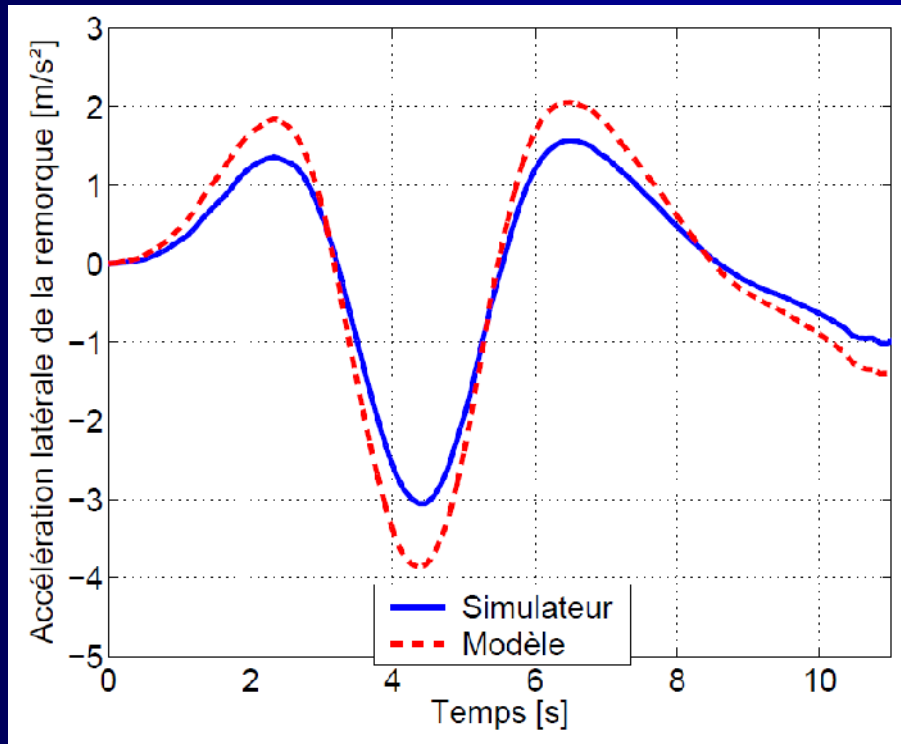
Accélération latérale du tracteur



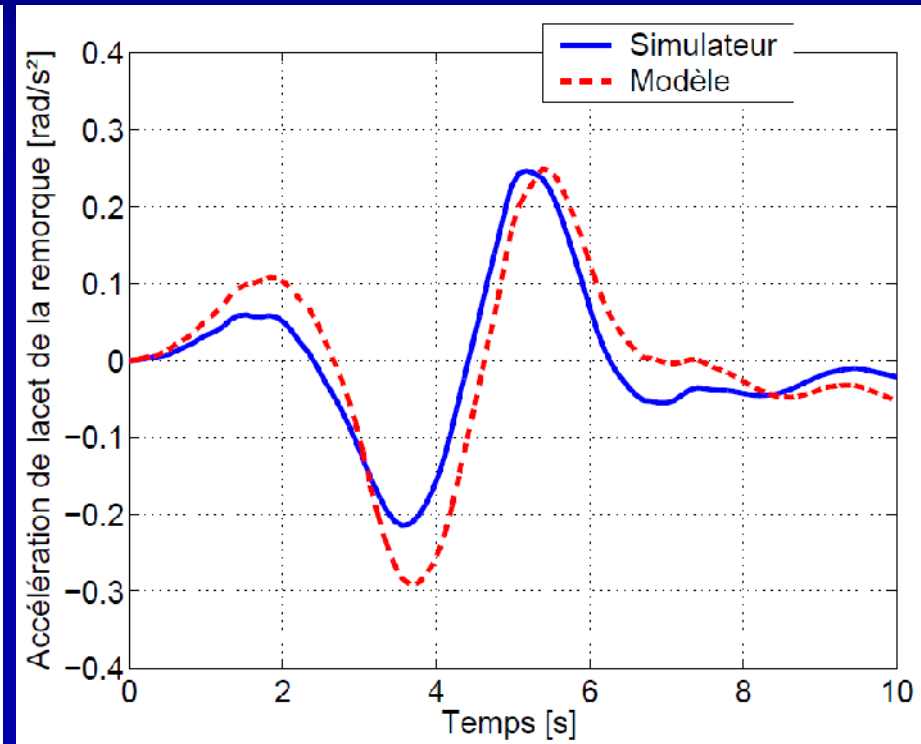
Accélération de lacet du tracteur

Validation du modèle de lacet sous simulateur Prosper

- accélérations latérales et de lacet pour la remorque



Accélération latérale de la remorque



Accélération de lacet de la remorque

- Méthode 1 :
Estimation par inversion explicite de
modèle

Méthode 1 : Estimation par inversion explicite du modèle

✓ Modèle dynamique

$$\dot{X}_v = Bu + W_1(u)u_F$$

✓ Entrée connues (couples, braquage et lacet relatif)

$$u = \begin{bmatrix} T_{fw} & T_{rw} & T_{tw} & \delta & \theta \end{bmatrix}^T$$

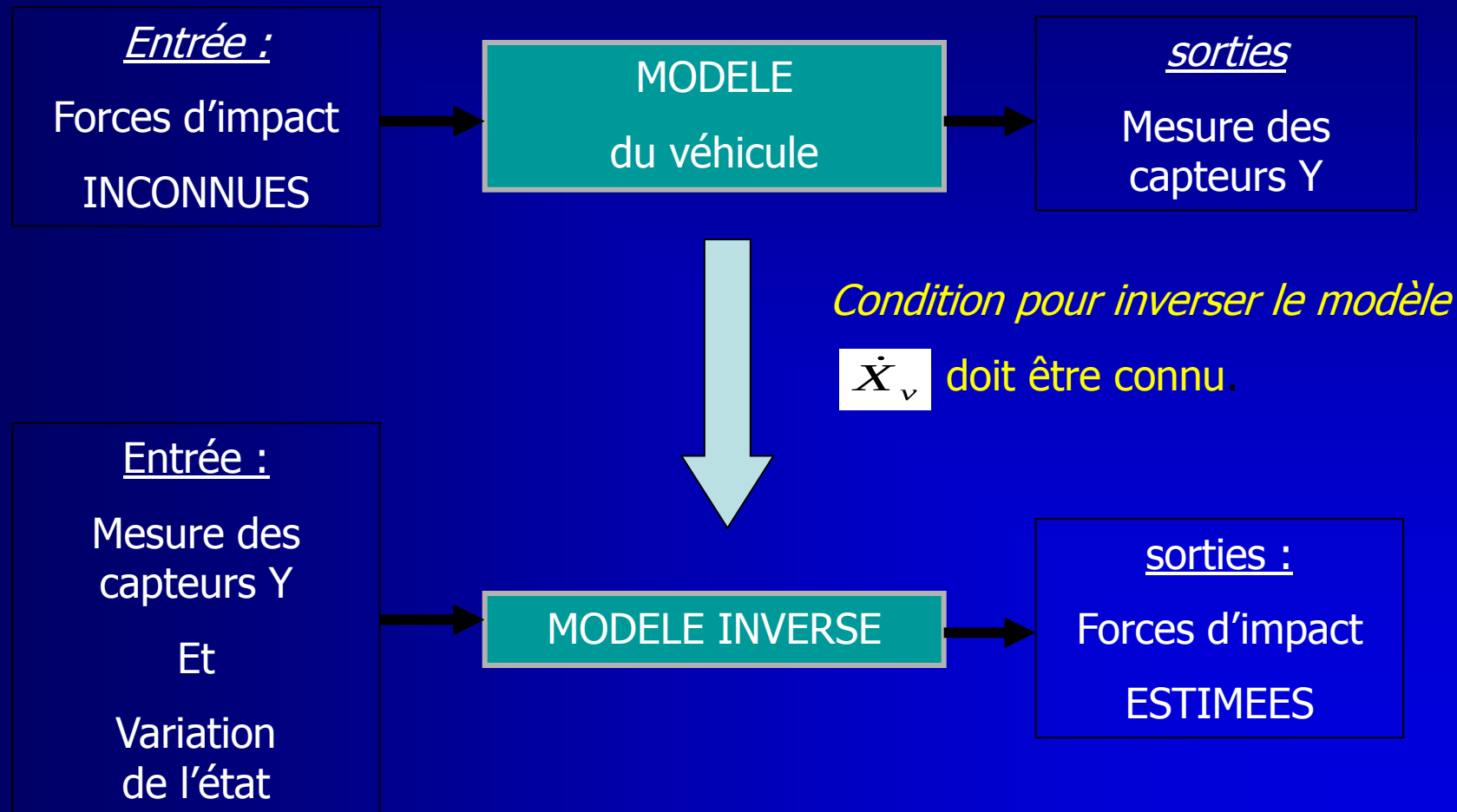
✓ Vecteur sortie (vitesses de lacet et accélérations longitudinales et latérales issues du bus CAN)

$$\begin{cases} Y_1 = X_v \\ Y_2 = W_2(u)u_F \end{cases}$$

✓ Entrées inconnues (forces) à estimer

$$u_F = \begin{bmatrix} F_{fx} & F_{rx} & F_{tx} & F_{fy} & F_{ry} & F_{ty} & X_h & Y_h \end{bmatrix}^T$$

Méthode 1 : Estimation par inversion explicite du modèle



Méthode 1 : Estimation par inversion explicite du modèle

✓ Modèle d'état peut être écrit sous la forme

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_v - Bu \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1(u) \\ W_2(u) \end{bmatrix} u_F$$

✓ Deux conditions pour estimer l'entrée inconnue :

1- La matrice $\begin{bmatrix} W_1(u) \\ W_2(u) \end{bmatrix}$ est de rang plein

2- $\dot{X}_v$ calculé connaissant $Y_1 = X_v$

⇒ on utilise un **différentiateur exact**

Méthode 1 : Estimation par inversion explicite du modèle

- ✓ X_v est mesuré (bus CAN du véhicule)
- ✓ $\dot{X}_v$ est estimé par un différentiateur exact
- ✓ Différentiateur exact à modes glissants

$$\begin{cases} \dot{\hat{X}}_{v,i} = Z_i + \lambda_i \left| \tilde{X}_{v,i} \right|^{\frac{1}{2}} \text{sign}(\tilde{X}_{v,i}) \\ \dot{Z}_i = \alpha_i \text{sign}(\tilde{X}_{v,i}) \end{cases}$$

1. Robustesse

2. Convergence en temps fini

- ✓ Conditions de convergence

α et λ matrices diagonales définies positives

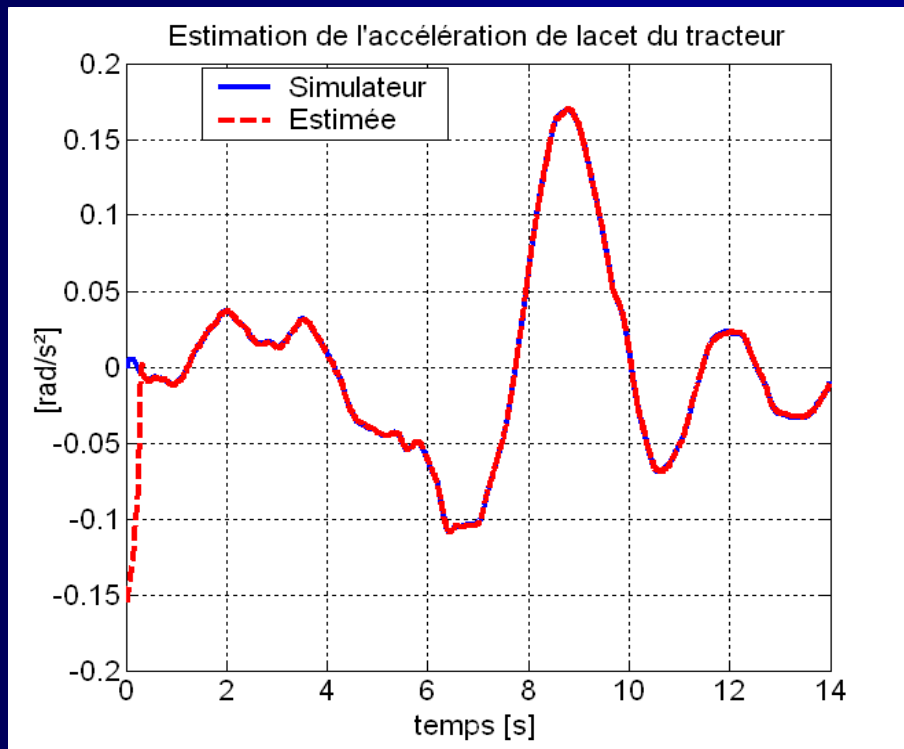
$$\alpha_i > \sigma_i$$

et

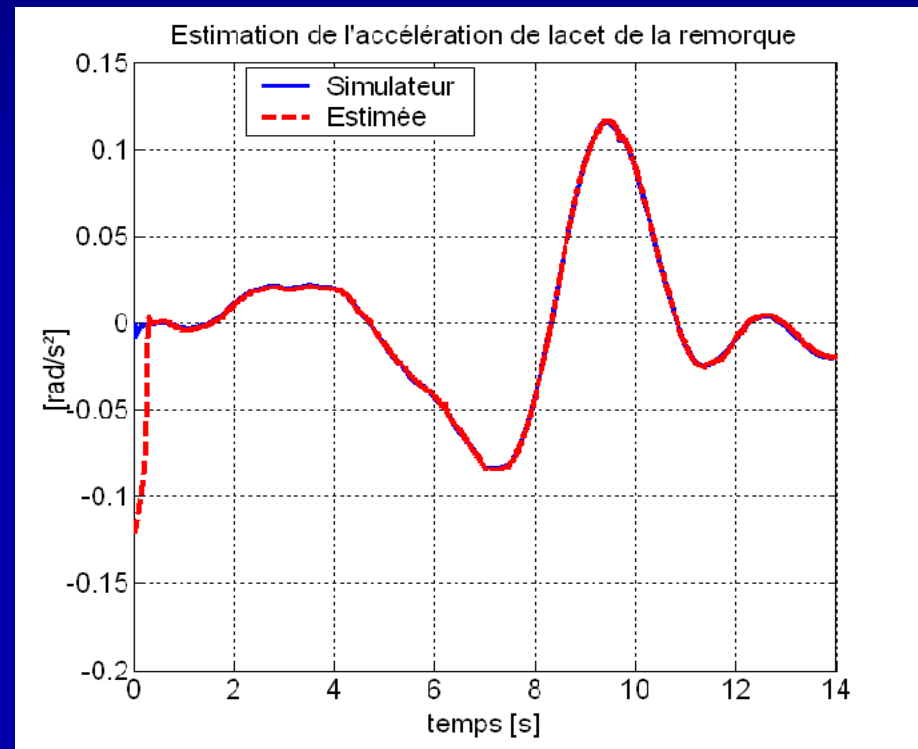
$$\lambda_i > (\alpha_i + \sigma_i) \sqrt{\frac{2}{\alpha_i - \sigma_i}}$$

