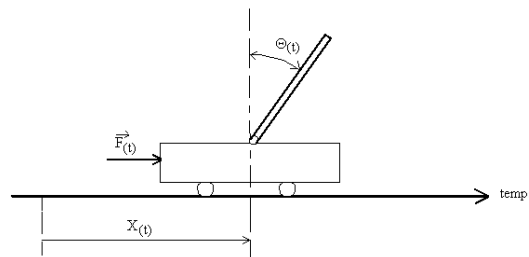

TP PENDULE INVERSE

Première partie : Simulation



Commandabilité et observabilité du système

I. Vérification de la contrôlabilité (commandabilité du système)

On a 4 états $(x, \dot{x}, \theta, \dot{\theta})$ pour ce système. Le rang de la matrice MC est $\text{rank}(MC) = 4$, ce qui correspond au nombre de variables contrôlables. On en déduit que le système est commandable.

II. Vérification de l'observabilité du système

On calcul ici le $\text{rang}(MO) = 4$, ce qui correspond au nombre de variables observables. On a donc un système observable.

Suite à la modification de la matrice C pour correspondre à un système où le capteur de position linéaire n'existe pas, on obtient un $\text{rank}(MO) = 2$. On en déduit que l'on ne peut pas retirer ce capteur si l'on veut un système entièrement observable.

Suite à la modification de la matrice C pour correspondre à un système où le capteur de position angulaire n'existe pas, on obtient un $\text{rank}(MO) = 4$. On en déduit que même si l'on retire ce capteur, le système restera entièrement observable.

On en déduit que, sur le modèle théorique, le capteur de position angulaire n'est pas vital au bon fonctionnement du système. Néanmoins, la réalité est différente : les frottements, les grains sous les roues... Tous ces paramètres ne sont pas pris en compte dans le modèle théorique, ce qui va faire que la valeur réelle de l'angle va s'écarter de la valeur théorique. C'est pourquoi le capteur de position angulaire reste utile pour compenser ce décalage (mais il n'a pas besoin d'être aussi précis que le capteur de position linéaire).

