

## Commande par Mode Glissant Adaptative Floue appliquée à un bras manipulateur à deux degrés de liberté

Présenté Par: **Abdenmour BENNAMIA**

Encadré par: **Azzedine HAMZA**

### INTRODUCTION

Les travaux présentés dans ce projet de fin d'études traitent la commande des robots manipulateurs (à deux degrés de liberté) avec modèle dynamique non linéaire incertain. L'objectif est de montrer que la combinaison de la commande floue adaptative avec la commande à mode glissant peut être utilisée pour modéliser la dynamique des systèmes non linéaires avec modèle dynamique incertain et concevoir des structures de commande stables et robustes. L'apport principal de cette étude réside dans le développement de méthodologies de commande à base de logique floue dont les fonctions d'appartenance en sortie sont mise à jour en temps réel en fonction d'une surface du glissement choisie au préalable. Les résultats de simulation ont montré une très grande robustesse vis-à-vis les perturbations extérieures et des temps de réponse très satisfaisantes.



### MÉTHODES PROPOSÉES

En premier lieu on a élaboré le modèle dynamique du robot à deux degrés de liberté (2DDL) via le formalisme du Lagrange. Cette méthode nous donne un modèle dynamique indirecte MIMO non linéaire incertain sous une forme matricielle donnée comme suite :

$$\tau = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) - \tau_d - F(\dot{q})$$

avec  $q = (\theta_1, \theta_2)^T$

Ensuite on a proposé une commande à mode glissant SMC connue par sa robustesse contre les perturbations modélisée dans  $\tau_d$ . La surface du glissement est choisie de la forme:

$$S = \dot{e} - \lambda \cdot e \quad \text{avec } e = q - q_d$$

La loi de commande à mode glissant est donnée par:

$$\tau = f(q, \dot{q}, \ddot{q}) + K \cdot S \quad \text{avec } f(q, \dot{q}, \ddot{q}) = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) - F(\dot{q})$$

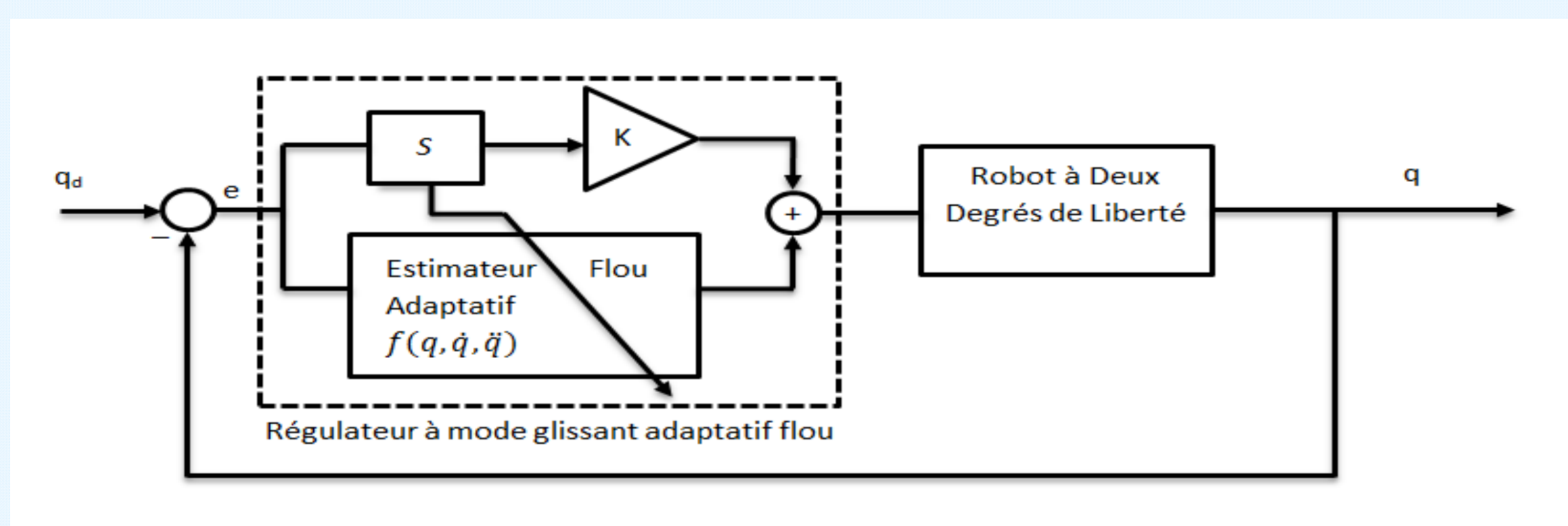
A fin d'appliquer cette loi de commande sur notre robot à 2DDL, on doit déterminer au préalable la fonction  $f(q, \dot{q}, \ddot{q})$ . Pour faire on calcule les valeurs en temps réel de cette fonction via un estimateur à base de logique floue.