Méthode 1 : Résultats d'estimation

Estimation des accélérations de lacet à partir des vitesses



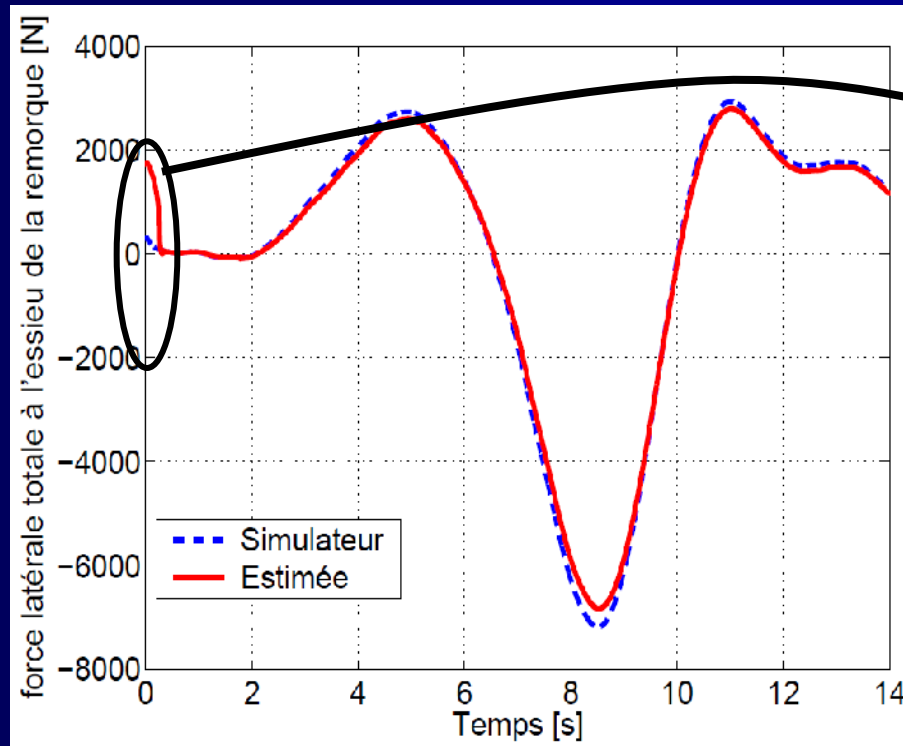
Accélération de lacet : tracteur



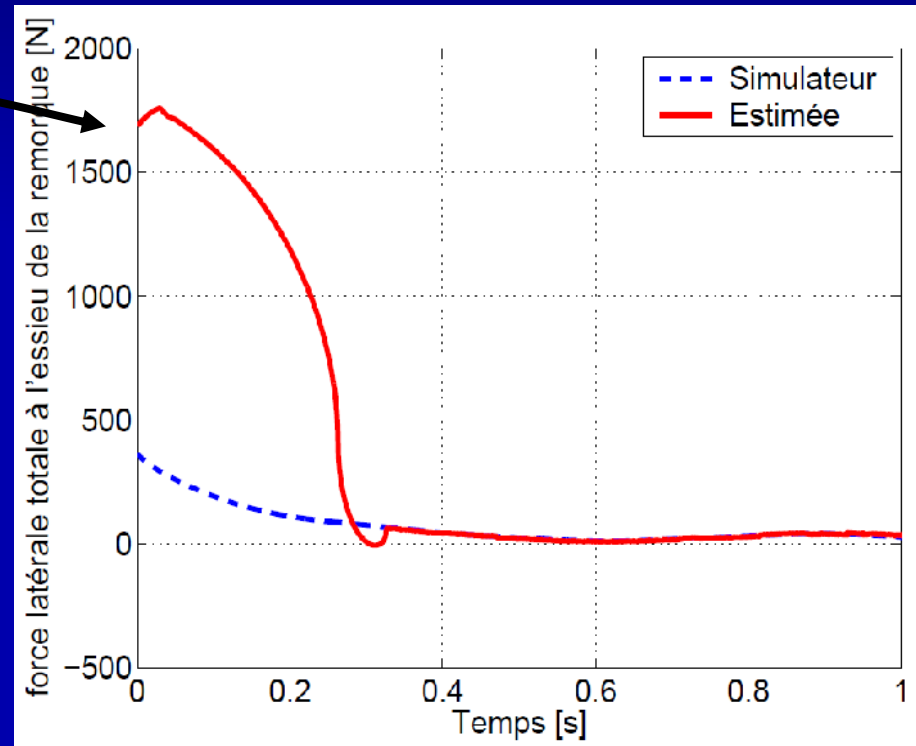
Accélération de lacet : remorque

Méthode 1 : Résultats d'estimation

Estimation de la force latérale totale appliquée à l'essieu équivalent de la remorque



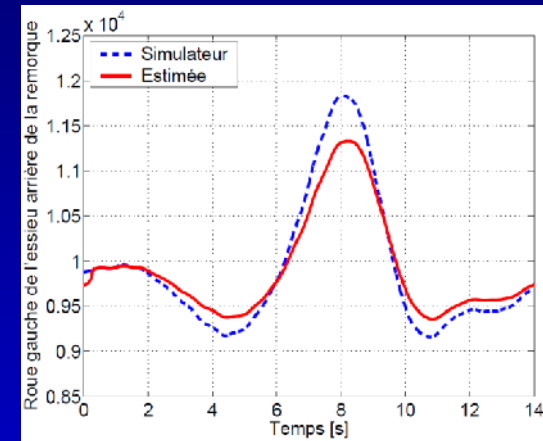
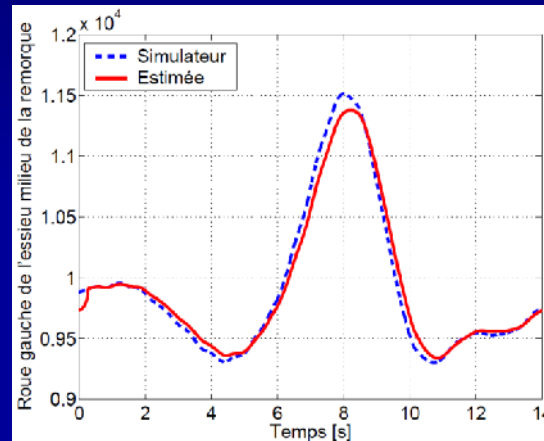
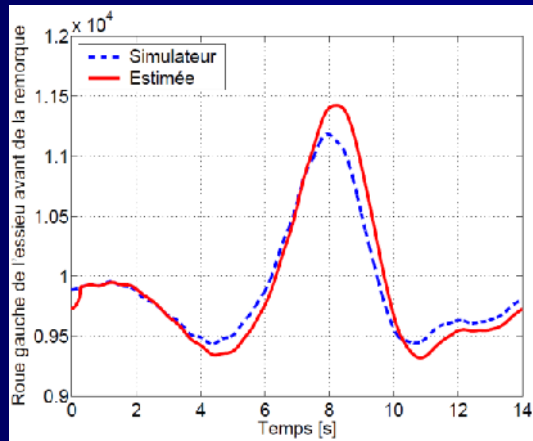
Force latérale remorque estimée



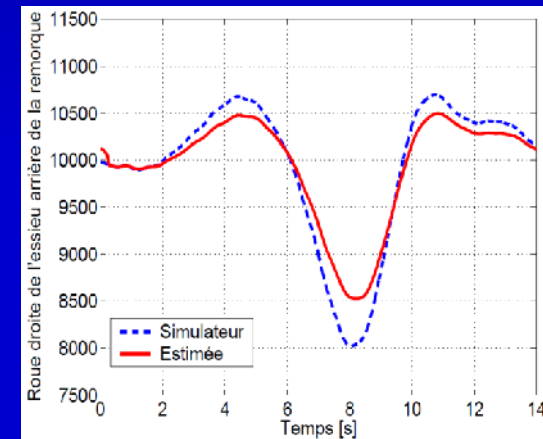
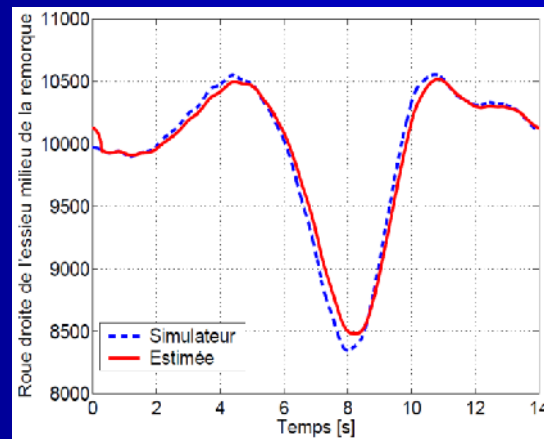
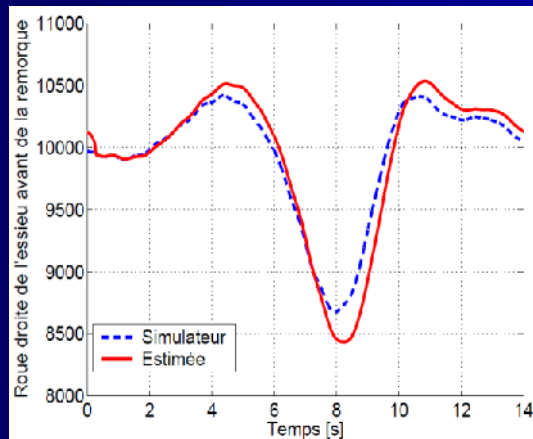
Zoom : force latérale remorque estimée

Méthode 1 : Estimation des forces verticales de la remorque

gauche



droite



Essieu avant

Essieu milieu

Essieu arrière

Méthode 1 : Estimation par inversion explicite du modèle - Bilan

- ✓ L'inversion explicite du modèle permet de reconstituer les forces d'impact verticales
- ✓ **Inconvénient** : suivant les paramètres du véhicule, on peut avoir un problème d'inversion matricielle (matrice mal conditionnée)
- ✓ **Amélioration** : utilisation d'une inversion implicite du modèle

- Méthode 2 :
Estimation par inversion implicite

Méthode 2 : Estimation par inversion implicite du modèle

✓ Modification du modèle d'état :

$$\dot{X}_v = Bu + W_1(u)u_F$$



$$\begin{cases} X_1 = X_v \\ u_F = X_2 \\ \dot{u}_F = \mu \end{cases}$$

✓ Nouvelle forme du modèle d'état :

$$\begin{cases} \dot{X}_1 = Bu + W_1(u)X_2 \\ \dot{X}_2 = \mu \end{cases}$$

✓ Le vecteur d'entrées inconnues : μ

✓ Vecteur de sortie :

$$\begin{cases} Y_1 = X_1 \\ Y_2 = W_2(u)X_2 \end{cases}$$

Méthode 2 : Estimation par inversion implicite du modèle

✓ Estimation en deux étapes

- **Etape 1** : estimation de $W_1(u)X_2$ par différentiation exacte



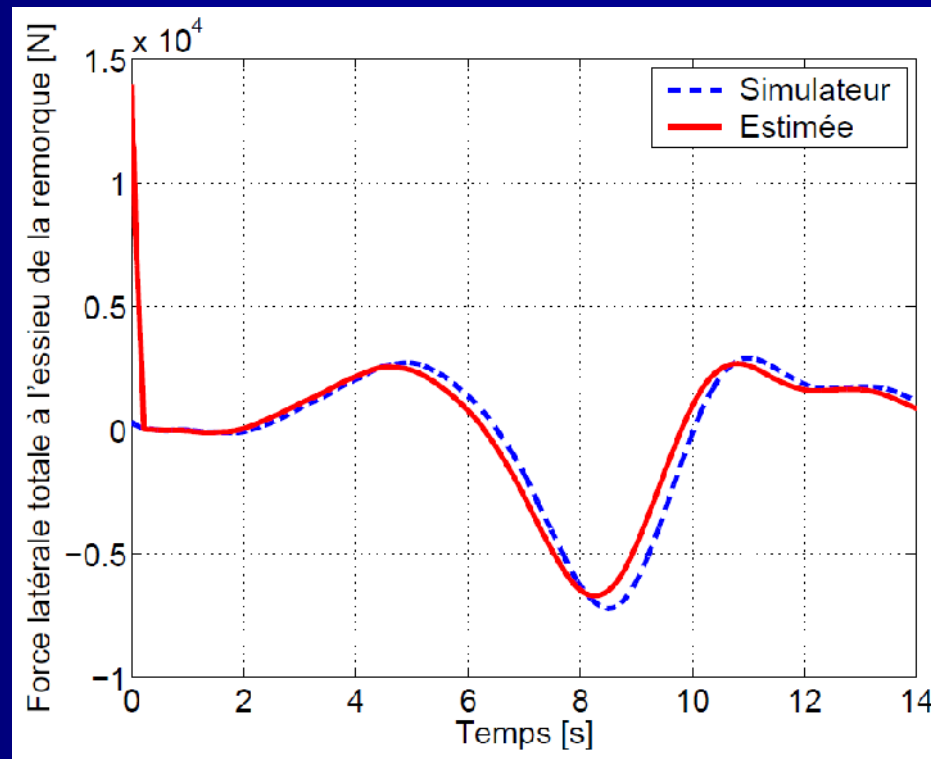
- **Etape 2** : utilisation de la partie estimée en étape 1 pour reconstruire le vecteur des forces X_2 à l'aide d'un observateur glissant

$$\dot{\hat{X}}_2 = \hat{\mu} + K(u) \operatorname{sign}(W(u)\tilde{X}_2)$$

- Gain variable de l'observateur $K(u) = W^T(u) K$

Méthode 2 : Résultats d'estimation

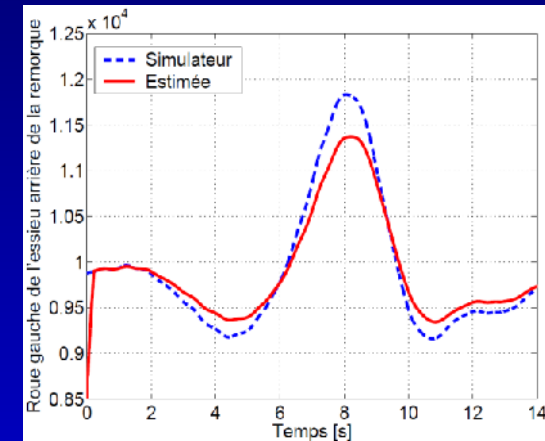
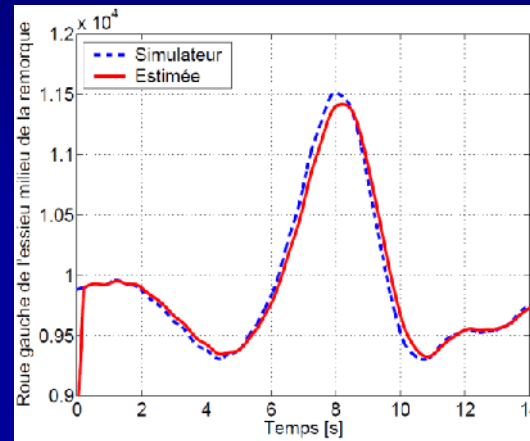
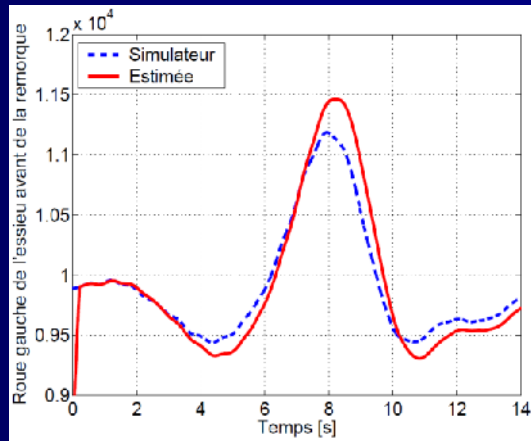
Estimation de la force latérale totale appliqué à l'essieu équivalent de la remorque