Placement des pôles du système

I. Système parfait (sans « bruit »)

- Simulation avec pôles = -5

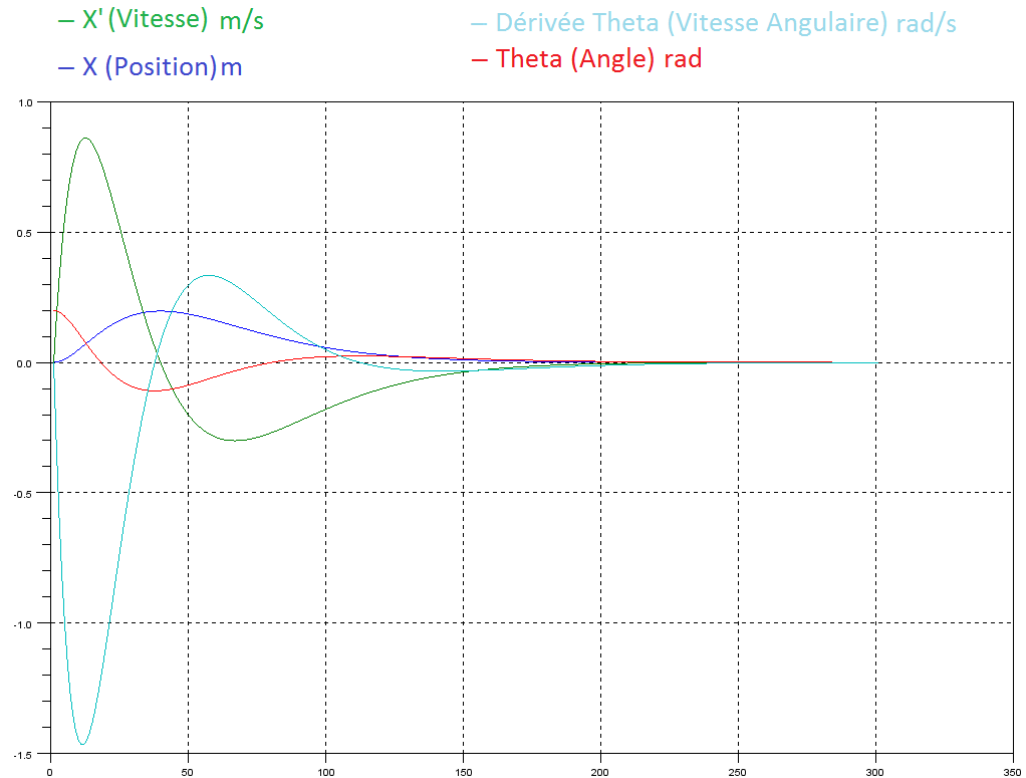


Figure 1 : Visualisation de la Simulation ($p=-5$)

On observe que le système tend à se stabiliser en 2 secondes. Les valeurs des différents paramètres sont inférieures aux limites du système données dans l'énoncé.

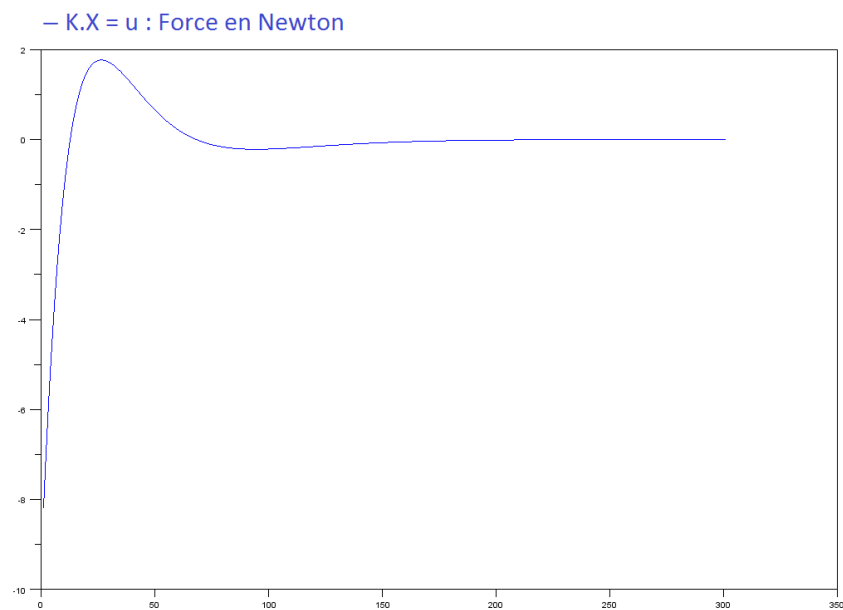


Figure 2 : Visualisation de la variation de u ($p=-5$)

• Simulation avec pôles = -10

On observe que le temps de réponse de notre système est nettement inférieur avec des pôles = -10. Néanmoins on voit que les conditions limites constructeurs ne sont pas respectées (exemple de $V_{linéaire\ mesurée} \approx 2\text{ m.s}^{-1} > V_{linéaire\ maxi} = 1\text{ m.s}^{-1}$).

