

# Stabilité robuste des systèmes descripteurs flous de type Takagi-Sugeno via l'approche LMI

MohamedBAHLOUL<sup>1, 2</sup>, Ahmed EL HAJJAJI<sup>1</sup>, Mohamed CHAABANE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de Picardie Jules verne,  
MIS/UPJV

7Rue du Moulin Neuf 80000 Amiens œuvre, France.  
*mohamedbahhloul.ge@yahoo.fr. ahmed.hajjaji@u-picardie.fr*

<sup>2</sup>Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax  
UCA/ENIS

Route de Soukra km4 3038 Sfax Tunisie.  
*chaabane-uca@yahoo.fr*

**Résumé**— Cet article concerne le problème de la stabilité robuste des systèmes descripteurs non linéaires décrits par des modèles flous de type Takagi-Sugeno (TS). Après l'analyse de la stabilité du système nominal, des conditions suffisantes de la stabilité robuste sont proposées. Dans la synthèse, la formulation LME (Linear Matriciel Equality) puis LMI (Linear Matriciel Equality) sont proposées. Un exemple de simulation est présenté pour illustrer les résultats obtenus.

**Mots-clés**— Systèmes descripteurs flous, stabilité, Stabilité robuste, approche LMI.

## I. INTRODUCTION

Ces deux dernières décennies, le problème de la stabilité et de la stabilisation des systèmes non linéaires décrits par les modèles flous de type Takagi- Sugéno (T-S) était le sujet de plusieurs travaux de recherche [11][12][13] grâce à leur simplicité et leur capacité de décrire le comportement non linéaire par une agrégation des modèles locaux linéaires. Récemment, la représentation TS a été étendue aux systèmes descripteurs pour décrire une classe plus large de systèmes non linéaires comprenant à la fois des équations différentielles et algébriques (réseaux électriques, systèmes robotisés, processus chimique,...etc) [1][4][10][15][17][18][19]. Ces systèmes algèbro-différentiels comportent à la fois des équations dynamiques qui varient en fonction du temps, et des relations algébriques. Ces derniers généralement, intègrent des relations statiques permettant à certaines variables d'état de conserver leurs significations physiques. Dans [5][7][8][9], des résultats sur l'analyse de la stabilité et de la stabilisation ont été proposés en utilisant la formulation LMI et LME .

Dans ce travail, nous présentons des conditions suffisantes, sous forme des LMIs, pour garantir la stabilité robuste des systèmes descripteurs de type TS. Ce travail présente une extension des travaux sur les systèmes descripteurs donnés dans [3][16].//

Le papier est organisé comme suit : la formulation de problème et quelques définitions préliminaires sont énoncées dans la section 2. Dans la section 3, nous présentons des conditions suffisantes sous forme des LMIs pour l'analyse de la stabilité. La section 4 sera consacrée à l'élaboration des conditions suffisantes qui garantissent la stabilité robuste des systèmes descripteurs flous et enfin,

pour illustrer nos résultats, un exemple de simulation est présenté dans la section 5.

## II. POSITION DU PROBLÈME

Considérons le système descripteur flou de type T-S libre décrit par les règles suivantes :

$$\begin{cases} Si z_1(t) est M_{i1} et ... z_g(t) est M_{ig} \\ Alors E\dot{x}(t) = (A_i + \Delta A_i)x(t) \end{cases} \quad (1)$$

où  $x(t) \in \mathbb{R}^n$  est le vecteur d'état. Pour le  $i^{ème}$  modèle local,  $A_i \in \mathbb{R}^{n \times n}$  est la matrice d'état,  $E \in \mathbb{R}^{n \times n}$  est une matrice singulière tel que  $rank(E) \leq n$ ,  $z_j(t)$  et  $M_{ij}$  ( $j = 1...n$ )représentent respectivement la  $j^{ème}$ variable permise et la  $i^{ème}$  fonction d'appartenance de la  $j^{ème}$  variable.