La sortie du notre système flou est donné par :

$$\hat{f}(q, \dot{q}, \ddot{q}) = \alpha^T \xi(q) \quad \text{avec } \xi(q) = \frac{\prod_{i=1}^n \mu_i(q_i)}{\sum_{j=1}^m \prod_{i=1}^n \mu_i(q_i)} \quad \text{et } \alpha = (y^1, y^2, \dots, y^m)$$

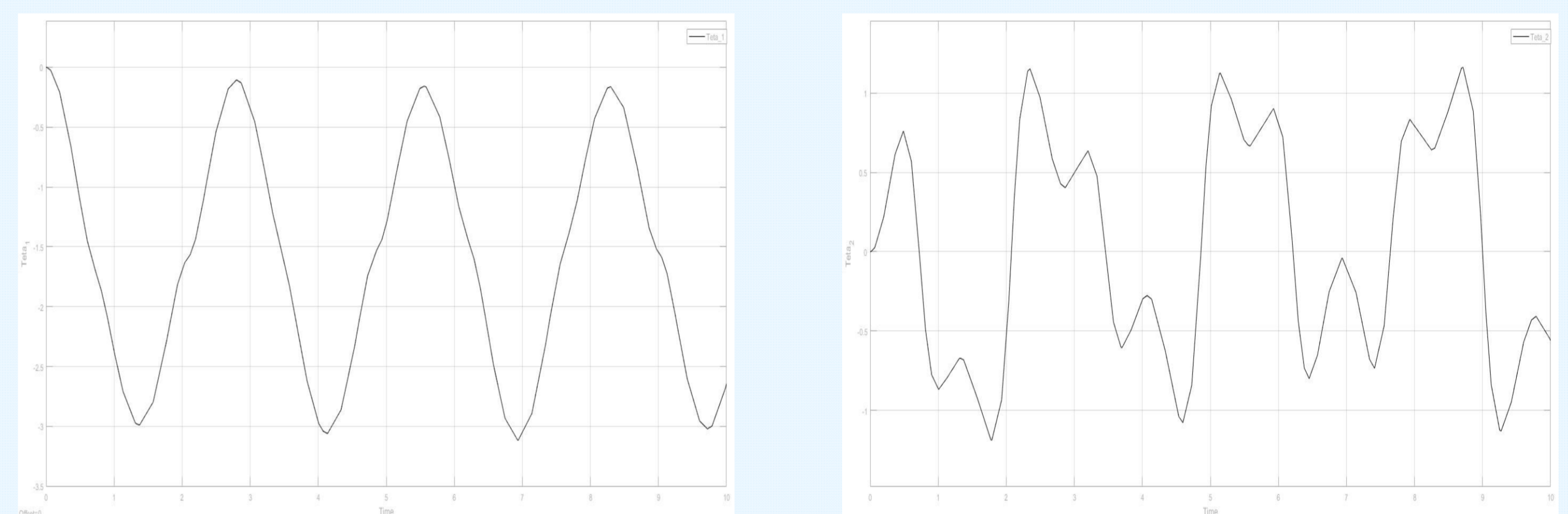
La partie adaptative de cette commande réside dans la mise à jour en temps réel des fonctions d'appartenance de notre système flou et cela en fonction de la surface du glissement  $S$  :