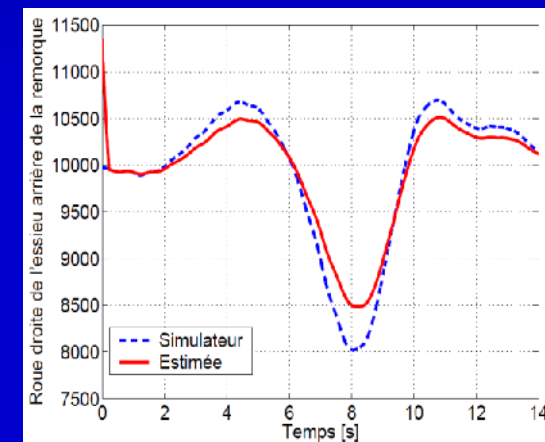
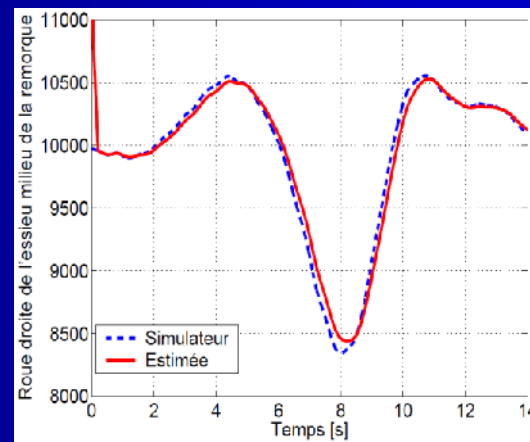
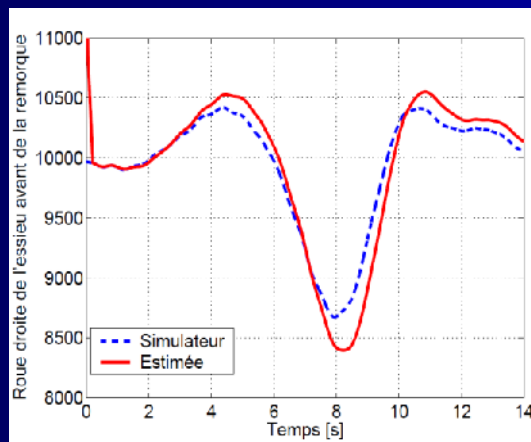
Force latérale remorque estimée

Méthode 2 : Résultats d'estimation des forces verticales de la remorque

gauche



droite



Essieu avant

Essieu milieu

Essieu arrière

Méthode 2 : Estimation par inversion implicite du modèle - bilan

- ✓ L'inversion implicite du modèle permet de reconstituer les forces d'impact verticales
- ✓ Avantage : Problème de singularité résolu
- ✓ L'écart avec simulateur inférieur à 10%

Résultats expérimentaux

Expérimentation - dispositif

- ✓ Equipement de l'Australian Road Research Board (ARRB)
- ✓ Essais faits sur l'ALF (Accelerated Load Facility)



Expérimentation - dispositif

- ✓ Système équipé d'une suspension instrumentée équivalente à celle d'un camion
- ✓ Jauges de déformation sur l'essieu
- ✓ LVDT : débattement de la suspension
- ✓ Pression des coussins d'air
- ✓ Accélération verticale des roues



Expérimentation - tests

- ✓ Plusieurs passages ont été faits
- ✓ Tests à 10, 15 et 20 km/h
- ✓ Uni non modifié
- ✓ Uni modifié (planches sur la chaussée)
- ✓ Test avec la même charge statique (40kN) répartie sur les roues avant et arrière



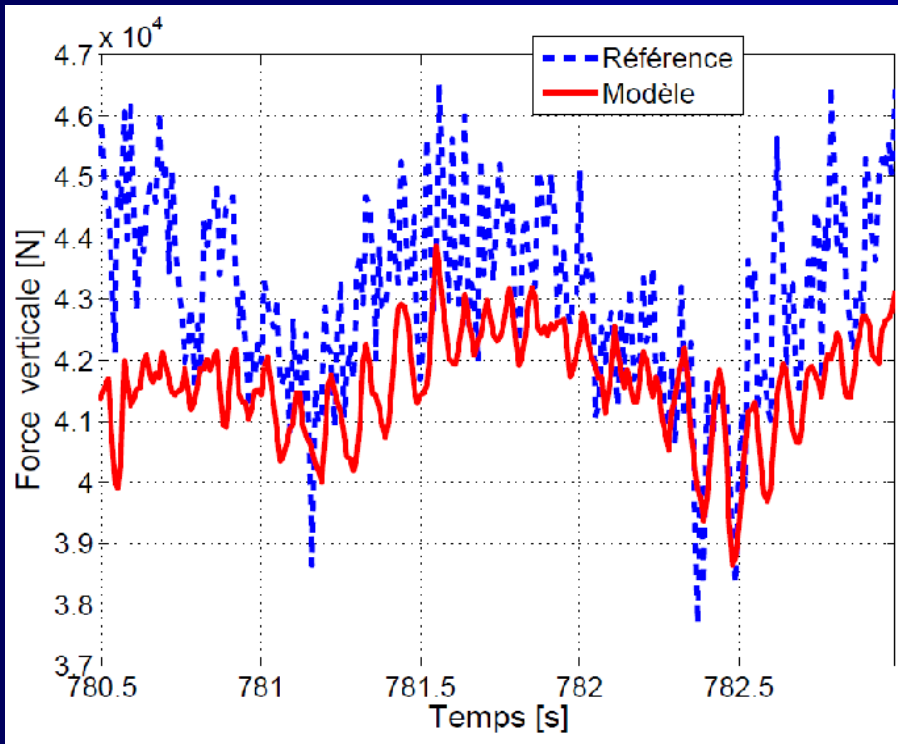
✓ Estimation des forces d'impact à partir de deux mesures :

- 1- Par débattement de suspension : utilisation du différentiateur exact et modèle d'essieu
- 2- Par mesure de la pression du coussin d'air et modèle d'essieu

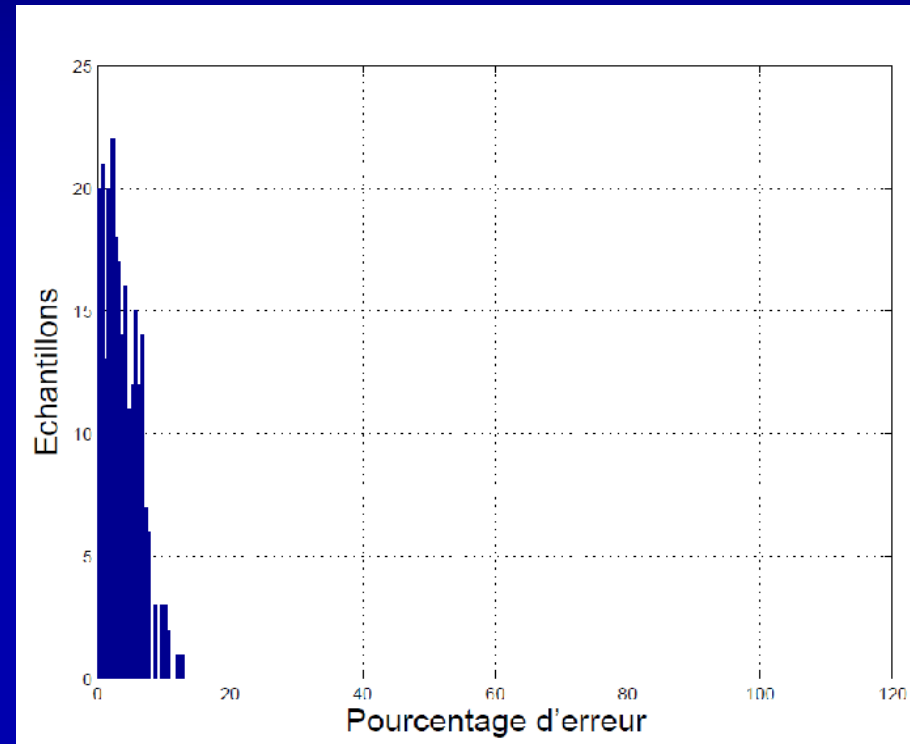
Résultats d'expérimentation

Passage sur profil de chaussée non modifié

Estimation par mesure de pression des coussins



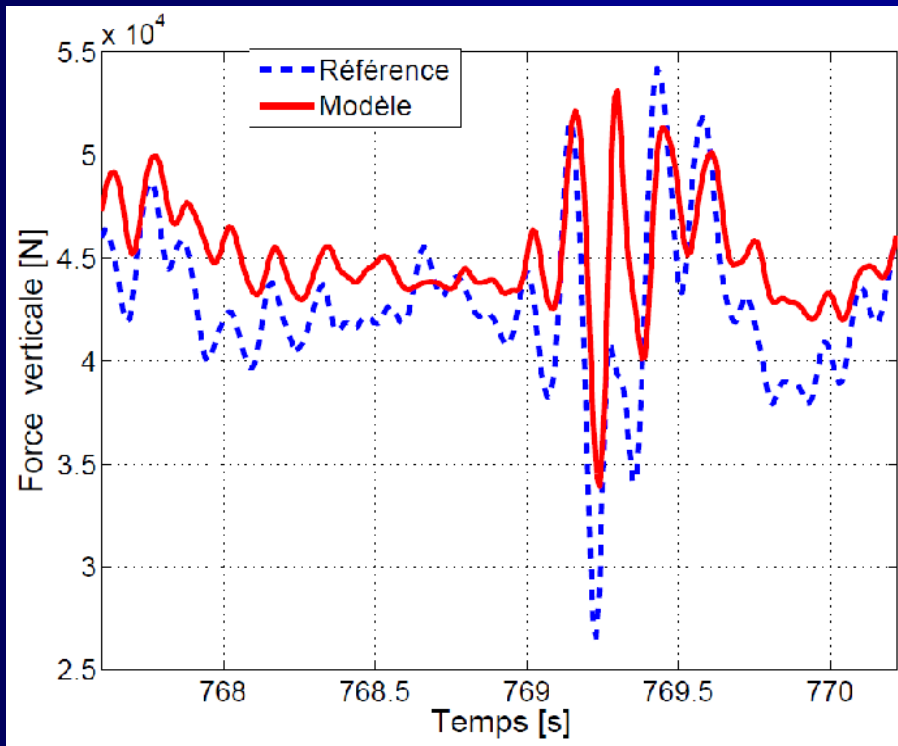
Forces d'impact verticales



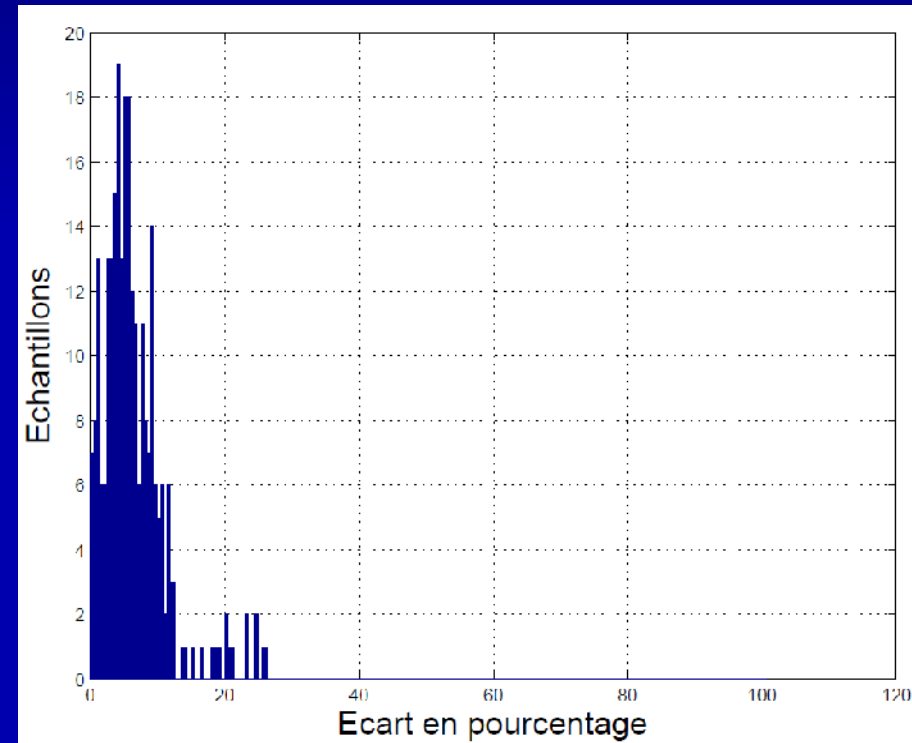
Distribution de l'écart (en %)

Résultats d'expérimentation

Passage sur profil de chaussée avec échelon
Estimation par mesure de pression des coussins



Forces d'impact verticales

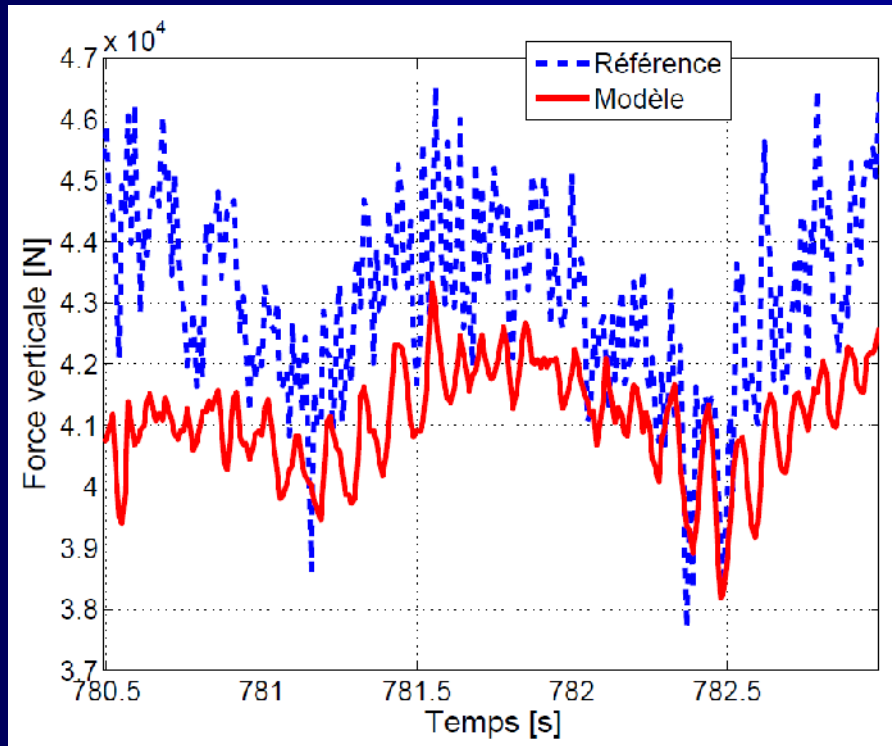


Distribution de l'écart (en %)

