TRAVAUX PRATIQUE AUTOMATIQUE 1

ESTIMATION & RÉGULATION DE NIVEAUX D'EAU DANS UN SYSTÈME MULTI-BACS

Étudiants : TRAN Gia Quoc Bao & VALLET Nicolas Date: 20 Janvier 2020

Professeur : KHENNOUF Hayate

V. Estimation de niveau (Synthèse d'observateur):

1. Simulation:

a. L'équation d'état du système en boucle fermée:

$$\dot{x} = (A - BK)x + BK(x - \hat{x}), \qquad y = [0 \;\; 0 \;\; 1]x$$

b. La condition qui assure la stabilité du système en boucle fermée:

K et L doivent être calculés de tel sorte que (A - BK) et (A - LC) soient stables.

c. Calcul du gain K de la commande par placement de pôles et calcul du gain L de l'observateur:

Cahier des charges: réduire le temps de réponse du système en boucle fermée, avoir une réponse indicielle sans dépassement.

Pour réduire le temps de réponse du système, on choisit les pôles du système en boucle fermée:

$$P_{BF} = 1.5 * P_{BO} = [-0.0430 \;\; -0.0530 \;\; -0.0459]^T$$

Le gain K de la commande par placement de pôles:

$$K = 10^{-4} \times [4.1383 \; 2.0634 \; 0.5709]$$

Le gain statique G de la commande par placement de pôles:

$$G = 9.981 \times 10^{-4}$$

La loi de commande est:

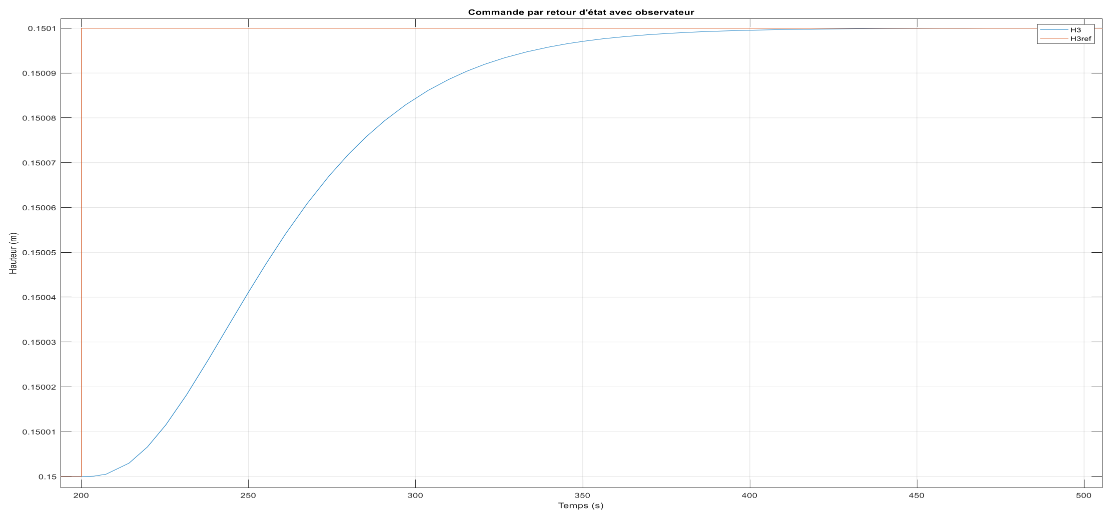
$$\mathrm{u} = -\mathrm{K}\hat{x} + \mathrm{Gr}$$