En posant,  $\forall t$

$$z(t) = [ z_1(t) \quad . \quad . \quad z_g(t) ]$$

et

$$h_i(z(t)) = \frac{w_i(z(t))}{\sum_{i=1}^r w_i(z(t))}$$

avec

$$w_i(z(t)) = \prod_{i=1}^g M_{ij}(z_j(t))$$

$$w_i(z(t)) \geq 0, i = 1 \quad . \quad . \quad r$$

Le système descripteur flou global s'écrit sous la forme suivante :

$$E\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^r h_i(z(t))(A_i + \Delta A_i)x(t) \quad (2)$$

On définit par la suite  $\bar{E}, \bar{A}_i, \bar{\bar{E}}, \bar{\bar{A}}_i$  et  $E^\perp$  tels que :

$$\bar{E} = UEV = \begin{bmatrix} I_h & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{\bar{E}} = MEN = \begin{bmatrix} I_h & 0 \\ 0 & N_1 \end{bmatrix}$$

$$\overline{A}_i = UA_iV = \begin{bmatrix} A_{11i} & A_{12i} \\ A_{21i} & A_{22i} \end{bmatrix}$$

$$\overline{\overline{A}}_i = MA_iN = \begin{bmatrix} A_{1i} & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix}$$

$$E^\perp = V(I - UEV)U \text{ tel que } EE^\perp = 0$$

avec  $U$  et  $V$  (respectivement  $M$  et  $N$ ) sont deux matrices non singulières obtenues à partir de la décomposition en valeur singulières (respectivement de la décomposition sous forme de Kronecker-Weierstrass) de la paire  $(E, A_i)$ [4].

Avant de commencer l'étude, nous rappelons quelques résultats préliminaires sur les systèmes descripteurs décrits par (3).

$$E\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^r h_i(z(t))A_i x(t) = A(x(t))x(t) \quad (3)$$

#### A. Définitions[4]

-La paire  $(E, A_i)$  est régulière, s'il existe  $s$  tel que  $\det(sE - A_i) \neq 0$ .

-La paire  $(E, A_i)$  est non impulsive si  $\deg(\det(sE - A_i)) = \text{rang}(E)$ .

-Le modèle local défini par la paire  $(E, A_i)$  du système descripteur flou défini par la paire  $(E, A(x(t)))$  est stable si il est régulier, non impulsif et la matrice  $A_{1i}$  définie précédemment est stable.

Notons que la stabilité des modèles locaux est une condition nécessaire mais pas suffisante pour assurer la stabilité du modèle global.

Notons aussi que  $\text{sym}(A) = A + A^T$

*Lemme 1* : Pour toutes matrices  $X$  et  $Y$  ayant des dimensions appropriées, la propriété suivante est vérifiée [16] :

$$X^T Y + Y^T X \leq \beta X^T X + \beta^{-1} Y^T Y, \quad \text{avec } \beta > 0$$

### III. ANALYSE DE LA STABILITÉ DES SYSTÈMES DESCRIPTEURS DE TYPE T-S

La stabilité est une propriété minimale que doit vérifier un système descripteur. Dans ce paragraphe, nous allons traiter le cas nominal d'un système singulier flou de type T-S décrit par (3).

Le système (3) est stable si l'une des conditions suivantes est vérifiée.

*Théorème 1* : Le système descripteur flou (3) est stable au sens de Lyapunov s'il existe une matrice  $P$  telle que les conditions suivantes sont vérifiées

$$\begin{cases} P^T E^T = EP \geq 0 \\ A_i P + P^T A_i^T < 0; i = 1 \dots r \end{cases} \quad (4)$$

*Preuve 1* : voir [18]

*Théorème 2* : Le système (3) est stable s'il existe une matrice  $P = P^T \geq 0$  symétrique positive et une matrice  $Q$  tel que

$$A_i(P E^T + E^\perp Q) + (P E^T + E^\perp Q)^T A_i^T < 0 \quad i = 1 \dots r \quad (5)$$

*Preuve 2* : La paire  $(E, A(x(t)))$  est stable s'il existe une matrice  $\Omega$  tel que :

$$\begin{cases} \Omega^T E^T = E\Omega \geq 0 \\ A_i \Omega + \Omega^T A_i^T < 0; i = 1 \dots r \end{cases} \quad (6)$$

Nous supposons que  $\Omega = (P E^T + E^\perp Q)$  tel que  $P = P^T \geq 0$ , nous pouvons réécrire le système (6) sous la forme suivante :

$$\begin{cases} \Omega^T E^T = E\Omega = E P E^T = E P^T E^T \geq 0 \\ A_i \Omega + \Omega^T A_i^T < 0; i = 1 \dots r \end{cases} \quad (7)$$