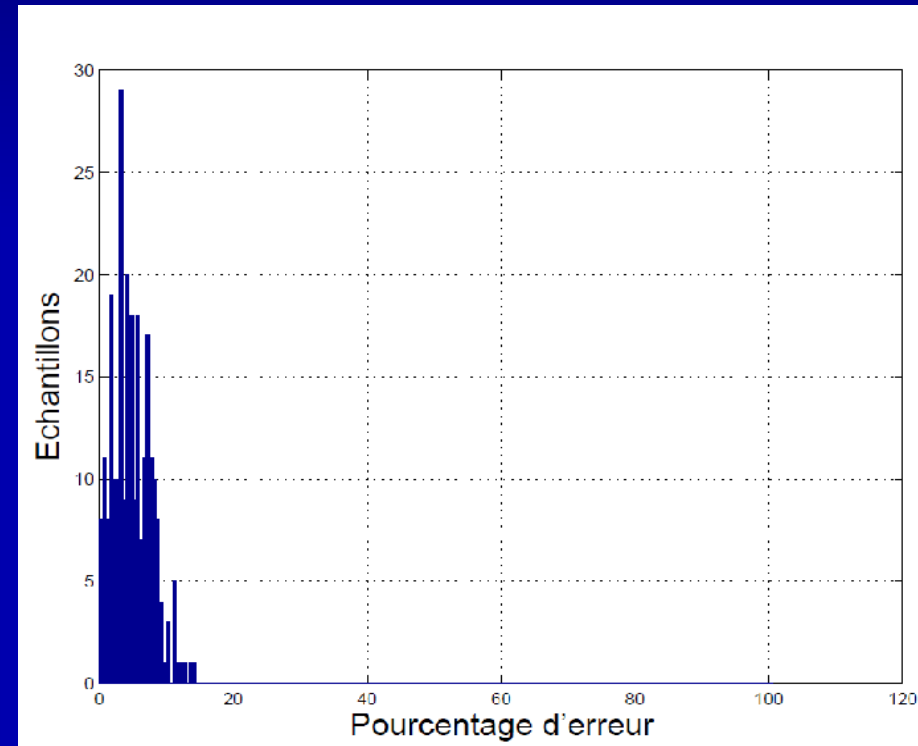
Résultats d'expérimentation

Passage sur profil de chaussée non modifié

Estimation par mesure LVDT



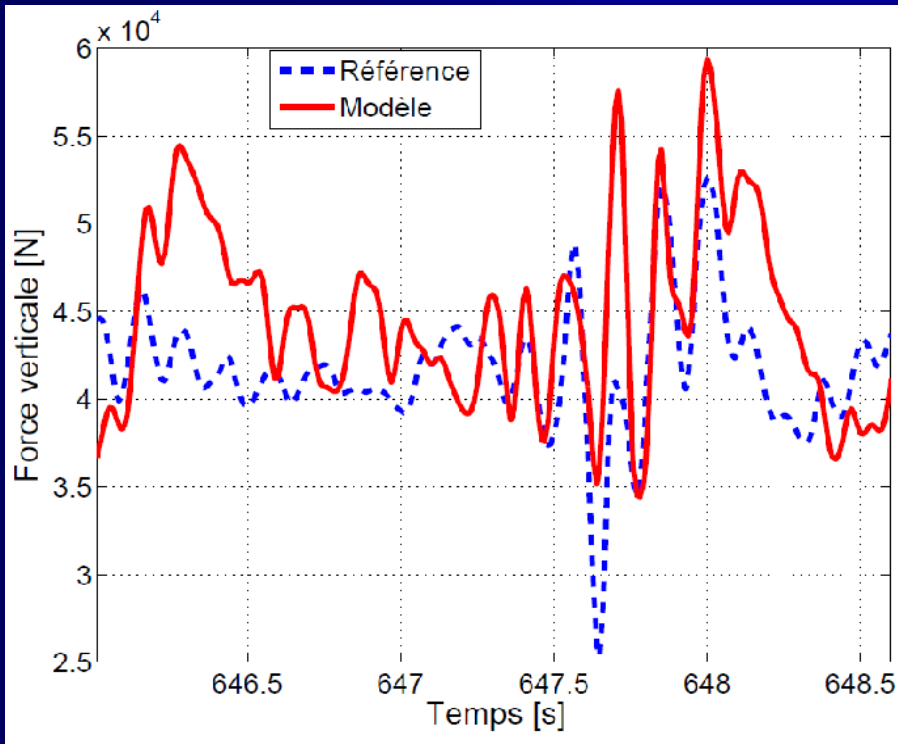
Forces d'impact verticales



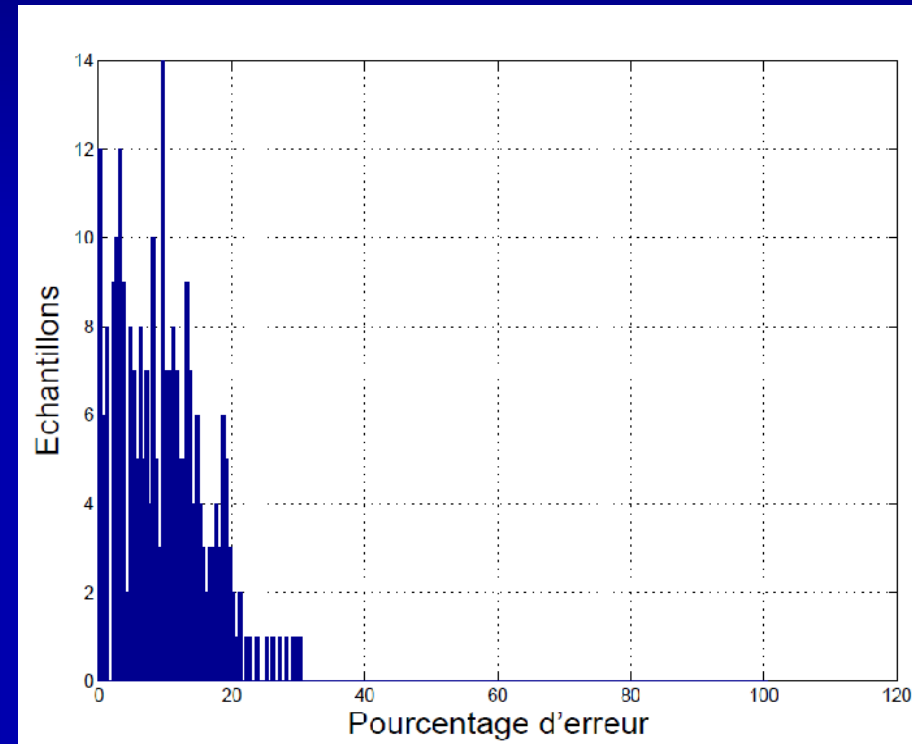
Distribution de l'écart (en %)

Résultats d'expérimentation

Passage sur profil de chaussée avec échelon
Estimation par mesure LVDT



Forces d'impact verticales



Distribution de l'écart (en %)

Résultats d'expérimentation - bilan

- Les allures des forces d'impact issues des mesures de jauges et des méthodes d'estimation sont similaires
- La moyenne de l'écart entre les mesures de jauges et des méthode d'estimation est autour de 10%
- Le modèle proposé est valide pour une future instrumentation de poids lourd
- Première validation en vue de futurs tests sur véhicule instrumenté

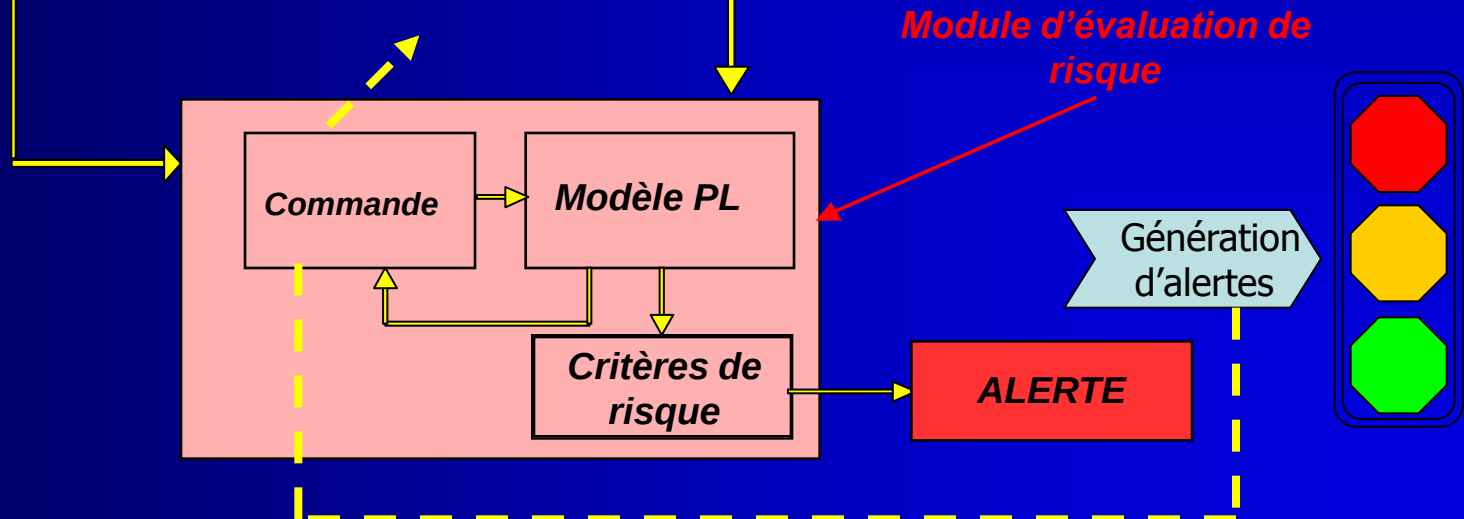
- **Cas d'application :**

1. Génération de signal d'alarme
2. Braquage actif

Application 1 : Système d'alerte



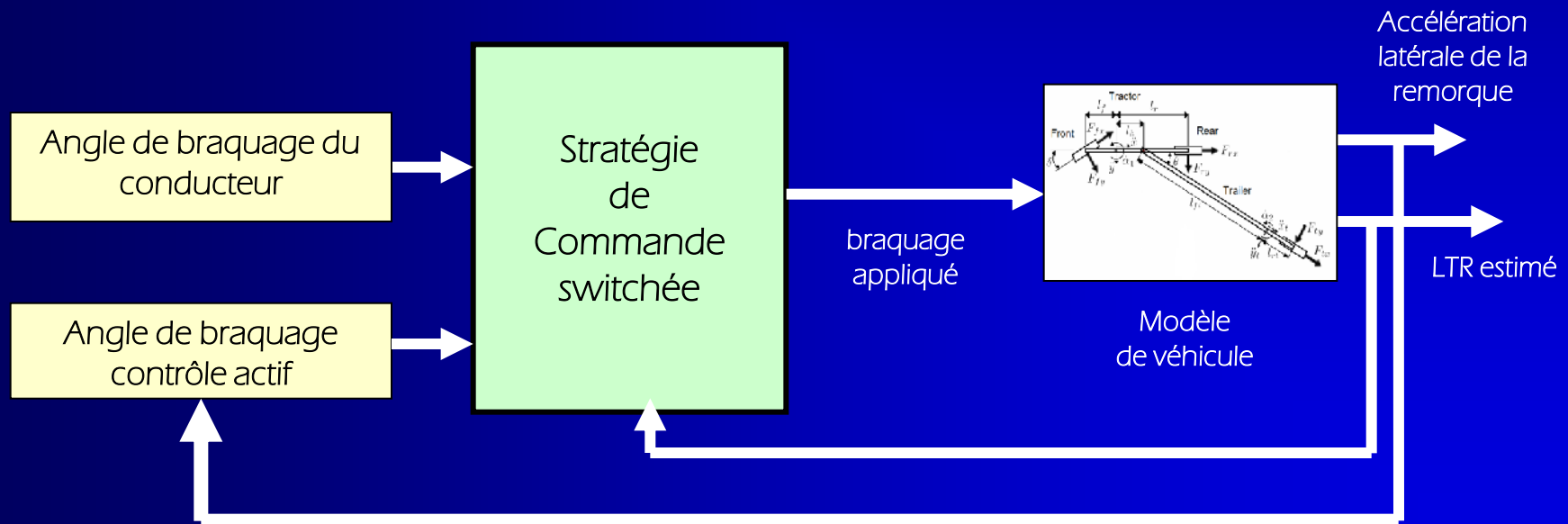
Estimation :
Force d'impact



Application 2 : commande par braquage actif

Principe : Dès qu'un cas imminent de renversement est détecté (à partir du LTR), une alerte est donnée au conducteur et le système de commande est activé sur l'angle de braquage

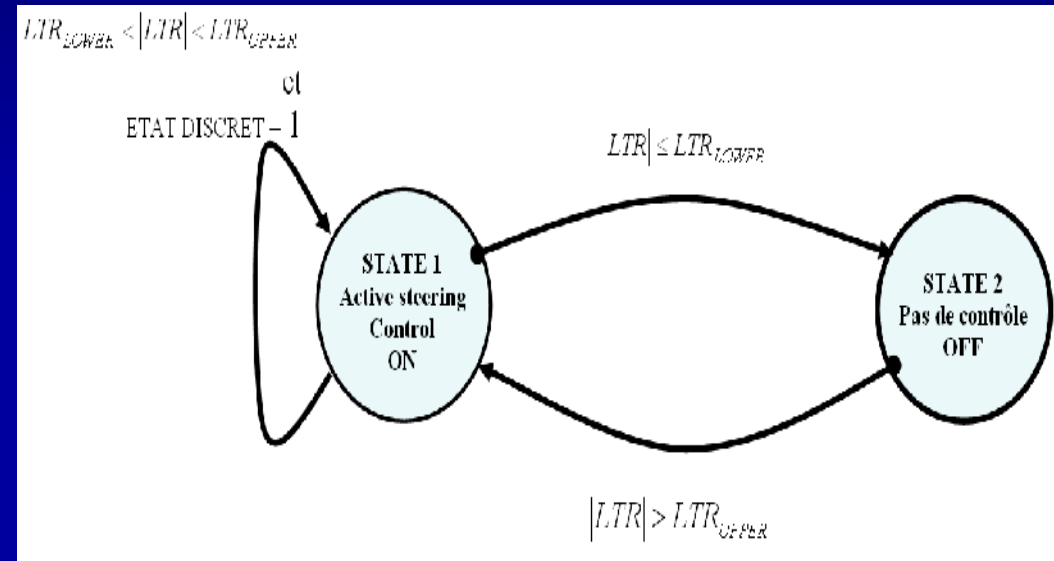
Utilisation d'une boucle de commande :



Application 2 : commande par braquage actif

- Coefficient de renversement
(Load Transfer Ratio)

$$LTR = \frac{F_{z,R} - F_{z,L}}{F_{z,R} + F_{z,L}}$$



Architecture de commande hybride

Lorsque le PL est à l'équilibre : $|LTR| \sim 0$
 et proche du renversement : $|LTR| \sim 1$

Conclusion générale & Perspectives

- ✓ Une méthode de pesage embarqué sur poids est développée
- ✓ Une méthode d'estimation par inversion explicite est développée et validée sous simulateur Prosper
- ✓ Une méthode d'estimation par inversion implicite par observateur à gain variable est validée sous prosper
- ✓ Des tests expérimentaux sont réalisés permettant de tester le modèle en ligne droite ainsi que la méthode d'estimation
- ✓ Une architecture de commande hybride est proposée pour l'assistance du conducteur
- ✓ Développement de systèmes de contrôle actif par méthode hybride

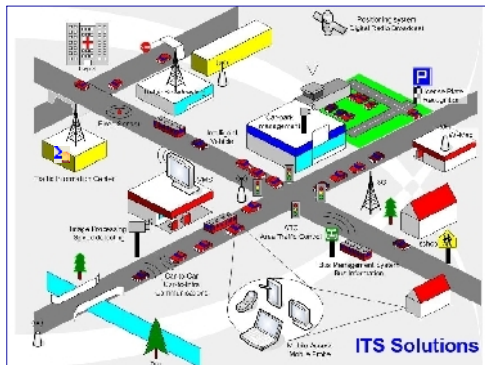
Merci beaucoup pour votre attention

Wissam KHALIL

B. OULD BOUAMAMA
R. MERZOUKI
H. HAFFAF

LAGIS

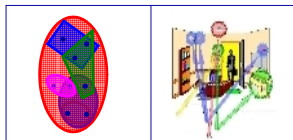
08 décembre 2010



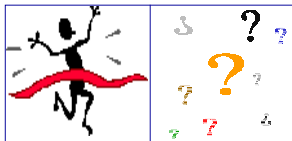
Plan



Introduction



Modèle de supervision



Conclusion

Contexte

Modèle de supervision : assurer le bon fonctionnement du système

- Collecter les informations ;
- Analyser les informations ;
- Prendre la décision.



► Modèle structurel

- Graphe de liaisons (Bond graphs) [[A.K. Samantaray, and B. Ould-Bouamama. *Model-based Process Supervision, A Bond graph Approach*. Springer, 2008](#)];
- Graphe biparti [[M. Blanke, M. Kinnaert, J. Lunze, and M. Staroswiecki. *Diagnosis and Fault-Tolerant Control*. Springer, 2006](#)].

► Modèle structurel

- Graphe de liaisons (Bond graphs) [A.K. Samantaray, and B. Ould-Bouamama. *Model-based Process Supervision, A Bond graph Approach*. Springer, 2008] ;
- Graphe biparti [M. Blanke, M. Kinnaert, J. Lunze, and M. Staroswiecki. *Diagnosis and Fault-Tolerant Control*. Springer, 2006].

► Modèle qualitatif

- Graphe causal temporel [P.J. Mosterman, and G. Biswas. *Diagnosis of continuous valued systems in transient operating regions*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 29(6), pp.554-565, 1999] ;
- Graphe orienté signé [M.R. Maurya, R. Rengaswamy, and V. Venkatasubramanian. *A signed directed graph and qualitative trend analysis-based framework for incipient fault diagnosis*. Chemical Engineering Research and Design, 85(10), pp.1407-1422, 2007].

Objectif

Un formalisme basé sur le modèle hypergraphe pour la supervision d'un train de véhicules intelligents autonomes (VIA).