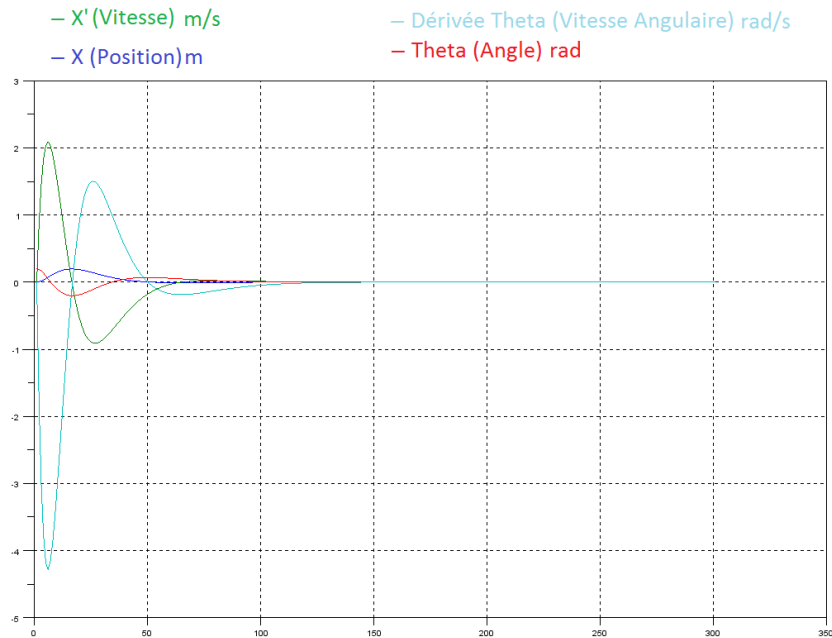


Figure 3 : Visualisation de la simulation ($p=-10$)

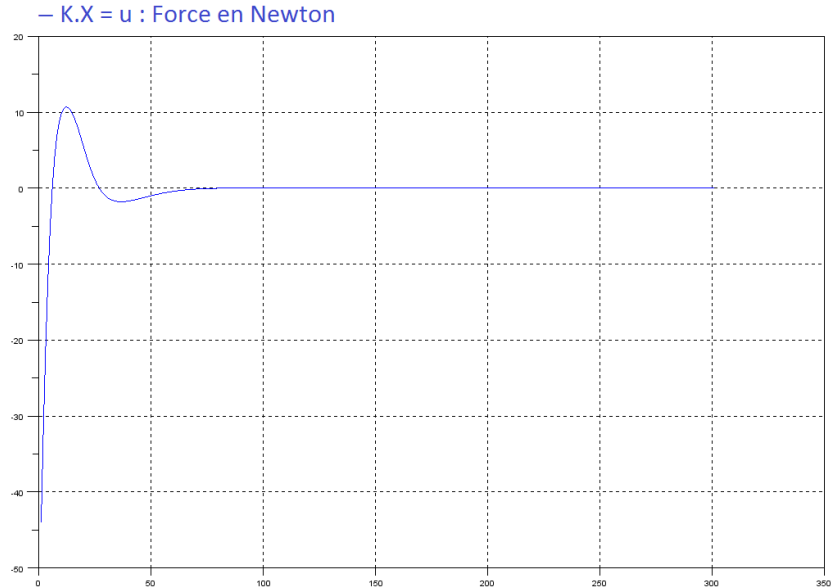


Figure 4 : Visualisation de la variation de u ($p=-10$)

• Simulation avec pôles = -1

On observe que le temps de réponse de notre système est nettement inférieur avec des pôles = -1. Néanmoins on voit que le temps de réponse est beaucoup trop lent, et que la position monte jusqu'à 2m (au lieu des 50cm souhaités).

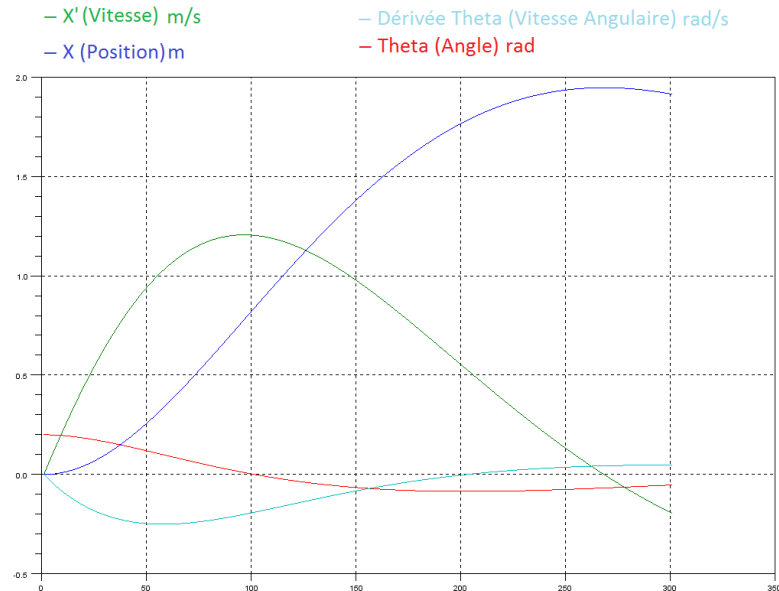


Figure 5 : Visualisation de la simulation ($p=-1$)