Par conséquent, nous pouvons déduire que le système (3) est stable s'il existe une matrice  $P = P^T \geq 0$  tel que :

$$A_i(P E^T + E^\perp Q) + (P E^T + E^\perp Q)^T A_i^T < 0 \quad i = 1 \dots r \quad (8)$$

*Théorème 3* Le système (3) est stable s'il existe quatre matrices  $P = P^T \geq 0$ ,  $Q$  et  $G$  telles que l'inégalité suivante est vérifiée.

$$\begin{aligned} & \left[ \begin{array}{cc} 0 & (P E^T + E^\perp Q)^T \\ (P E^T + E^\perp Q) & 0 \end{array} \right]^+ \\ & \text{sym} \left\{ \left[ \begin{array}{c} A_i G \\ -G \end{array} \right] \left[ \begin{array}{cc} I & I \end{array} \right] \right\} < 0 \quad i = 1 \dots r \end{aligned} \quad (9)$$

*Preuve 3* : En multipliant l'inégalité (9) à droite et à gauche respectivement par  $\left[ \begin{array}{cc} I & A_i \end{array} \right]$  et  $\left[ \begin{array}{cc} I & A_i \end{array} \right]^T$  on obtient :

$$\begin{aligned} & \left[ \begin{array}{cc} I & A_i \end{array} \right] \left( \left[ \begin{array}{cc} 0 & (P E^T + E^\perp Q)^T \\ (P E^T + E^\perp Q) & 0 \end{array} \right]^+ \right. \\ & \left. \text{sym} \left\{ \left[ \begin{array}{c} A_i \\ -I \end{array} \right] G \left[ \begin{array}{cc} I & I \end{array} \right] \right\} \right) \left[ \begin{array}{c} I \\ A_i^T \end{array} \right] < 0 \quad i = 1 \dots r \end{aligned} \quad (10)$$

$\Leftrightarrow$

$$\left[ \begin{array}{cc} I & A_i \end{array} \right] \left[ \begin{array}{cc} 0 & (P E^T + E^\perp Q)^T \\ (P E^T + E^\perp Q) & 0 \end{array} \right] \left[ \begin{array}{c} I \\ A_i^T \end{array} \right] < 0$$

$$\Leftrightarrow A_i(P E^T + E^\perp Q) + (P E^T + E^\perp Q)^T A_i^T < 0 \quad i = 1 \dots r$$

### IV. ANALYSE DE LA STABILITÉ ROBUSTE DES SYSTÈMES DESCRIPTEURS DE TYPE T-S

Dans ce paragraphe nous allons étendre les résultats du paragraphe précédent au cas robuste, en supposant que les incertitudes paramétriques des matrices de transferts locaux sont bornées en norme :

$$\Delta A_i = J_{ai} \Delta_{ai} L_{ai} \text{ avec } \Delta_{ai}^T \Delta_{ai} < I$$

*Théorème 3* : Le système décrit par l'équation (2) est stable s'il existe des matrices  $P = P^T \geq 0$  et  $Q$  et des scalaires  $\varepsilon_{ai}$  telles que les inégalités suivantes sont vérifiées :

$$\left[ \begin{array}{ccc} \text{sym}(A_i(PE^T + E^\perp Q)) + \varepsilon_{ai} J_{ai} J_{ai}^T & * & \\ L_{ai}(PE^T + E^\perp Q) & -\varepsilon_{ai} I & \\ i = 1 \dots r & & \end{array} \right] < 0 \quad (11)$$

*Preuve 4* : La preuve de ce Théorème 4 est déduite directement à partir du Théorème 2. Le système (2) est stable s'il existe deux matrices  $P = P^T \geq 0$  et  $Q$  :

$$\text{sym}((A_i + \Delta A_i)(PE^T + E^\perp Q)) < 0 \quad i = 1 \dots r \quad (12)$$

En utilisant le Lemme 1, on peut déduire que le système (2) est stable s'il existe deux matrices  $P = P^T \geq 0$  et  $Q$  et des scalaires  $\varepsilon_{ai}$  tels que :

$$\varepsilon_{ai}^{-1} (PE^T + E^\perp Q)^T L_{ai}^T L_{ai} (PE^T + E^\perp Q) < 0 \quad i = 1 \dots r \quad (13)$$

En appliquant le complément de Shur, l'inégalité (11) sera déduite à partir de (13).