Objectif

Un formalisme basé sur le modèle hypergraphe pour la supervision d'un train de véhicules intelligents autonomes (VIA).

- Algorithme de diagnostic ;

Objectif

Un formalisme basé sur le modèle hypergraphe pour la supervision d'un train de véhicules intelligents autonomes (VIA).

- Algorithme de diagnostic ;
- Phase de décision.

Problèmes de satisfaction des contraintes

$$\mathcal{W} = \langle \mathcal{X}, \mathcal{D}, \mathcal{C} \rangle$$

$$\mathcal{X} = \{x_i; 1 \leq i \leq n\};$$

$$\mathcal{D} = \{D(x_i); 1 \leq i \leq n\};$$

$$\mathcal{C} = \{C_j; 1 \leq j \leq m\}$$

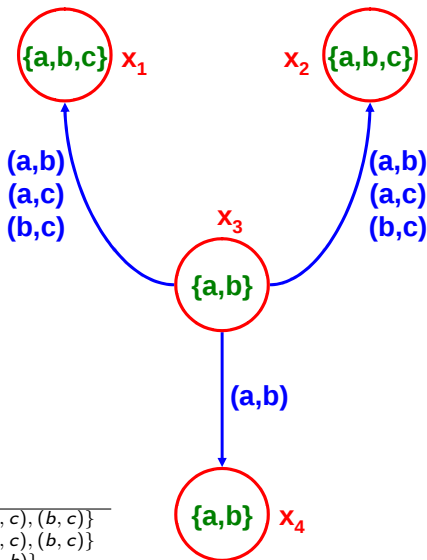
$$C_j(X_j) \subseteq \Delta_j,$$

avec $X_j = (x_{j1}, \dots, x_{j\ell_j})$ et

$$\Delta_j = D(x_{j1}) \times \dots \times D(x_{j\ell_j}).$$

$\mathcal{X}$	$\mathcal{D}$
x_1	$\{a, b, c\}$
x_2	$\{a, b, c\}$
x_3	$\{a, b\}$
x_4	$\{a, b\}$

$\mathcal{C}$	$\mathcal{X}$	Δ
$C_1 = (X_1, \Delta_1)$	$X_1 = (x_3, x_1)$	$\Delta_1 = \{(a, b), (a, c), (b, c)\}$
$C_2 = (X_2, \Delta_2)$	$X_2 = (x_3, x_2)$	$\Delta_2 = \{(a, b), (a, c), (b, c)\}$
$C_3 = (X_3, \Delta_3)$	$X_3 = (x_3, x_4)$	$\Delta_3 = \{(a, b)\}$



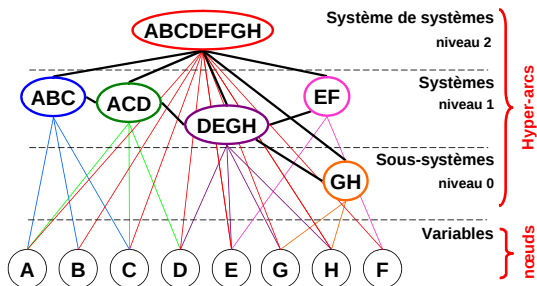
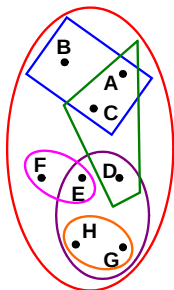
Hypergraphe

$$\mathcal{H} = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$$

$$\mathcal{V} = \{V_1, \dots, V_n\};$$

$$\mathcal{E} = \{E_1, \dots, E_m\}.$$

$$\mathcal{E} \subseteq 2^{\mathcal{V}}$$



Véhicule intelligent autonome



Partie électrique	$r_i^{j,1} = U_{0_i}^j - L_i^j \frac{dI_i^j}{dt} - R_{e_i}^j I_i^j - k_{e_i}^j \dot{\theta}_{e_i}^j$
Partie mécanique	$r_i^{j,2} = k_{e_i}^j I_i^j - J_{e_i}^j \frac{d\dot{\theta}_{e_i}^j}{dt} - f_{e_i}^j \dot{\theta}_{e_i}^j - w_i^j - K_i^j \left(\theta_{e_i}^j - N_{0_i}^j \theta_{s_i}^j \right)$
Pneu	$r_i^{j,3} = N_{0_i}^j w_i^j + N_{0_i}^j K_i^j \left(\theta_{e_i}^j - N_{0_i}^j \theta_{s_i}^j \right) - J_{s_i}^j \frac{d\dot{\theta}_{s_i}^j}{dt} - f_{s_i}^j \dot{\theta}_{s_i}^j - R_i^j F_{x_i}^j$

[R. Merzouki, M.A. Djeziri, and B. Ould-Bouamama. *Intelligent Monitoring of Electric Vehicle*. IEEE/ASME Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM2009, Singapore, pp.797-804, July 14-17, 2009]

Modèle de supervision

$$\mathcal{W} = \langle \mathcal{X}, \mathcal{D}, \mathcal{C} \rangle$$

$$\mathcal{X} = \{L_i^j, l_i^j, J_{e_i}^j, k_{e_i}^j, \dot{\theta}_{e_i}^j, J_{s_i}^j, N_{0_i}^j, \dot{\theta}_{s_i}^j, f_{e_i}^j, R_{e_i}^j, f_{s_i}^j, U_{0_i}^j, w_i^j, R_i^j, F_{x_i}^j, K_i^j\};$$

$\mathcal{D}$ Domaines associés;

$$\mathcal{C} = \{\text{résidu } r_i^{j,1}, \text{résidu } r_i^{j,2}, \text{résidu } r_i^{j,3}, \text{actionneur}_i^j, \text{VIA}_i, \text{Train de 3 VIA}\}$$

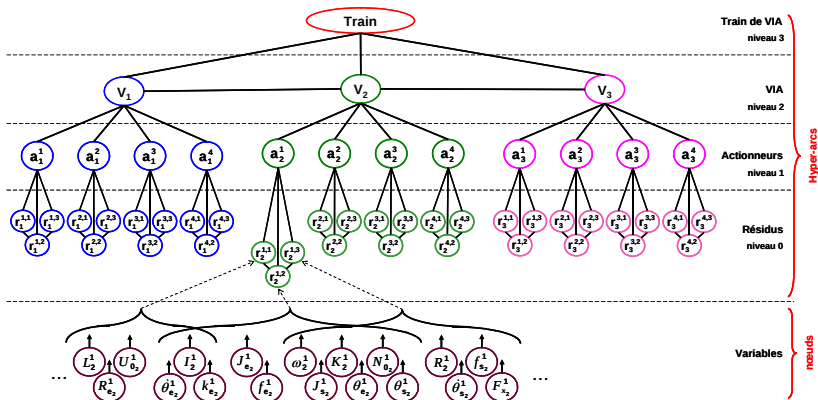
Modèle de supervision

$$\mathcal{W} = \langle \mathcal{X}, \mathcal{D}, \mathcal{C} \rangle$$

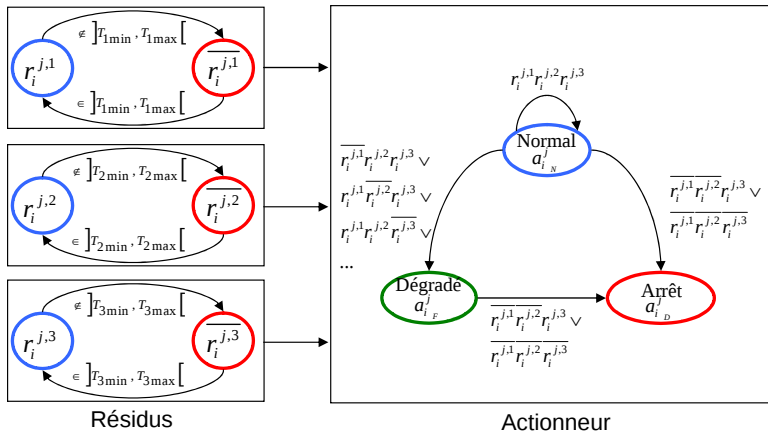
$$\mathcal{X} = \{L_i^j, I_i^j, J_{e_i}^j, k_{e_i}^j, \theta_{e_i}^j, J_{s_i}^j, N_{o_i}^j, \dot{\theta}_{s_i}^j, f_{e_i}^j, R_{e_i}^j, f_{s_i}^j, U_{o_i}^j, w_i^j, R_i^j, F_{x_i}^j, K_i^j\};$$

$\mathcal{D}$ Domaines associés ;

$$\mathcal{C} = \{\text{résidu } r_i^{j,1}, \text{résidu } r_i^{j,2}, \text{résidu } r_i^{j,3}, \text{actionneur}_i^j, \text{VIA}_i, \text{Train de 3 VIA}\}$$

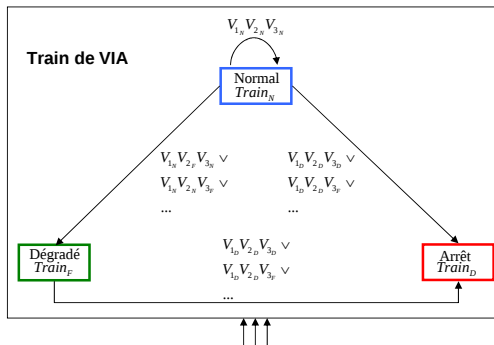


Modèle de supervision



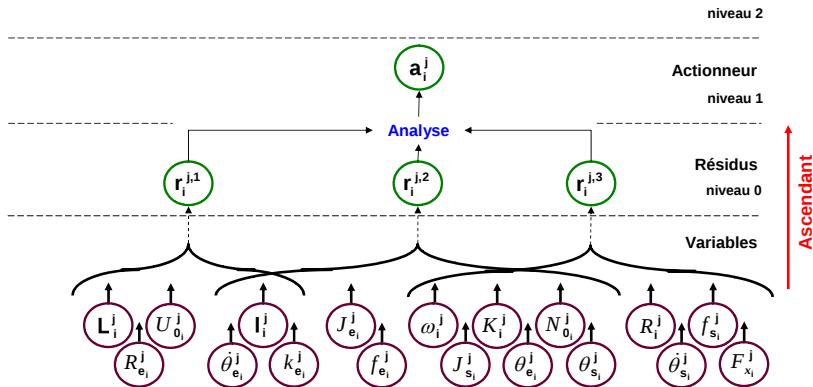
Mode de fonctionnement de l'actionneur

Modèle de supervision



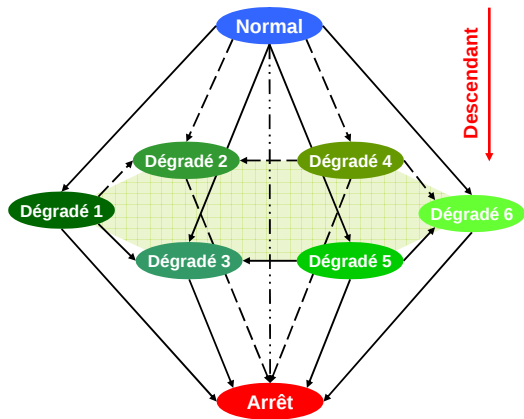
Mode de fonctionnement du train de VIA

Modèle de supervision



Le diagnostic du défaut est réalisé par une analyse ascendante

Modèle de supervision



Les procédures de la réconfiguration sont réalisés par une analyse descendante

Système de transition d'états

$$\Sigma = \langle \mathcal{M}_k, \Delta_k, \delta \rangle,$$

$\mathcal{M}_k$ est un ensemble fini de modes, Δ_k est un alphabet, et δ est une fonction de transition

$$\delta : \mathcal{M}_k \times \Delta_k \rightarrow \mathcal{M}_k.$$

Algorithme de supervision(Entrées)

Début

01 Détecter et Isoler les défauts ;

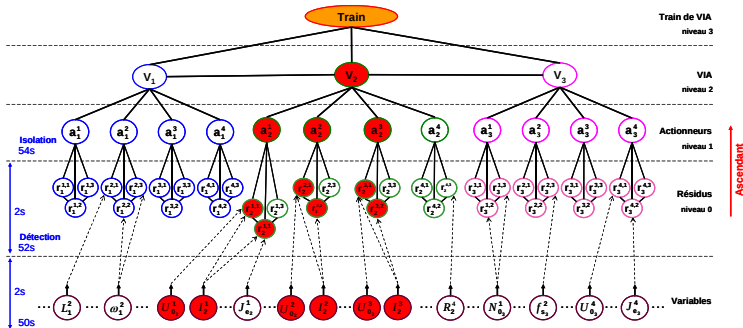
02 Vérifier la consistance des contraintes ;

03 Déterminer les degrés de satisfaction ;

04 Appliquer l'automate afin de faire les reconfigurations possibles.

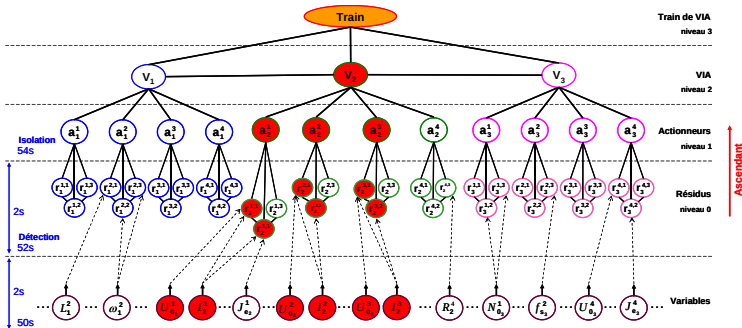
Fin

Résultats de simulation



Nous supposons qu'à l'instant 50s, des défauts se produisent sur les efforts de la tension d'alimentation et les intensités des courants électriques des 1^{er}, 2^{ème}, et 3^{ème} actionneurs du 2^{ème} VIA.

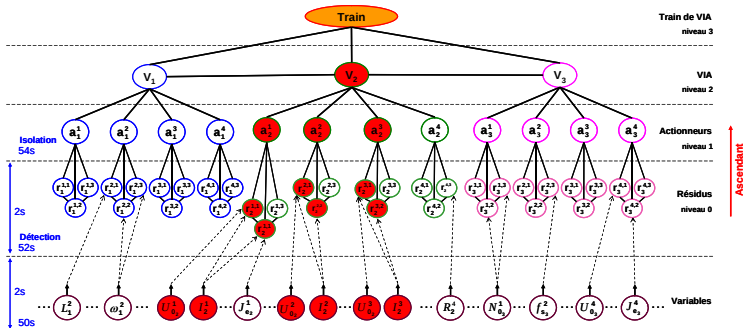
Résultats de simulation



Nous supposons qu'à l'instant 50s, des défauts se produisent sur les efforts de la tension d'alimentation et les intensités des courants électriques des 1^{er}, 2^{ème}, et 3^{ème} actionneurs du 2^{ème} VIA.

La surveillance détecte les défauts à 52s, puis isole le système défectueux (et non pas le composant défectueux) à 54s.

Résultats de simulation



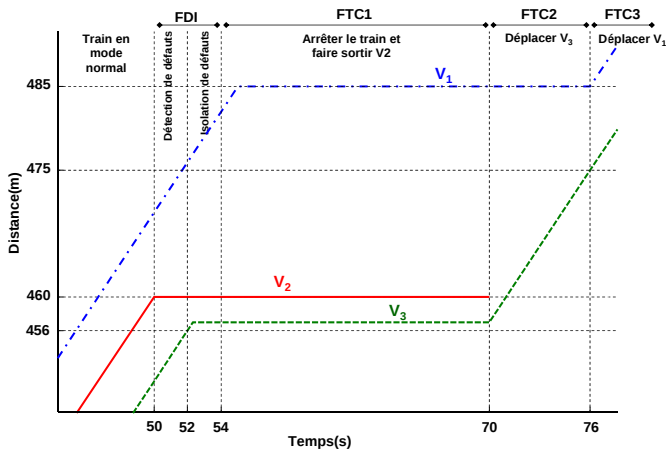
Nous supposons qu'à l'instant 50s, des défauts se produisent sur les efforts de la tension d'alimentation et les intensités des courants électriques des 1^{er}, 2^{ème}, et 3^{ème} actionneurs du 2^{ème} VIA.