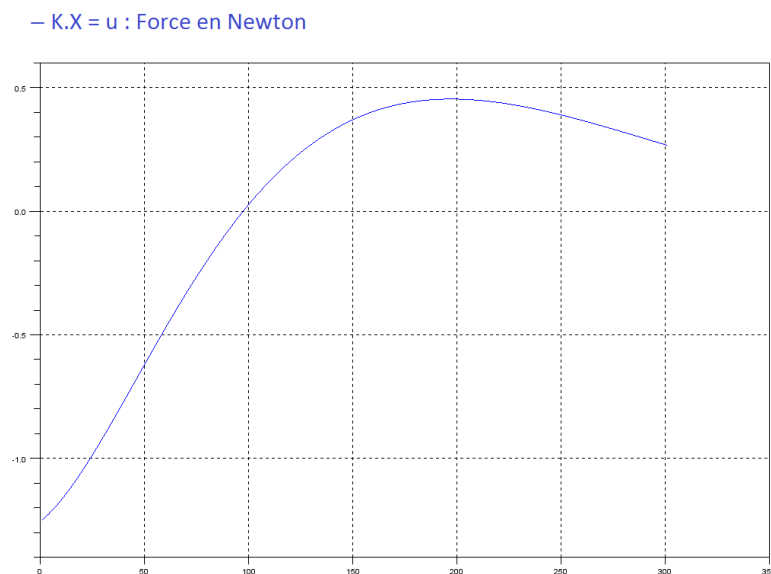


Figure 6 Visualisation de la variation de u ($p=-1$)

On ne peut donc pas utiliser des pôles à -10 ou -1. Nous allons néanmoins chercher à optimiser le temps de réponse de notre système, en variant la valeur des pôles, pour s'approcher des limites constructeurs.

En variant les pôles (valeurs entières), on s'aperçoit que nous respectons les limites physiques du système sur la plage allant de -6 à -3.

- **Simulation avec un pôle avec valeur nulle**

Voici les valeurs entrées : $pôles = [0, -5, -5, -5]$.

On observe que la position n'est jamais réglée. Cela est dû au pôle=0, qui n'est pas négatif.