éorème Le système décrit par l'équation (2) est stable s'il existe des matrices  $P = P^T \geq 0$ ,  $Q$  et  $G$  et des scalaires  $\varepsilon_{ai}$  telles que les inégalités suivantes sont vérifiées :

$$\left[ \begin{array}{ccc} \text{sym}(A_i G) + \varepsilon_{ai} J_{ai} J_{ai}^T & * & * \\ (PE^T + E^\perp Q) + A_i G - G^T & -(G + G^T) & * \\ L_{ai} G & L_{ai} G & -\varepsilon_{ai} I \end{array} \right] < 0 \quad i = 1 \dots r \quad (14)$$

*Preuve 5* : De la même manière, ce résultat est déduit directement à partir du Théorème 3, le Lemme 1 et le complément de Shur

$$\underbrace{\left[ \begin{array}{cc} 0 & (PE^T + E^\perp Q)^T \\ (PE^T + E^\perp Q) & 0 \end{array} \right]}_b + \underbrace{\text{sym} \left\{ \left[ \begin{array}{c} (A_i + \Delta A_i)G \\ -G \end{array} \right] \left[ \begin{array}{cc} I & I \end{array} \right] \right\}}_a < 0 \quad i = 1 \dots r \quad (15)$$

Nous pouvons écrire que :

$$a = \text{sym} \left\{ \left[ \begin{array}{c} A_i G \\ -G \end{array} \right] \left[ \begin{array}{cc} I & I \end{array} \right] \right\} + \underbrace{\text{sym} \left\{ \left[ \begin{array}{cc} \Delta A_i G & \Delta A_i G \\ 0 & 0 \end{array} \right] \right\}}_c$$

or

$$c = \text{sym} \left\{ \left[ \begin{array}{cc} J_{ai} \Delta_{ai} L_{ai} & J_{ai} \Delta_{ai} L_{ai} \\ 0 & 0 \end{array} \right] G \right\} = \text{sym} \left\{ \left[ \begin{array}{c} J_{ai} \\ 0 \end{array} \right] \Delta_{ai} \left[ \begin{array}{cc} L_{ai} & L_{ai} \end{array} \right] G \right\} = \text{sym} \left\{ \tilde{J}_{ai} \tilde{\Delta}_{ai} \tilde{L}_{ai} G \right\}$$

avec

$$\tilde{J}_{ai} = \left[ \begin{array}{c} J_{ai} \\ 0 \end{array} \right], \tilde{\Delta}_{ai} = \Delta_{ai}, \tilde{L}_{ai} = \left[ \begin{array}{cc} L_{ai} & L_{ai} \end{array} \right]$$

Par conséquent (15) est équivalent à l'inégalité suivante :

$$\left[ \begin{array}{cc} \text{sym}(A_i G) & * \\ G^T A_i^T - G + (PE^T + E^\perp Q) & -(G + G^T) \end{array} \right]^+ \text{sym} \left\{ \tilde{J}_{ai} \tilde{\Delta}_{ai} \tilde{L}_{ai} G \right\} < 0 \quad i = 1 \dots r \quad (16)$$

En appliquant le Lemme 1 nous pouvons conclure que (16) est équivalent à (14).

## V. EXEMPLE DE SIMULATION

Pour illustrer les performances des résultats développés, nous considérons le système descripteur à 4 règles défini par :

$$E \dot{x}(t) = \sum_{i=1}^4 h_i z(t) (A_i + J_{ai} \Delta_{ai} L_{ai}) x(t) \quad (17)$$

$$\text{tel que : } E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad E^\perp = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 50 \\ 0.89 & -10 & 10 \\ -0.8 & -0.1 & -30 \end{bmatrix}$$

$$J_{a1}^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -0.17 & -1.6 & -0.45 \end{bmatrix} \quad L_{a1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0.34 & 0.03 & 6 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0.93 & 0.72 & 51.6 \\ 0.8 & -9 & 11 \\ -0.9 & -0.1 & -30 \end{bmatrix}$$