$$\dot{\alpha} = r \cdot S \cdot \xi(q)$$

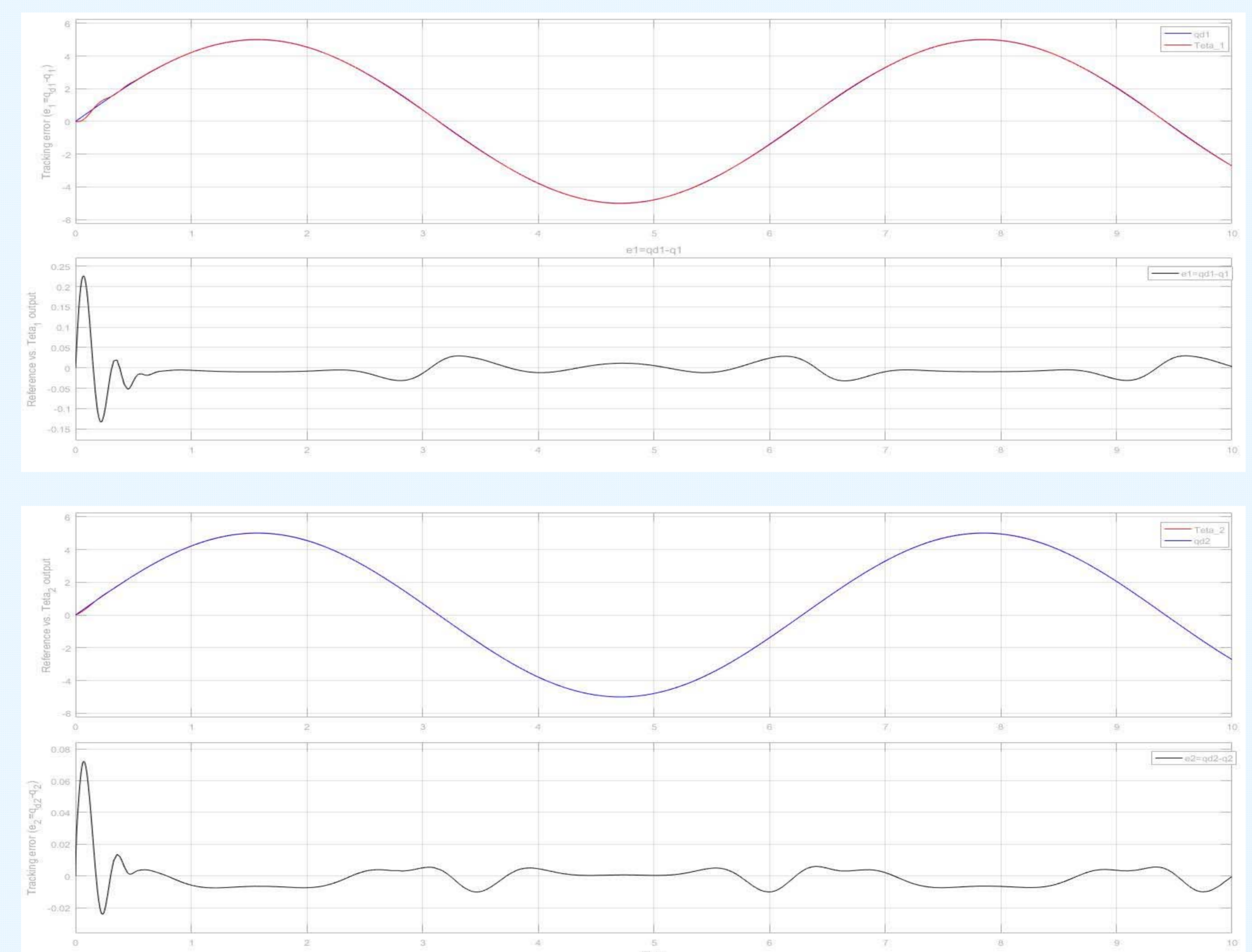


### RÉSULTATS

#### 1- Sortie du système en régime libre



#### 2- Sortie du système avec une commande à mode glissant flou adaptative



### ANALYSE ET DISCUSSION

L'application de la commande à mode glissant floue adaptative a montré de très grande capacité en rejet des perturbations et en robustesse contre les incertitudes de modélisation. Les résultats de simulation ont donné satisfaction en stabilité et suivi de trajectoire pour des consignes sinusoïdales pour les deux articulations de notre robot à 2DDL. On a remarqué que la rapidité (dynamique) de notre système pour éliminer l'erreur de suivi dépend du choix de la valeur de  $\lambda$ , et que la dynamique du système flou qui estime la sortie du système réel pour la commande dépend du choix de la valeur de  $r$ . Ainsi il faut choisir ces deux paramètres suffisamment grands pour avoir plus de rapidité toute en respectant l'application requise pour notre robot manipulateur.

### CONCLUSION

Dans ce projet on a appliqué une commande hybride floue, adaptative et à mode glissant en vue de la commande en position d'un robot à deux degrés de liberté. Le modèle du robot est un système MIMO non linéaire incertain et donc un tel choix de stratégie de commande était nécessaire pour prendre part des incertitudes et des perturbations en temps réel. Cette stratégie hybride a montré des très grandes capacités dans le suivi de trajectoire sinusoïdale pour les deux articulations du robot. La dynamique de la réponse du système est lié au choix des paramètres de la surface du glissement et le mécanisme de la mise à jour du système flou adaptatif.

Dans des études futures, l'application de cette stratégie de commande à un système MIMO non-linéaire **discret** est envisageable, ainsi sur d'autres types de systèmes non linéaire dont la forme est différente de celle étudiée ci-dessus.