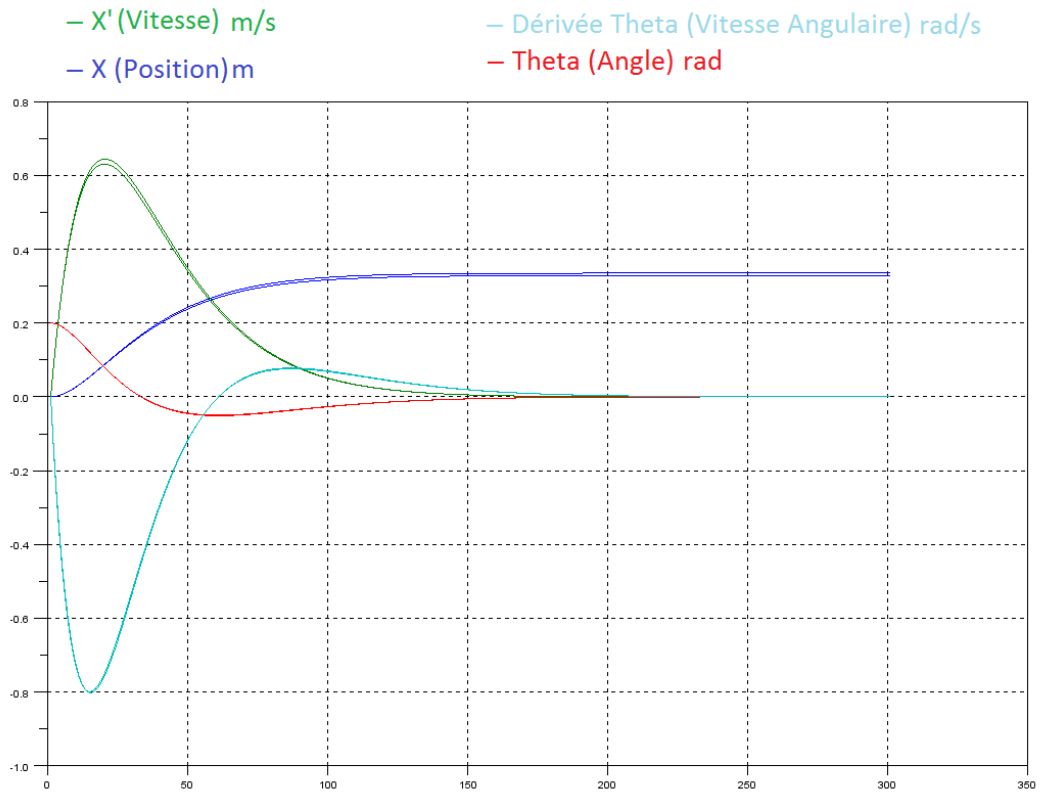


Figure 7 : Visualisation de la simulation (avec un pôle nul)

II. Système avec « bruit de mesure »

Nous avons rajouté un bruit de mesure (2% d'amplitude du signal) sur le système. Nous observons que sur la première pseudo période, le signal reste propre (le rapport amplitude du signal/bruit est faible).

Lorsque le système tend à se stabiliser, le rapport amplitude du signal/bruit est beaucoup plus important, ce qui entraîne une plus grande sensibilité au bruit. Cela fait que le système sera incapable de se réguler à une valeur précise, dans notre cas 0. Le système sera donc instable.