$$J_{a2}^T = \begin{bmatrix} 0 & -0.1 & 0.1 \\ 0.03 & -0.02 & 0.01 \end{bmatrix} \quad L_{a2} = \begin{bmatrix} 0.2 & 0 & 0.55 \\ 1.9 & 0.12 & 15 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 50 \\ 0.89 & -10 & 10 \\ -0.8 & -0.1 & -30 \end{bmatrix}$$

$$J_{a3}^T = \begin{bmatrix} 0 & 0.4 & 0.2 \\ 0.03 & 0 & 0.01 \end{bmatrix} \quad L_{a3} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.8 \\ 1.87 & 0.15 & 12 \end{bmatrix}$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} 0.37 & 0.29 & 50.6 \\ 0.8 & -10 & 10 \\ -0.9 & -0.15 & -35 \end{bmatrix}$$

$$J_{a4}^T = \begin{bmatrix} 0 & -0.5 & -0.1 \\ -0.17 & -1.6 & 0.45 \end{bmatrix}$$

$$L_{a4} = \begin{bmatrix} -0.2 & -0.3 & -0.25 \\ 0.37 & 0.02 & 6 \end{bmatrix}$$

$$h_1(z(t)) = \sin(x_1(t))/2, h_2(z(t)) = (1 - \sin(x_1(t)))/2,$$

$$h_3(z(t)) = \cos(x_2(t))^2, h_4(z(t)) = 1 - \cos(x_2(t))^2$$

En appliquant le Théorème 4, on obtient :

$$P = \begin{bmatrix} 0.6680 & * & * \\ 0.0219 & 0.2335 & * \\ 5.8756 \cdot 10^{-013} & -1.8443 \cdot 10^{-014} & 2.059 \end{bmatrix}$$

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -0.0304 & -0.151 & 0.0121 \end{bmatrix}$$

$$\varepsilon_{a1} = 0.9965, \varepsilon_{a2} = 3.5577, \varepsilon_{a3} = 2.3527, \varepsilon_{a4} = 1.0155$$

En appliquant le Théorème 5, nous obtenons également des conditions LMIs faisables avec :

$$P = \begin{bmatrix} 77.2273 & * & * \\ -6.3607 & 256.4670 & * \\ -1.2516 \cdot 10^{-011} & -1.3253 \cdot 10^{-012} & 172.1319 \end{bmatrix}$$

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -48.0889 & -17.5428 & 27.7390 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 72.4722 & * & * \\ 5.6084 & 23.9236 & * \\ -2.6478 & 0.0078 & 0.9868 \end{bmatrix}$$

$$\varepsilon_{a1} = 82.0047, \varepsilon_{a2} = 409.9324,$$

$$\varepsilon_{a3} = 312.1090, \varepsilon_{a4} = 81.0858$$

la figure suivante décrit l'évolution des états du système, tout en considérant des incertitudes paramétriques variables dans le temps :

$$\Delta_{a1} = \sin(2\pi ft), \Delta_{a2} = \sin(6\pi ft),$$

$$\Delta_{a3} = \cos(4\pi ft), \Delta_{a4} = \cos(\pi ft)$$

$$f = \begin{cases} 2 \text{ si } t \in [0 \ 2] \\ 5 \text{ si } t \in [2 \ 5] \\ 0.5 \text{ si } t \in [5 \ 10] \end{cases}$$

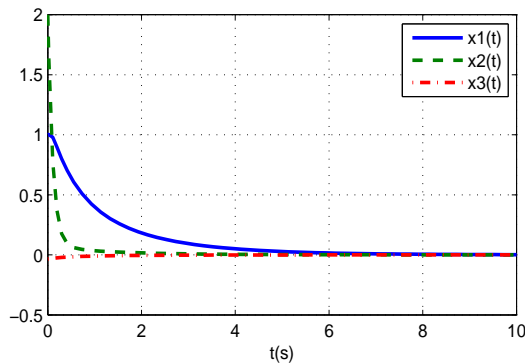


Fig. 1. Evolution des états du système

D'après la figure 1, nous pouvons remarquer que les états des systèmes convergent bien vers l'état d'équilibre malgré les variations des paramètres. Par conséquent, les résultats présentés sont bien vérifiés .