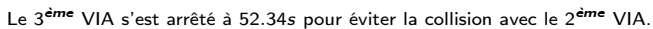
La surveillance détecte les défauts à 52s, puis isole le système défectueux (et non pas le composant défectueux) à 54s.

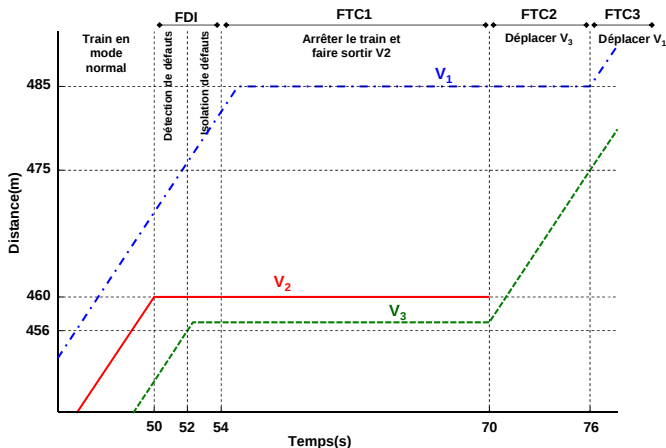
$$\delta : Train_N \times V_{1N} V_{2D} V_{3N} \rightarrow Train_F.$$

Train en mode dégradé.

Résultats de simulation

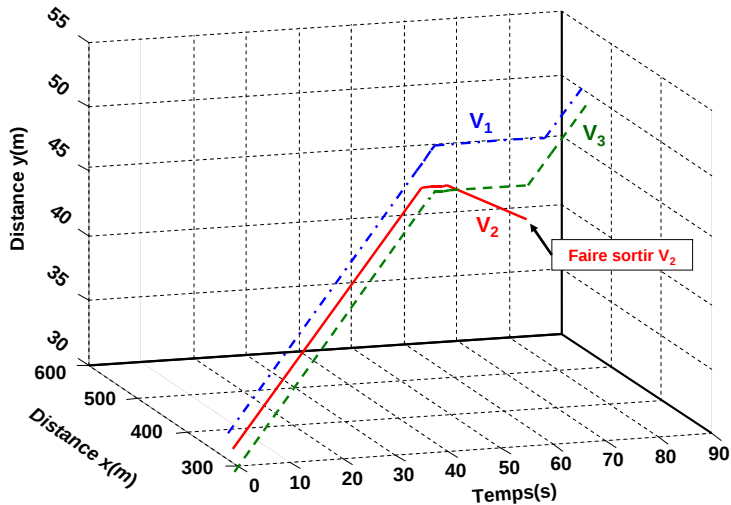






la reconfiguration au niveau de la commande tolérante aux fautes (FTC), est de déplacer le VIA défectueux de la trajectoire principale en utilisant les opérateurs de direction appropriée.

Résultats de simulation



Trajectoires réelles des trois VIA

Conclusion

Une modélisation graphique et dynamique pour la supervision d'un train de véhicules intelligents et autonomes est développée.

L'hypergraphe est l'outil utilisé pour la modélisation des modes de fonctionnement d'un tel système.

La détection et l'isolation des défauts sont déduites par le parcours ascendant de l'hypergraphe.

Le parcours descendant permet de déduire les différents modes de fonctionnement suite à la décision après qu'une défaillance est survenue.

Conclusion

Une modélisation graphique et dynamique pour la supervision d'un train de véhicules intelligents et autonomes est développée.

L'hypergraphe est l'outil utilisé pour la modélisation des modes de fonctionnement d'un tel système.

La détection et l'isolation des défauts sont déduites par le parcours ascendant de l'hypergraphe.

Le parcours descendant permet de déduire les différents modes de fonctionnement suite à la décision après qu'une défaillance est survenue.

Merci pour votre attention

**Journées Automatique et Automobile
Amiens, 07-08 décembre 2010**

**Commande hiérarchisée du groupe
motopropulseur d'un véhicule automobile: vers
une conception générique diesel/essence**

B. Ben Slimen, Ph. Chevrel, M. Yagoubi et J-E. Guy

Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes

***PSA Peugeot Citroën – Direction Technique et Industrielle, La
Garenne***



PSA PEUGEOT CITROËN



Plan

1. Architecture du contrôle moteur –formalisation du besoin
2. Cas d'étude : Pilotage air-avance d'un modèle à essence
 - Couple lent versus rapide
 - De l'importance de la prédiction
3. Une piste méthodologique : H2 retard versus preview
 - Problème RVV
4. Architecture générique diesel – essence
5. Perspectives

Plan

1. Architecture du contrôle moteur –formalisation du besoin
2. Cas d'étude : Pilotage air-avance d'un modèle à essence
 - Couple lent versus rapide
 - De l'importance de la prédiction
3. Une piste méthodologique : H2 retard versus preview
 - Problème RVV
4. Architecture générique diesel – essence
5. Perspectives

Emergence du contrôle moteur

❑ Volet historique

- Les systèmes de contrôle commande électroniques font leur apparition dans l'automobile dans les années 90 sous l'impulsion des normes d'émissions
- D'abord limités au contrôle rapproché du seul actionneur injection pour assurer la stoechiométrie ils évoluent progressivement vers un pilotage coordonné de l'ensemble des actionneurs du moteur.
- L'augmentation des performances des contrôles moteur permet d'y intégrer des fonctions de type GMP et de les perfectionner (carto pédale émulation de l'escargot => cartos multiples ...).

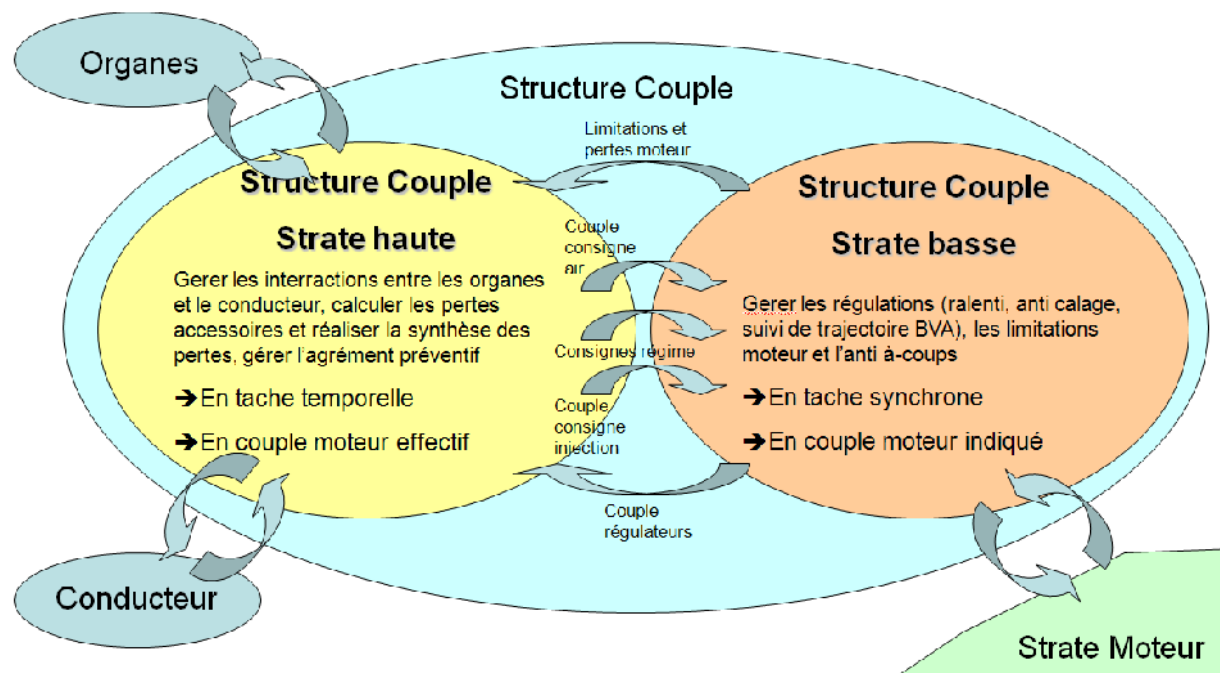
❑ Conséquence

Complexification du contrôle moteur avec une cohabitation de fonctions de commande de nature diverses

❑ Solution

Structuration et hiérarchisation du contrôle moteur multifonctions (CMM) en deux niveaux de commande.

La strate groupe motopropulseur



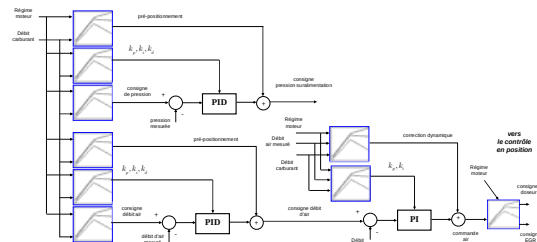
La strate Moteur

☐ La strate moteur est elle-même hierarchisée :

- Un premier niveau de coordination des fonctions moteur selon les situations de vie : démarrage, zones de fonctionnement moteur, régénération FAP, coupure ...

- Le pilotage des fonctions moteur :

- boucle d'air
- injection
- combustion
- dépollution
- gestion thermique



Contrôle en boucle fermée de la boucle d'air

- Les boucles locales d'asservissement des actionneurs asservissement boitier papillon ...

- **Injection de carburant, avance à l'allumage**
- **Boîtier papillon, vannes pilotées (EGR)**
- **Dispositif de *suralimentation*** (turbine à géométrie variable ou waste-gate) ...

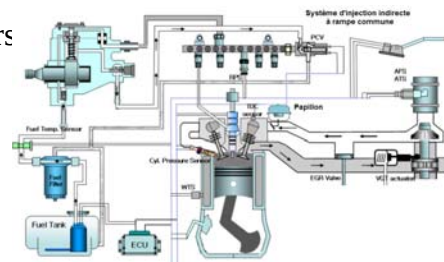


Schéma de principe d'un moteur diesel [Bro09]

Contrôle moteur hiérarchisé

❑ Interface fonctionnelle entre GMP et Moteur

- La consigne en CMI
=> le couple souhaité à chaque instant.
- Plusieurs choix de pilotage moteur possibles
=> impacte le compromis Conso, Brio, Durabilité
=> dépends de la technologie du moteur
=> nécessitent d'être anticipés

❑ Aujourd'hui, le GMP influence de façon intrusive le pilotage moteur (consigne d'avance, consignes d'EGR ...)

- => Diversité de la strate GMP à l'image de la diversité moteur
- => Difficulté d'optimisation du fonctionnement de la strate moteur
- => Nécessité d'un formalisme de besoin indépendant de l'architecture moteur

Recherche de généricité

❑ Situation actuelle

- Approche organique plutôt que fonctionnelle : conception découplée pour les configurations diesel et l'essence

❑ Cible

- Décomposition fonctionnelle des tâches à réaliser au niveau GMP
- Architecture générique entre motorisations essence et diesel (voire une configuration hybride).
- Généricité englobant les outils de conception et l'architecture de commande.

Plan

1. Architecture du contrôle moteur–formalisation du besoin
2. Cas d'étude : Pilotage air-avance d'un modèle à essence
 - Couple lent versus rapide
 - De l'importance de la prédiction
3. Une piste méthodologique : H2 retard versus preview
 - Problème RVV
4. Architecture générique diesel – essence
5. Perspectives

Actionneurs du moteur à essence

❑ Actionneur air

- Module la quantité d'air frais admise (boîtier papillon motorisé).
- Contrainte : richesse du mélange air-essence (cf point suivant)
- **Dynamique lente; larges amplitudes de couple résultant.**

❑ Actionneur carburant

- Module la quantité de carburant admise dans les cylindres (dispositif d'injection dans le collecteur d'admission (injection indirecte) ou dans les cylindres (injection directe)).
- Degré de liberté utilisé pour régler la richesse du mélange (rapport stœchiométrique)
- Dynamique rapide.

❑ Actionneur avance

- Contrôle l'instant d'allumage via la bougie (avance optimale versus modulation couple).
- Action corrélée avec la position angulaire du vilebrequin.
- Incidence directe sur la température et la pression dans les cylindres, et donc sur le couple moteur.
- **Dynamique rapide; amplitude limitée et nécessairement négative à avance opti.**

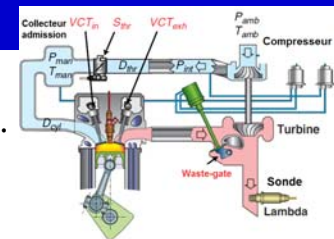


Schéma de principe d'un moteur à essence [LLCC07]

Anticipation de la demande de couple

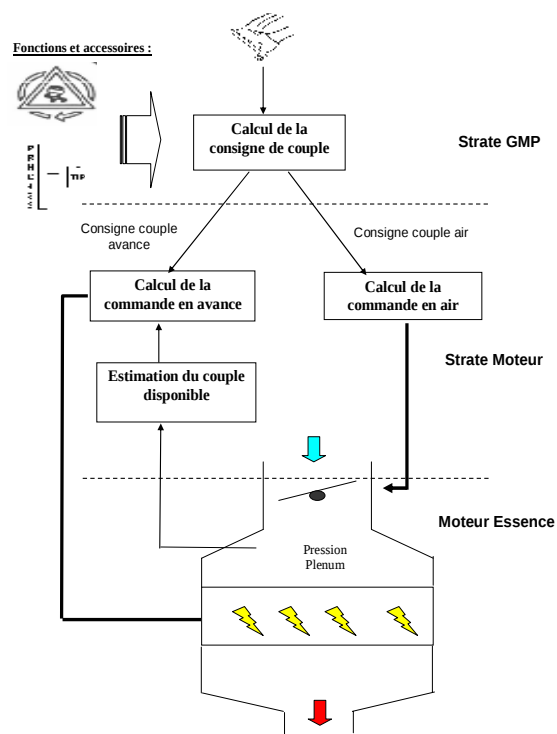
❑ Motivation : accroître les performances dynamiques (au détriment de la consommation et du couple max)

- Solliciter un mélange air/carburant supérieur à la demande instantanée.
- Appliquer un angle d'avance à l'allumage sous-optimal, afin de permettre la réalisation d'un accroissement rapide de couple.
- Privilégier l'aspect dynamique de couple sur l'aspect consommation.

❑ Situations de vie concernées

- Au ralenti : dégradation systématique de 20% du rendement d'avance.
- Lors d'un changement de rapport : couple sollicité par le contrôle de la boîte de vitesses automatique.
- En phase de manœuvre : couple sollicité par la direction assistée.
- Climatisation activée en phase de démarrage du moteur : sollicitation retardée pour éviter le calage (*connaissance anticipée*).