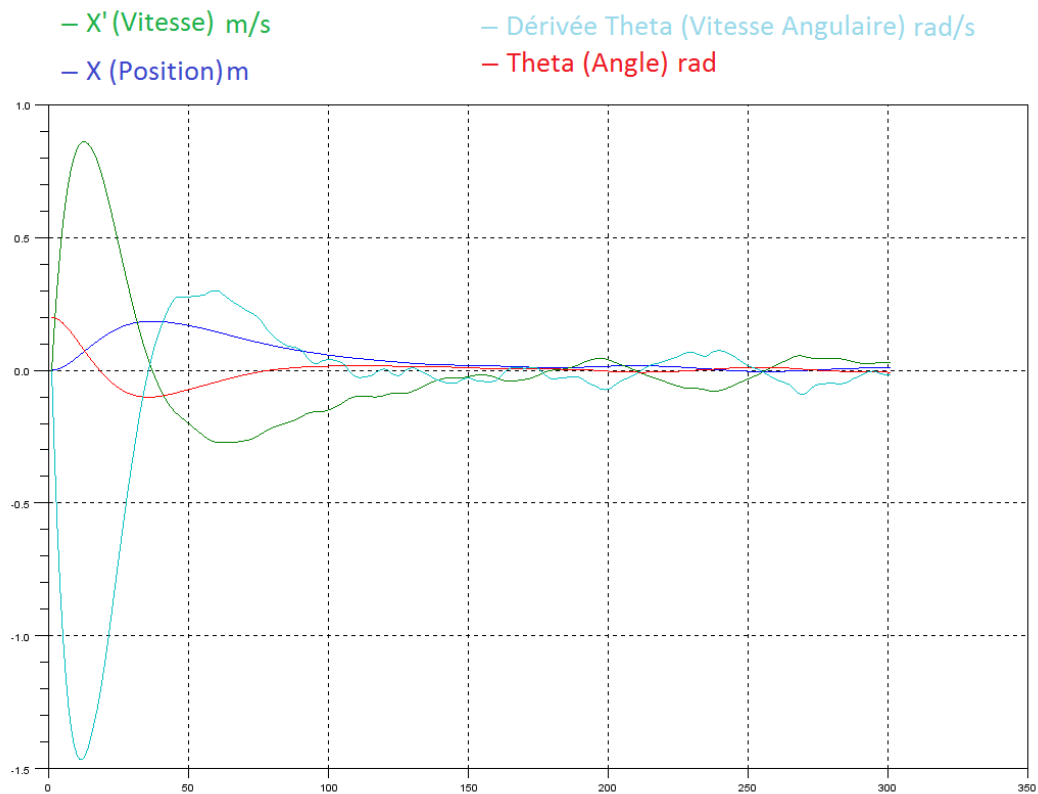
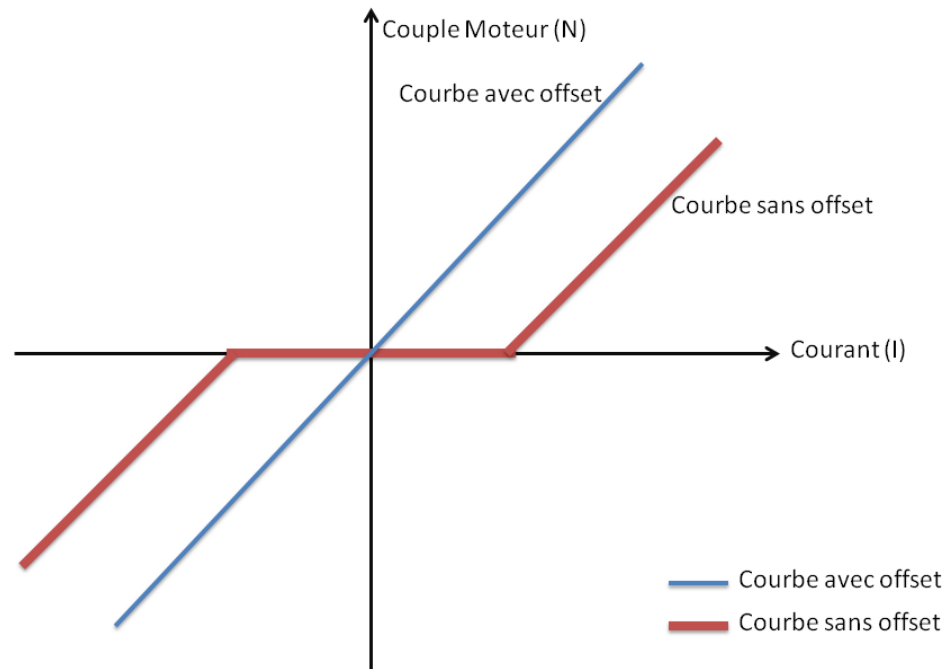


Figure 8 : Visualisation de la simulation (avec bruit)