## VI. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons traité le problème de stabilité robuste des systèmes descripteurs flous. Deux résultats mis sous forme LMIs (sans contraintes égalités) de la stabilité du système nominal puis incertain ont été proposés. Pour illustrer les deux résultats, un exemple de simulation

a été proposé. En perspective, les conditions du Théorème 5 seront étendues à l'étude de la stabilisation robuste des systèmes descripteurs de cette classe de systèmes non linéaires.

## RÉFÉRENCES

- [1] Bouarar T., K.Guelton, B. Mansouri , N. Manamanni et P. P;Billaudel. Stabilization of uncertain Takagi-Sugeno descriptors : a fuzzy Lyapunov approach. 16th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED'08). IEEE, Ajaccio, Corsica, France, pp 1616-1621 juin 2008.
- [2] Chaabane M., D. Mehdi and M. Souissi . Stability and stabilization of continuous descriptor systems : An LMI approach. International Conference on Signals Systems Decision and Information Technology, SSD05,, Sousse, Tunisia pp. 36, March 2005.
- [3] Chaabane M., O. Bachelier, D. Mehdi and M. Souissi . Stability and stabilization of continuous descriptor systems : An LMI approach. Mathematical Problems in Engineering, D-39367 1-15, 2006.
- [4] Dai L. (1989). Singular control systems. Springer-Verlag. New-York.
- [5] Kuo C. H. and C. H. Fang. An LMI approach to admissibilization of uncertain descriptor systems via static output feedback. In : Proceeding of the American Control Conference ACC. Denver, Colorado, USA, pp 5104-5109 2003.
- [6] Lee H.J., S.W. Kau, C.H. Lee, L. Hong, H.Z. Yang, et C.H. Fang.  $H_\infty$  Control for Discrete-Time Fuzzy Descriptor Systems IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp 5059-5064, 2006.
- [7] Ma B.P. et J. Sun. Robust stabilization of uncertain T-S fuzzy descriptor systems. In Proc. 3rd IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Shanghai, China, pp 334-337, vol.1 2004.
- [8] Ma B.P. , X.M. Zhu, et J. Sun. Guaranteed cost control of uncertain T-S fuzzy descriptor systems. Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Guangzhou, pp 742-746, August 2005
- [9] Senthilkumar D. et C. Mahanta.  $H_\infty$  Trajectory tracking control for fuzzy descriptor systems. International Conference on Control, Automation, Communication and Energy Conservation, INCACEC-2009, Perundurai, India, June 4-6, 2009.
- [10] Takaba K., N. Morihira et T. A. Katayama. Generalized Lyapunov theorem for descriptor system. Systems and Control Letters, Vol. 24, pp. 49-51, 1995.
- [11] Takagi T. et M. Sugeno. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 15(1), pp116-132, 1985.
- [12] Tanaka K., T. Ikeda and H.O. Wang. Fuzzy Regulators and Fuzzy Observers : Relaxed Stability Conditions and LMI based Designs IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol 6, n°2, pp 1-16, 1998
- [13] Tanaka K., H. Ohtake et H.O. Wang. A Descriptor System Approach to Fuzzy Control System Design via Fuzzy Lyapunov Functions. IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol. 15, No. 3, pp. 333-341, June 2007.
- [14] Taniguchi T., K. Tanaka, K. Yamafuji et H.O. Wang. Fuzzy descriptor systems : Stability analysis and de-sign via LMIs. Proceedings of the American Control Conference, San Diego, California, pp.1827-1831, 1999.
- [15] Taniguchi T., K. Tanaka, et H.O. Wang, "Fuzzy descriptor systems and nonlinear model following control", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol.8, No.4, pp.442-452, 2000.
- [16] Xu S. et J. Lam. Robust control and filtering of singular systems Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.
- [17] Yoneyama J., and A. Ichikawa. H Control for Takagi-Sugeno Fuzzy Descriptor Systems. In Proc. IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybem, Tokyo, Japan, Vol. 3, pp 28-33, 1999.
- [18] Wang Y., Q. L. Zhang, et W. Q. Liu. Stability analysis and design for T-S fuzzy descriptor systems. 40th IEEE CDC, pp. 3962-3967, 2001.
- [19] Wang Y., Q.L. Zhang, X.D. Liu. Robustness design of uncertain discrete-time fuzzy descriptor systems with guaranteed admissibility. Proceedings of the American Control Conference Anchorage, pp 1699-1704, 2002.