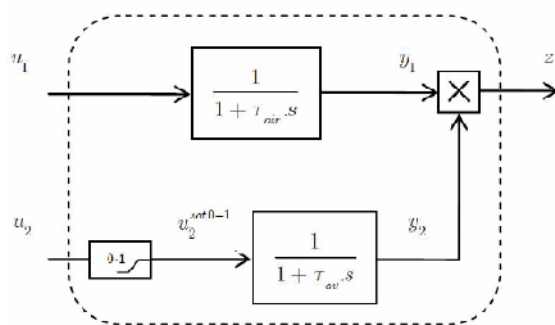
Contrôle en couple du moteur à essence



Modèle simplifié du moteur à essence (1)

En mode de combustion homogène :

[Di Cairano, Bemporad *et al.* IEEE CDC2008]



u_1 : consigne couple air

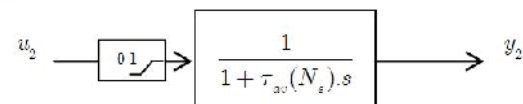
y_1 : couple air

u_2 : consigne rendement d'avance

y_2 : rendement d'avance

z : couple moteur

$$\tau_{air} = 150ms$$

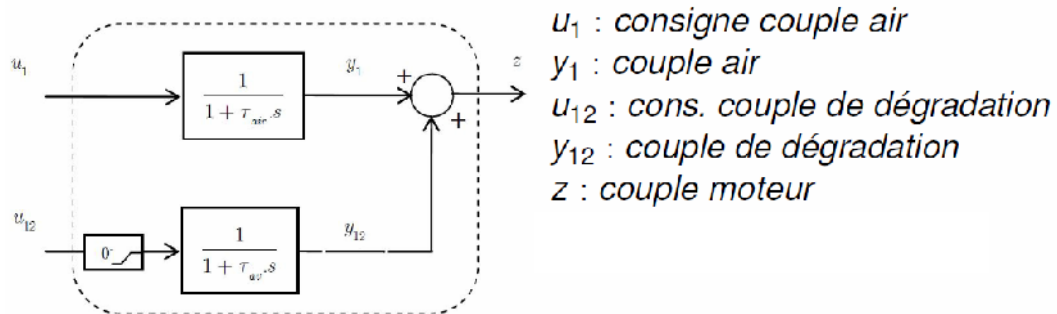


Représentation d'état

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ z = x_1 x_2 \end{cases} \quad \text{avec } x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}, u = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2^{sat0-1} \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{1}{\tau_{air}} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\tau_{av}} \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} \frac{1}{\tau_{air}} \\ \frac{1}{\tau_{av}} \end{pmatrix}$$

Modèle simplifié du moteur à essence (2)



Représentation d'état

En posant $y_{12} = y_1 y_2 - y_1$, on a $z = y_1 y_2 = y_1 + y_{12}$ tel que $0 \leq y_2 \leq 1$

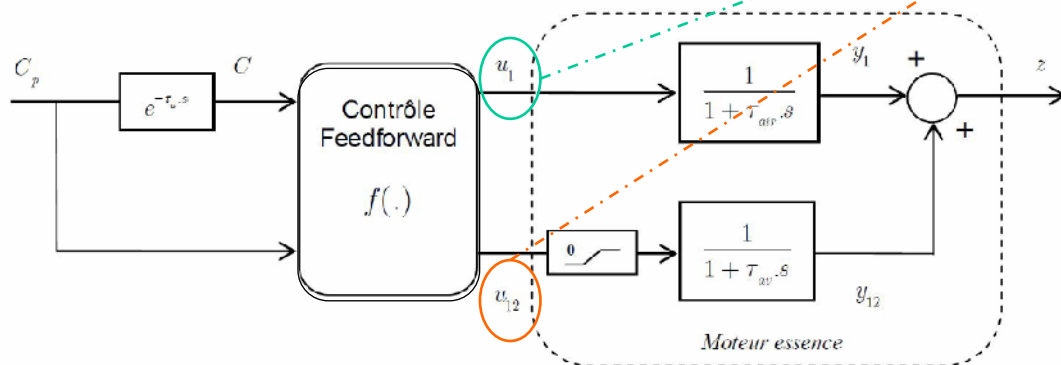
$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ z = x_1 + x_2 \end{cases} \text{ avec } x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_{12} \end{pmatrix}, u = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_{12}^{sat0-} \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{1}{\tau_{air}} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\tau_{av}} \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} \frac{1}{\tau_{air}} \\ 1 \\ \tau_{av} \end{pmatrix}$$

Vers un contrôle en couple avec anticipation

□ Proposition d'une solution *ad hoc*.

- Considération des demandes anticipées de couple;
- Découplage de la consigne en consigne de **couple lent** et **couple rapide**.



$C_p(t)$: consigne de couple anticipée.
 $C(t)$: consigne de couple instantanée.
 τ_a : horizon d'anticipation.

Cahier des charges

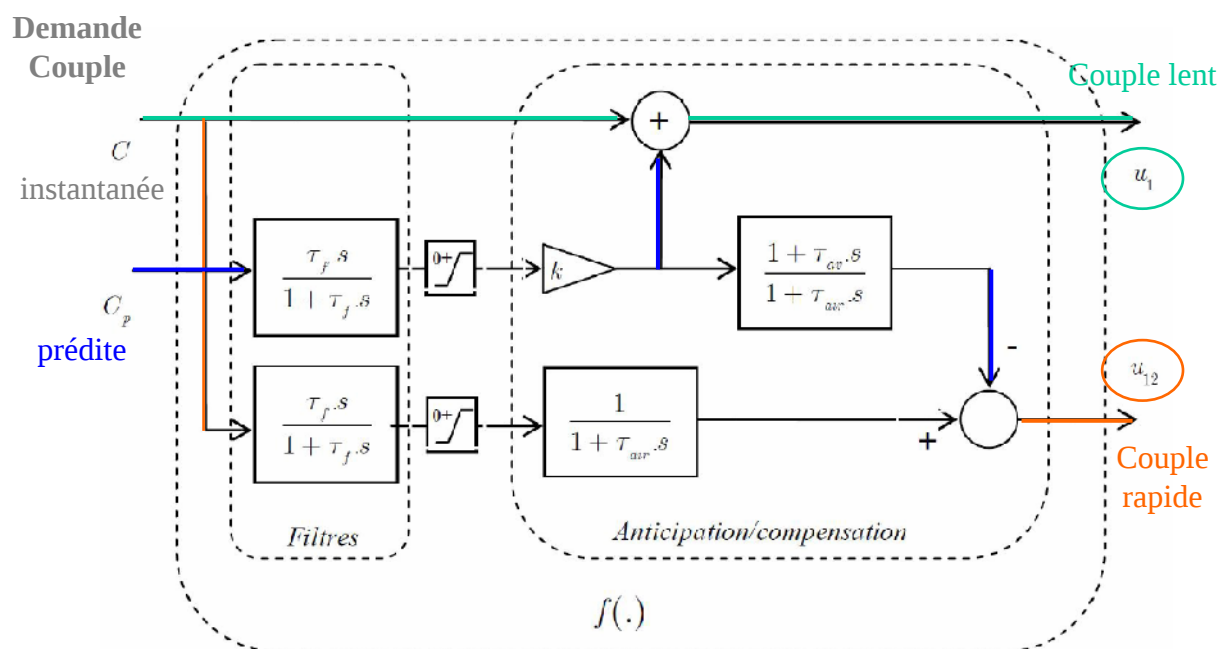
❑ Contraintes systémiques

- Rendement d'avance limité
 - en amplitude : taux de dégradation inférieur à 20%;
 - en durée à ce niveau critique (échauffement moteur).

❑ Spécifications intermédiaires

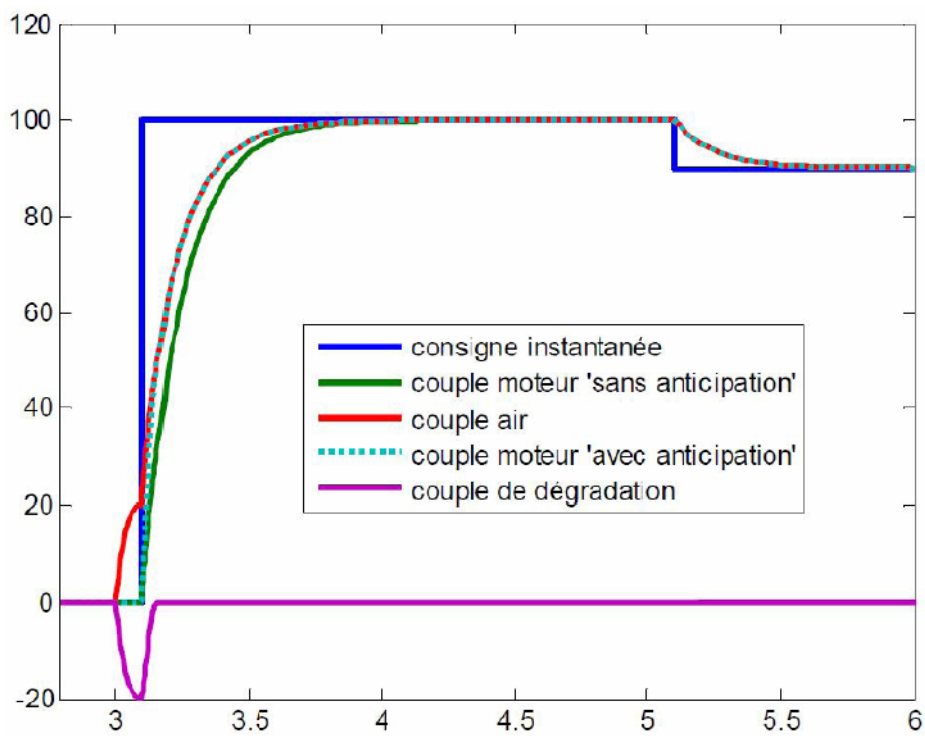
- Ne pas « trop » anticiper ($\tau_a \leq \tau_{air}$).
- Couple de dégradation monotone sur l'intervalle $[0, \tau_a[$.
- En réponse à un échelon de consigne sur $C_p(t)$, le couple total produit reste nul sur l'horizon τ_a .

GMP -> strate moteur : dispositif pragmatique de traitement de l'anticipation sur l'air



[CIFA 2010] Contrôle longitudinal hiérarchisé d'un véhicule automobile

Contrôle en couple avec anticipation



Pilotage air-avance d'un modèle à essence : enseignements

Enseignements

- ☐ Intérêt du découplage dynamique en couple « lent » et « rapide »
- ☐ Importance de l'anticipation

Pistes méthodologiques

- ☐ Commande avec anticipation au niveau de la strate moteur :
e.g. commande H2 « with preview », commande prédictive
- ☐ Prédiction au niveau de la strate GMP

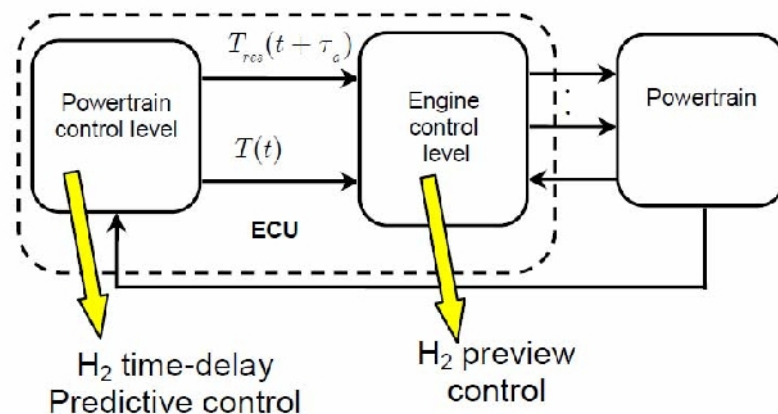
Illustration

- ☐ RVV simplifiée : commande hiérarchisée (régulation de vitesse véhicule)
- ☐ Prédiction au niveau de la strate GMP

Plan

1. Architecture du contrôle moteur –formalisation du besoin
2. Cas d'étude : Pilotage air-avance d'un modèle à essence
 - Couple lent versus rapide
 - De l'importance de la prédiction
3. Une piste méthodologique : H2 retard versus preview
 - Problème RVV
4. Architecture générique diesel – essence
5. Perspectives

Commande hiérarchisée s'appuyant sur les notions de prédiction et d'anticipation



$T(t)$: consigne de couple instantanée

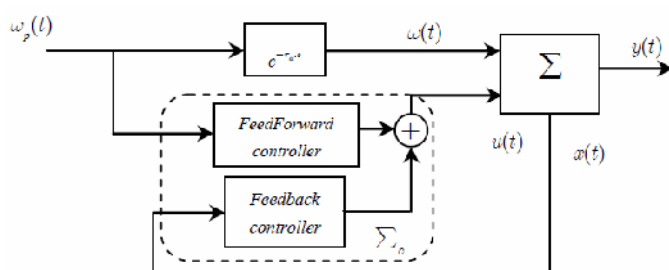
$T_{res}(t + \tau_c)$: consigne de couple anticipée

- ❑ **Motivation par rapport à l'approche MPC : simplicité**
(solution analytique versus optimisation en ligne).

Commande H_2 avec anticipation (1)

Problème 1

Le problème de rejet de perturbation H_2 avec anticipation consiste à déterminer un contrôleur garantissant la stabilité interne du système en boucle fermée et la minimalité de sa norme H_2 .



$$(\Sigma) \begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + B_1 w(t) + B_2 u(t) \\ y(t) = Cx(t) + D_1 w(t) + D_2 u(t) \end{cases}$$

$x(t) \in \mathbb{R}^n$: the state vector

$w(t) \in \mathbb{R}^r$: the exogenous input vector

$y(t) \in \mathbb{R}^r$: the output vector

$w_p(t) = w(t + \tau_a), \quad \forall t \geq 0$

A, B_1, B_2, C, D_1, D_2 : real constant matrices

Commande H_2 avec anticipation (2)

Assumptions : [Ferrante, Marro, Ntogramatzidis 2007]

$$Q = C^T C, S = C^T D_2, R = D_2^T D_2$$

(A1) The pair (A, B_2) is stabilizable.

(A2) The quadruple (A, B_2, C, D_2) has no invariant zeros on $i\mathbb{R}$ and D_2 is full-column rank

(A3) $\text{im}(D_1) \subseteq \text{im}(D_2)$

Optimal control law :

$$u_1(t) = \int_0^{\tau_a} \Phi(\tau) w_p(t - \tau) d\tau - K_+ x(t)$$

with

$$\Phi(t) = -R^{-1} B_2^T e^{A_+^T (\tau_a - t)} P_+ B_1$$

$$K_+ = R^{-1} (S^T + B_2^T P_+)$$

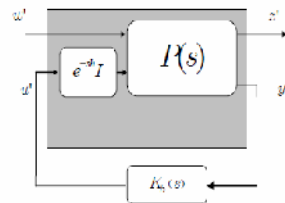
$$A_+ = A - B_2 R^{-1} (S^T + B_2^T P_+)$$

$$P_+ = P_+^T \geq 0, \quad P_+ A + A^T P_+ - (S + P_+ B_2) R^{-1} (S^T + B_2^T P_+) + Q = 0$$

Commande H_2 pour les systèmes à retard sur l'entrée (1)

Problème 2

Déterminer un contrôleur $K_h(s)$ minimisant la norme H_2 de $\|T_{z'w'}\|$ tel que h corresponde au retard à l'entrée.



$$(P) \begin{cases} \dot{x}' \\ z' \\ y' \end{cases} = \begin{bmatrix} A' & B'_1 & B'_2 \\ C'_1 & D'_{11} & D'_{12} \\ C'_2 & D'_{21} & D'_{22} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ w' \\ u' \end{pmatrix}$$

$x'(t)$: the state, $u'(t)$: the control input

$w'(t)$: the exogenous input

$y'(t)$: the measured output

$A', B'_1, B'_2, C'_1, C'_2, D'_{11}, D'_{12}, D'_{21},$

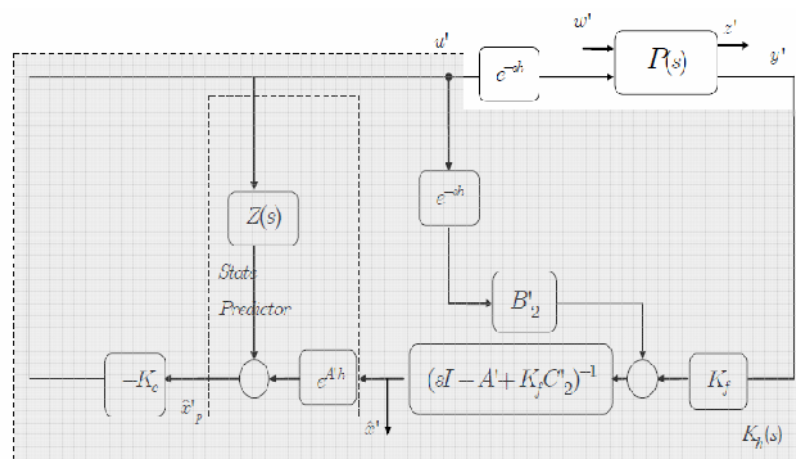
D'_{22} : real constant matrices

Commande H_2 pour les systèmes à retard sur l'entrée (2)

Sous les hypothèses classiques du problème de commande H_2 sans retard :

❑ la solution du problème 2 peut être déduite du **principe de séparation** :

- la solution optimale = retour d'état + **prédicteur / observateur** :



$$Z(s)u'(s) = (I - e^{-(sI-A')h}) \begin{bmatrix} A' & B'_2 \\ I & 0 \end{bmatrix} u'(s)$$

Cas d'étude : RVV

❑ Problème de régulation de vitesse véhicule

- Suivi d'une consigne de vitesse véhicule V_{vehsp} .
- Rejet de perturbation d'un couple de perturbation en sortie $T_{res}(t) \leq 0$
- $T_{res}(t) \leq 0$: couple demandé par le système de climatisation.