Deuxième partie : Expérimentation

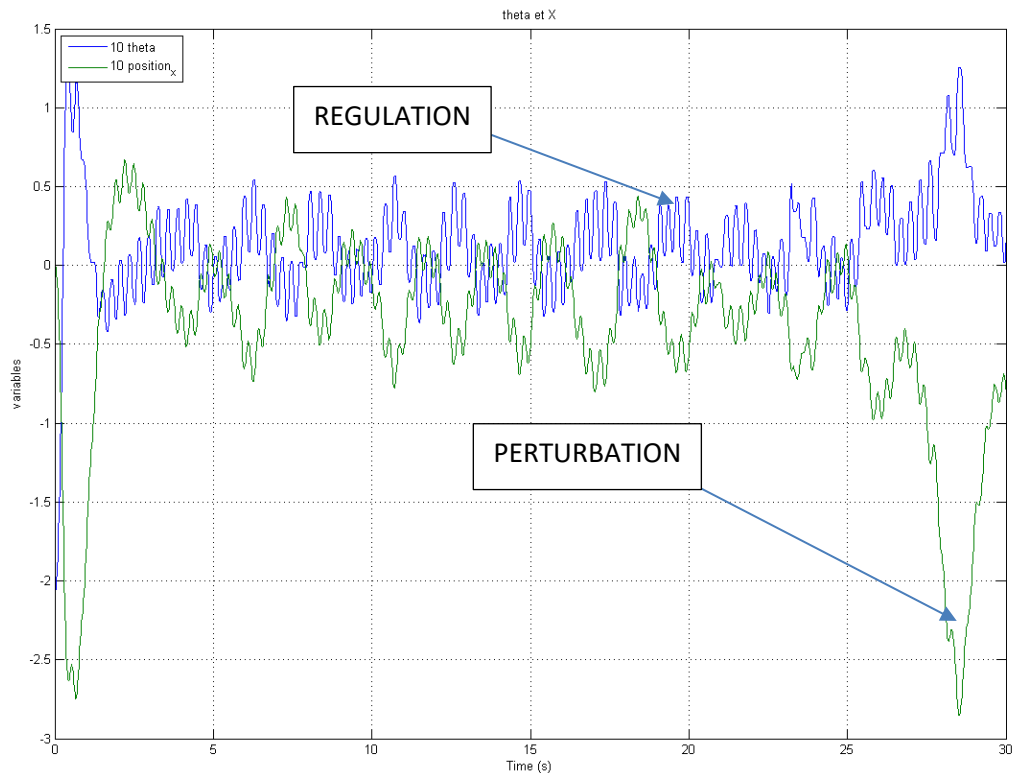
Avec un offset = 0, le temps de réaction est trop faible par rapport à la variation de l'angle. Cela fait que le chariot effectue des déplacements de grandes amplitudes pour compenser.



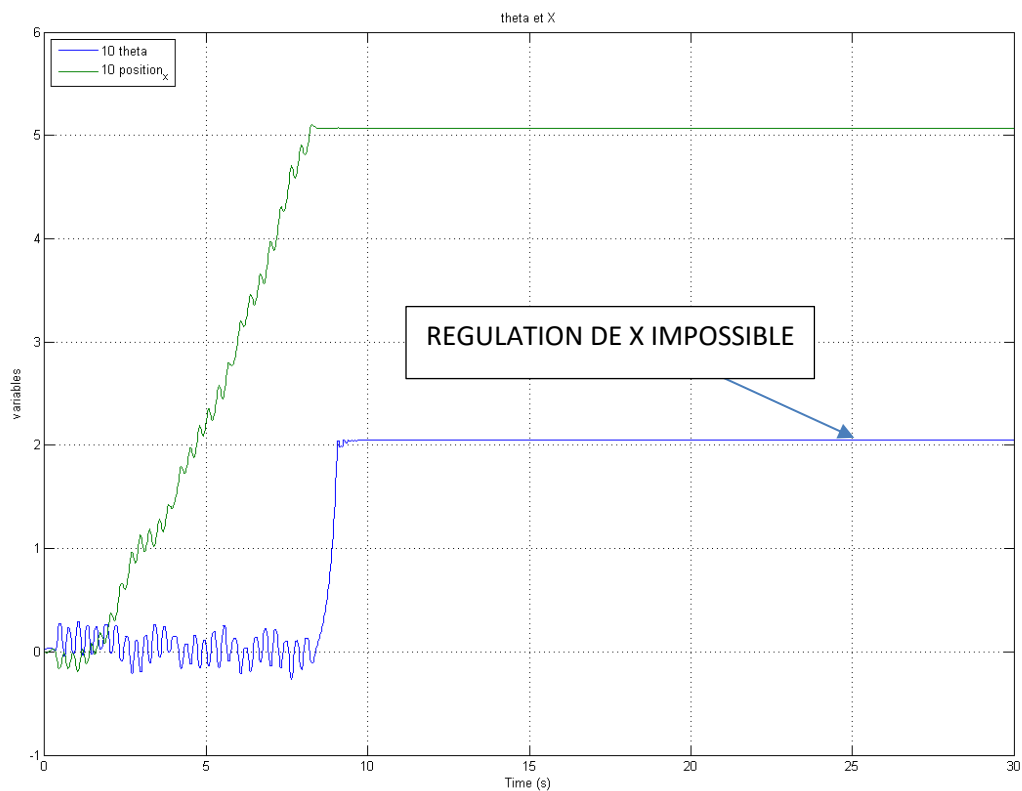
Hystérésis ou Système Non-Linéaire

En faisant varier l'offset, on remarque que le meilleur fonctionnement (rapport oscillations et « souplesse » des mouvements) se situe pour offset=2,5.