❑ Rappel

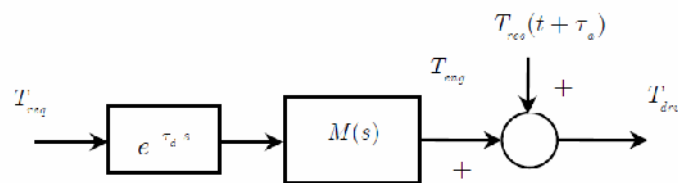
- Parmi les stratégies de gestion du système de climatisation : introduction d'un retard (τ_a) sur le couple demandé par le système de climatisation.

-motivation : éviter le calage du moteur lors de l'enclenchement du compresseur de la climatisation.

[Roehm et al. US.Patent2008]

Modélisation simplifiée : moteur

- ❑ Moteur à essence à 4 temps et 4 cylindres.
- ❑ Modèle en couple du moteur (dynamique lente uniquement) : premier ordre avec retard approché par un modèle d'ordre 3.



τ_a : the preview time

τ_d : the time delay inherent to the engine torque production

T_{req} : the requested engine torque

T_{eng} : the produced engine torque

T_{res} : the resultant torque transmitted to the driveline

T_{rev} : the previewed output disturbance

Modélisation simplifiée : transmission

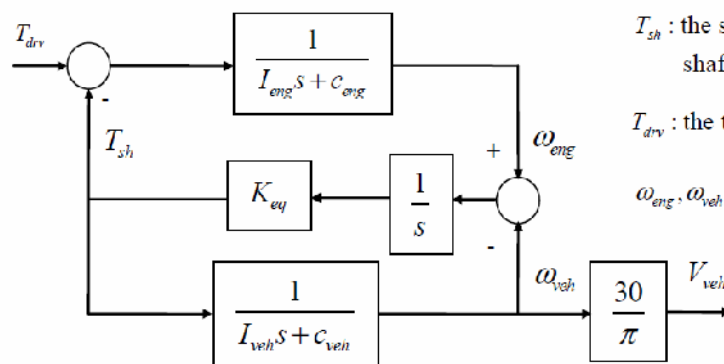
❑ Hypothèses

- Rapport établi et différentiel bloqué.
- Dynamiques hautes fréquences négligées.

❑ Modèle de la transmission

- Modèle d'ordre 3 représentatif des dynamiques longitudinales du véhicule (Citroën Picasso).
- Modèle à deux inerties (volant moteur et masse véhicule).

Modélisation simplifiée : transmission



T_{sh} : the shaft torque due to the drive – shaft torsion

T_{drv} : the torque applied to the driveline

$\omega_{eng}, \omega_{veh}$: the angular velocities

$$\dot{x}_2(t) = \begin{bmatrix} -c_{eng}/I_{eng} & 0 & -1/I_{eng} \\ 0 & -c_{veh}/I_{veh} & 1/I_{veh} \\ K_{eq} & -K_{eq} & 0 \end{bmatrix} x_2(t) + \begin{bmatrix} 1/I_{eng} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u_2(t)$$

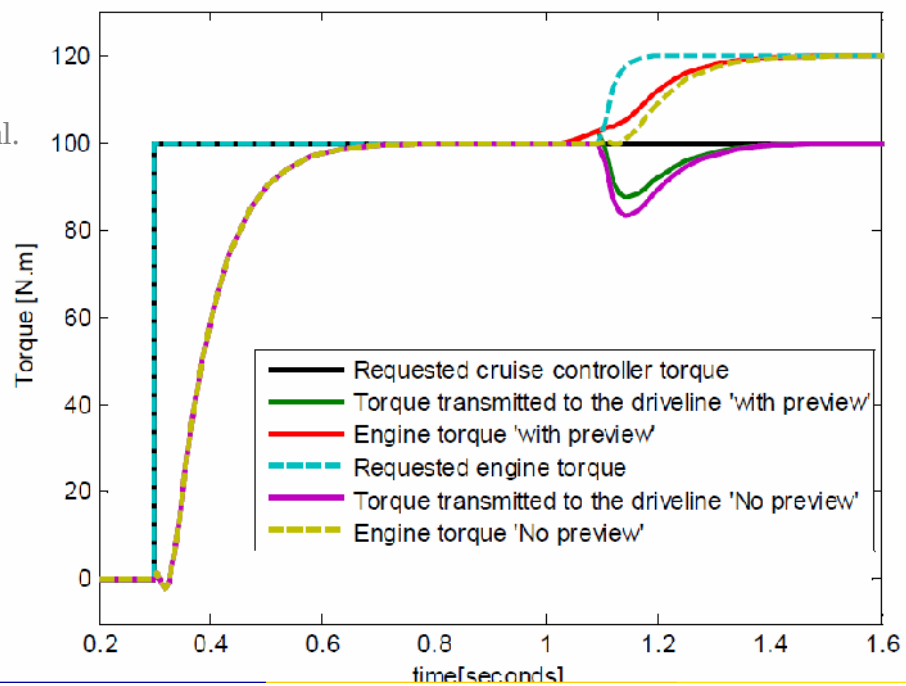
K_{eq} : aggregate the stiffness
 c_{eng}, c_{veh} : aggregate all existing frictions
 I_{eng}, I_{veh} : the two inertias

$$y_2(t) = \begin{bmatrix} 0 & 30/\pi & 0 \end{bmatrix} x_2(t)$$

$$x_2^T(t) = \begin{bmatrix} w_{eng}(t) & w_{veh}(t) & T_{sc}(t) \end{bmatrix}^T \quad u_2(t) = T_{drv}(t) \quad y_2(t) = V_{veh}(t)$$

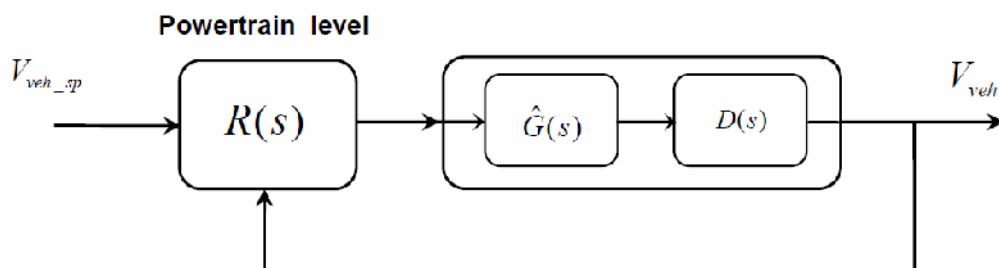
Contrôle bas niveau H2 preview (avec action intégrale)

[Ben Slimen et. al.
IEEE MSC2010]



[Kojima et Ishijima, IEEE TAC 1999]

Synthèse du régulateur de vitesse : H2 retard



V_{veh_sp} : vehicle speed set point, V_{veh} : vehicle speed

$R(s)$: vehicle speed controller, $D(s)$: Driveline model

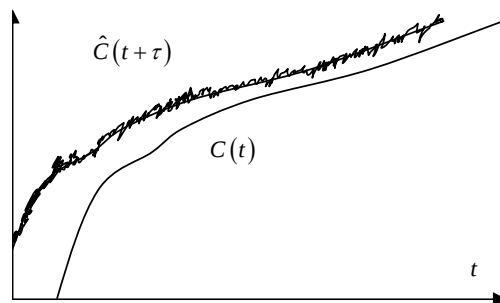
Approximation of the engine layer :

$$\hat{G}(s) = \frac{K e^{-\tau_r s}}{1 + \tau s}$$

$$K = 1.004, \quad \tau = 0.077s, \quad \tau_r = 0.03s$$

Résultats

- ❑ Couple prélevé par la climatisation anticipé par le moteur => répercussion faible sur le RVV
- ❑ Utilisation possible de l'état prédit au niveau inférieur



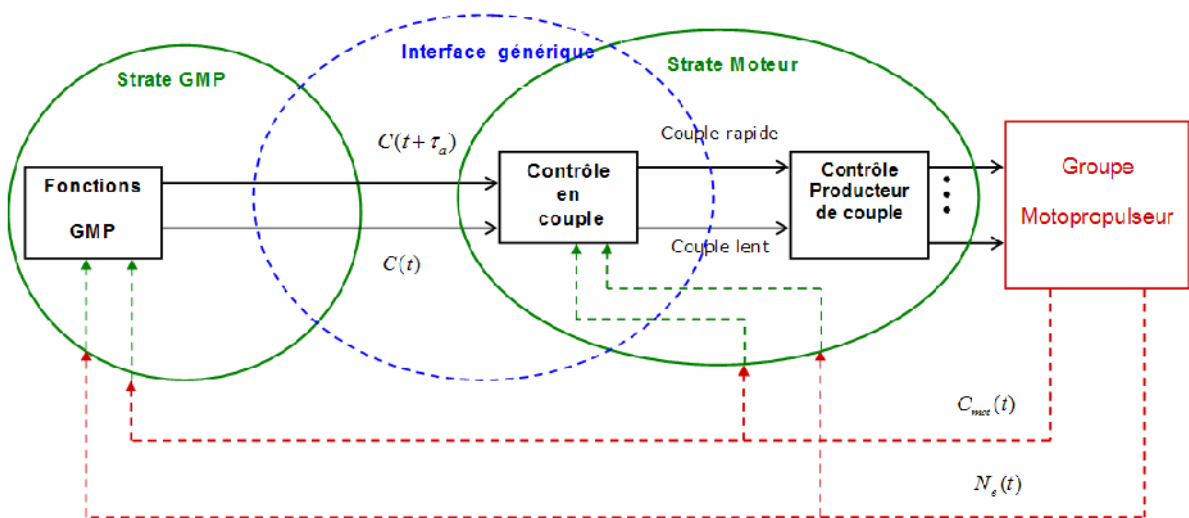
Demande de couple instantanée versus prédite

Plan

1. Architecture du contrôle moteur –formalisation du besoin
2. Cas d'étude : Pilotage air-avance d'un modèle à essence
 - Couple lent versus rapide
 - De l'importance de la prédiction
3. Une piste méthodologique : H2 retard versus preview
 - Problème RVV
4. Architecture générique diesel – essence
5. Perspectives

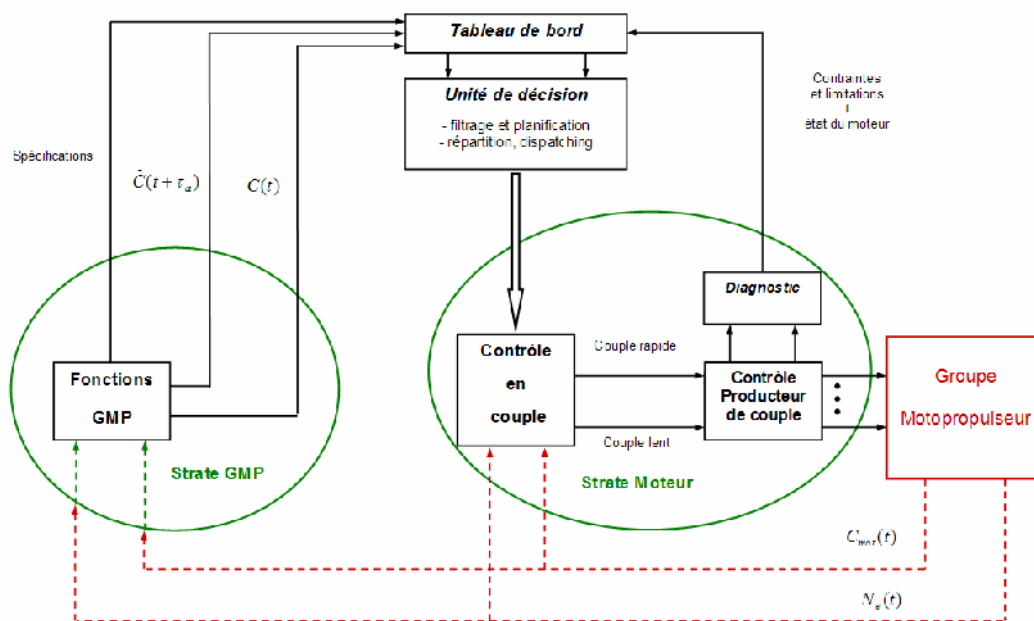
Architecture générique du CMM

❑ **Solution 1 :** [Ben Slimen et al. CIFA2010]



Architecture générique du CMM

❑ Solution 2 :



Plan

1. Architecture du contrôle moteur –formalisation du besoin
2. Cas d'étude : Pilotage air-avance d'un modèle à essence
 - Couple lent versus rapide
 - De l'importance de la prédiction
3. Une piste méthodologique : H2 retard versus preview
 - Problème RVV
4. Architecture générique diesel – essence
5. Perspectives

Perspectives

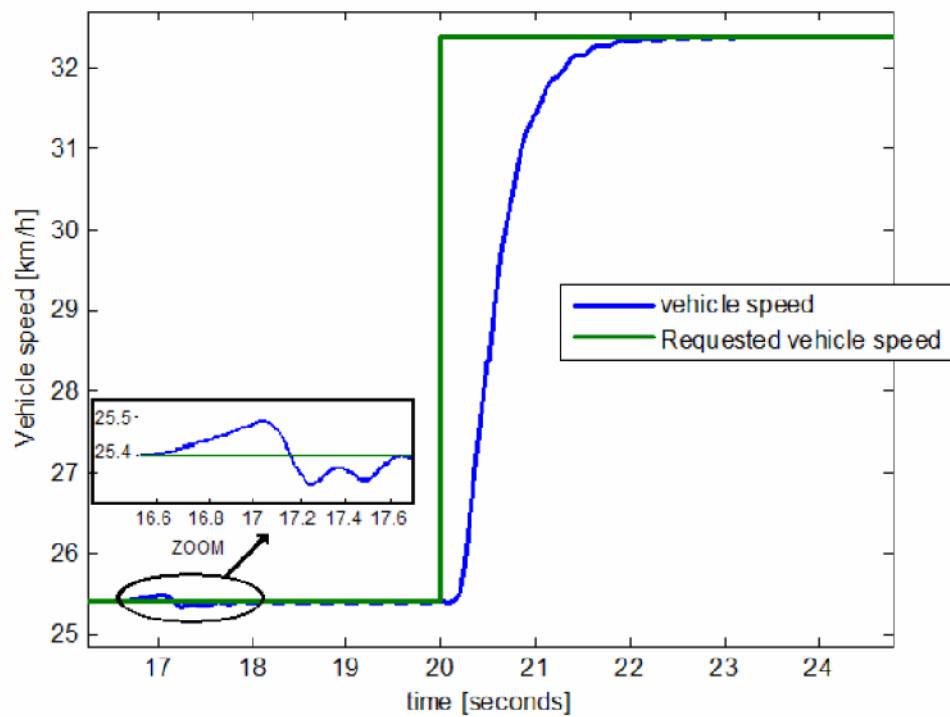
❑ Rappel des idées forces :

- Séparer fréquemment les dynamiques de couples
- Mettre à disposition de la strate moteur la prédiction de demande de couple

❑ Perspectives

- Echanges approfondis quant à la faisabilité avec les équipes de développement des strates moteur et GMP.
- Evaluation sur quelques fonctions clés de la généricité diesel / essence et évaluation de l'impact en terme de consommation / pollution.
- Examen sur quelques fonctions clés des possibilités d'utilisation de la commande prédictive avec / sans contraintes

Synthèse du régulateur de vitesse (2)



Structure du contrôle hiérarchisé des systèmes complexes