En faisant varier le temps d'échantillonnage, on note que si on l'augmente de trop, le système ne se stabilise plus (trop peu de valeurs).

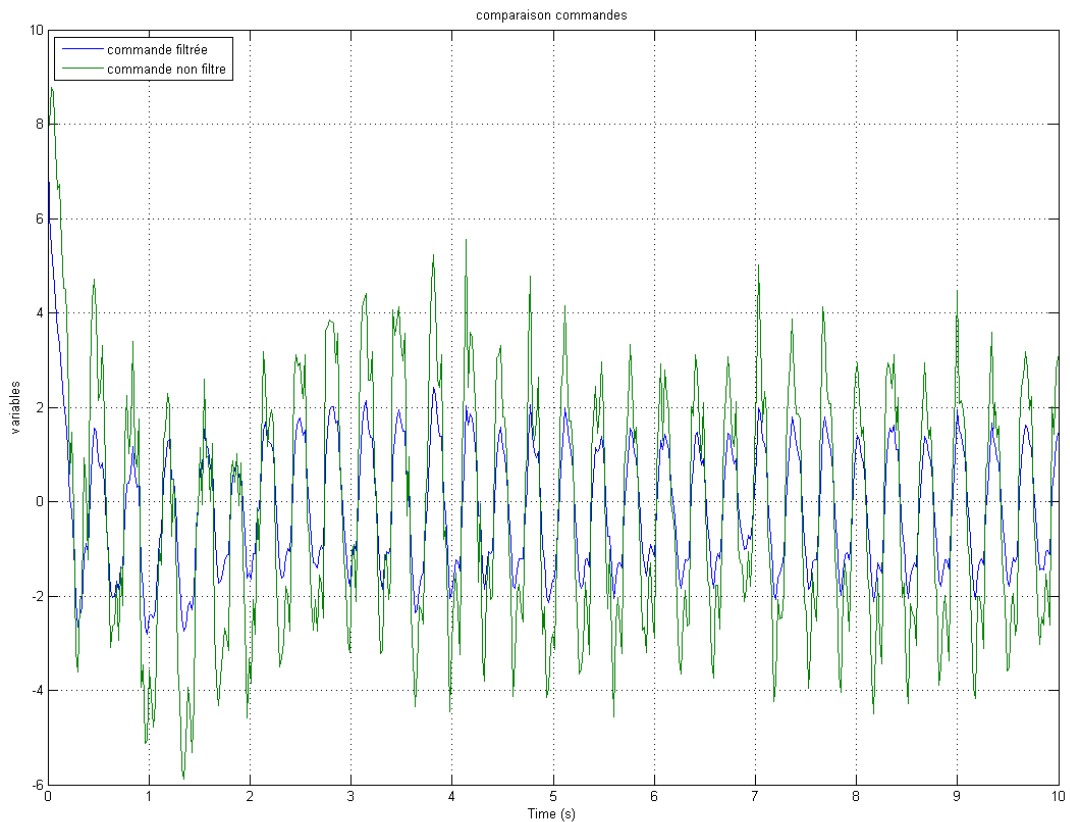


Si un pôle à une valeur nulle, comme vu dans la première partie, le système ne se stabilise pas.



• Simulation avec Filtrage Numérique

Après expérimentation avec filtrage numérique, on voit que le filtre permet d'avoir une enveloppe linéaire, et une amplitude plus petite que celle de la commande non filtrée.



Le modèle de Kalman permet donc d'obtenir un meilleur rapport oscillations et « souplesse » des mouvements, ainsi qu'une consommation plus faible.

Conclusion

Ce TP nous aura permis de mettre en application les différents outils étudiés en cours et en TD. Lier connaissance et pratique lors de ce TP aura été utile pour bien comprendre le rôle du Contrôle Commande et asservissements.