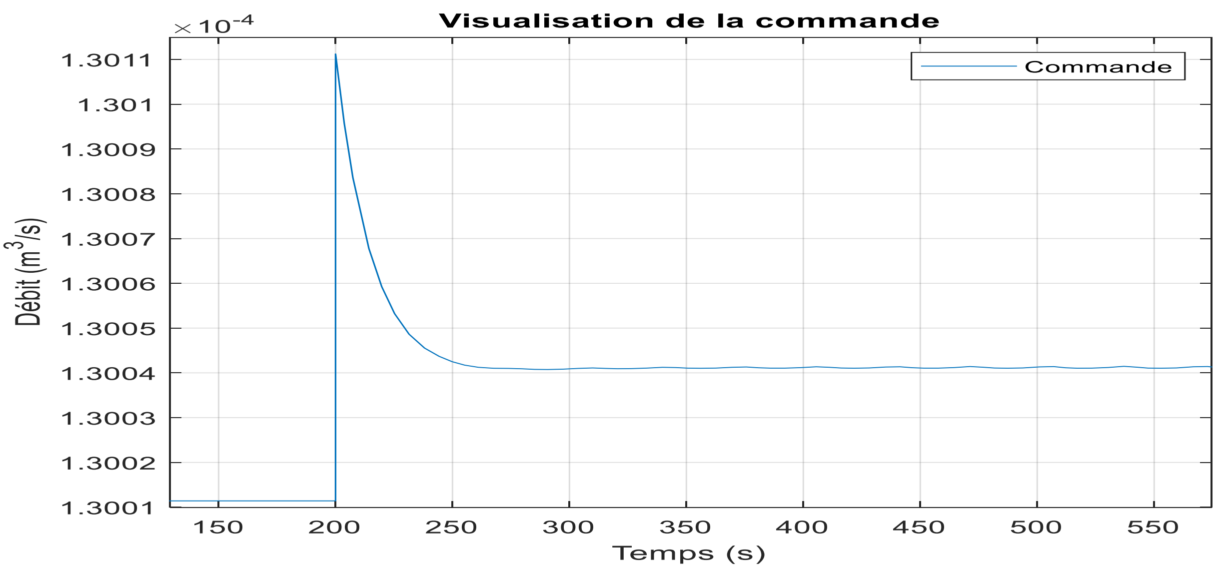
Les pôles de l'observateur sont choisis en multipliant par 10 des pôles de la boucle fermée, le gain de l'observateur:

$$L = [93.1866 \; 18.3582 \; 1.3243]^T$$

d. <u>Utilisation du schéma Simulink pour évaluer les performances de la loi de commande:</u>

Pour une entrée en échelon de 0.1501 m:

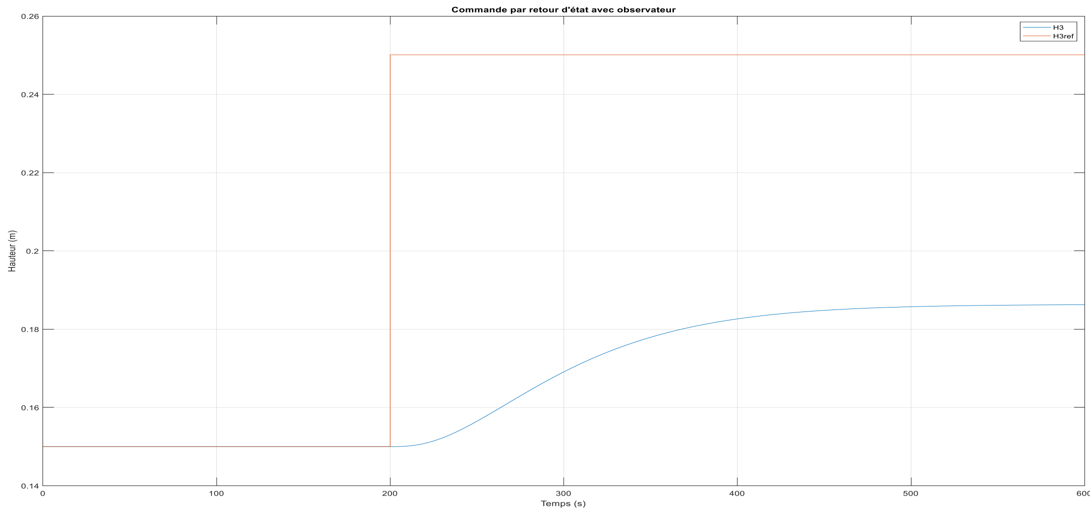


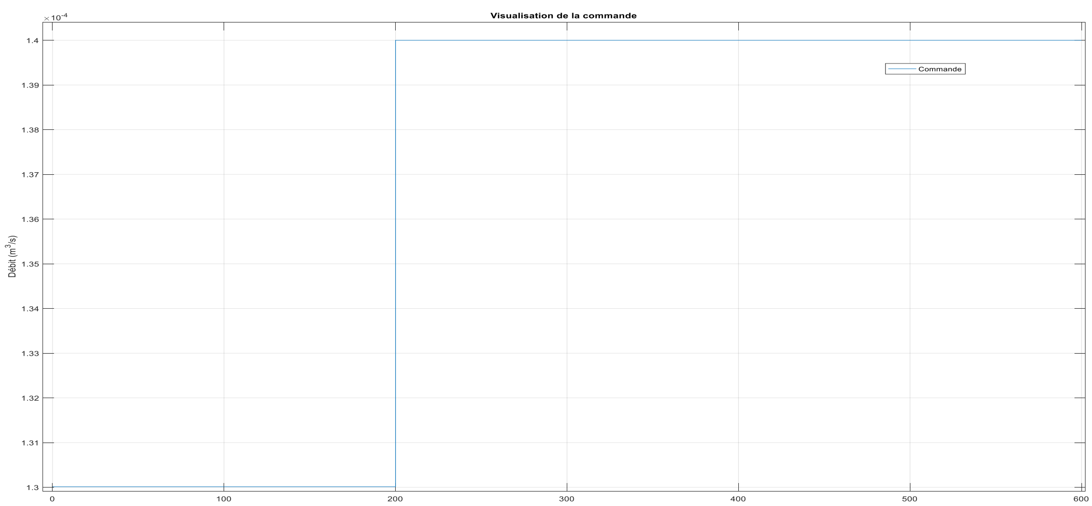


On voit que l'actionneur ne sature pas, il n'y a pas d'erreur statique et le système est plus rapide. On n'a pas de dépassement, alors le cahier des charges est bien respecté.

On observe une petite erreur statique: elle est du à l'utilisation d'une commande linéaire sur un modèle non linéaire. Pour surmonter cette situation, nous pouvons appliquer certaines lois de commande non linéaires.

Pour une entrée en échelon de 0.2501 m:



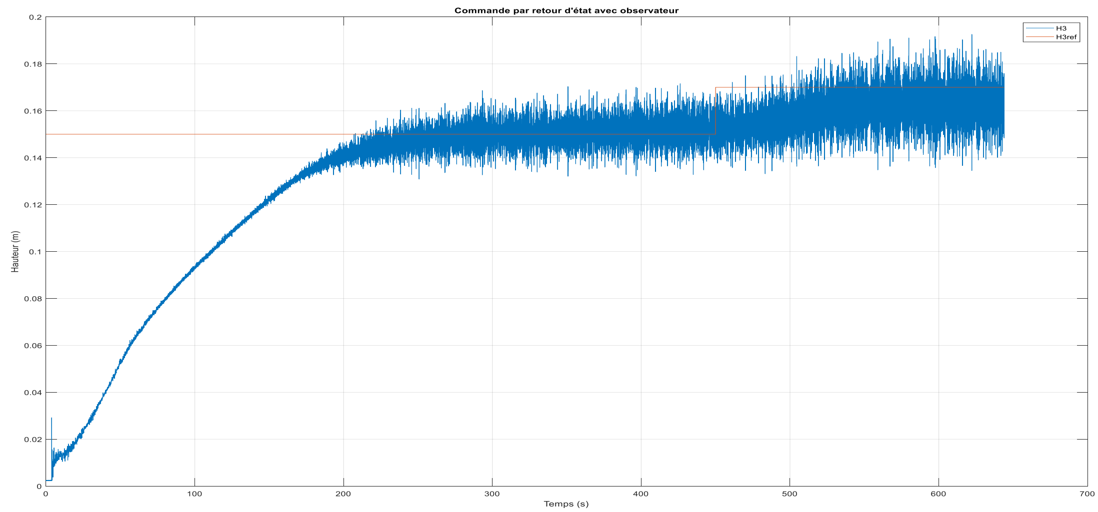


On voit que l'actionneur sature et que l'erreur statique est très élevée car le modèle linéaire n'est plus valide, l'observable qu'on a trouvé ne fonctionne pas autour ces points, l'échelon appliqué est trop important.

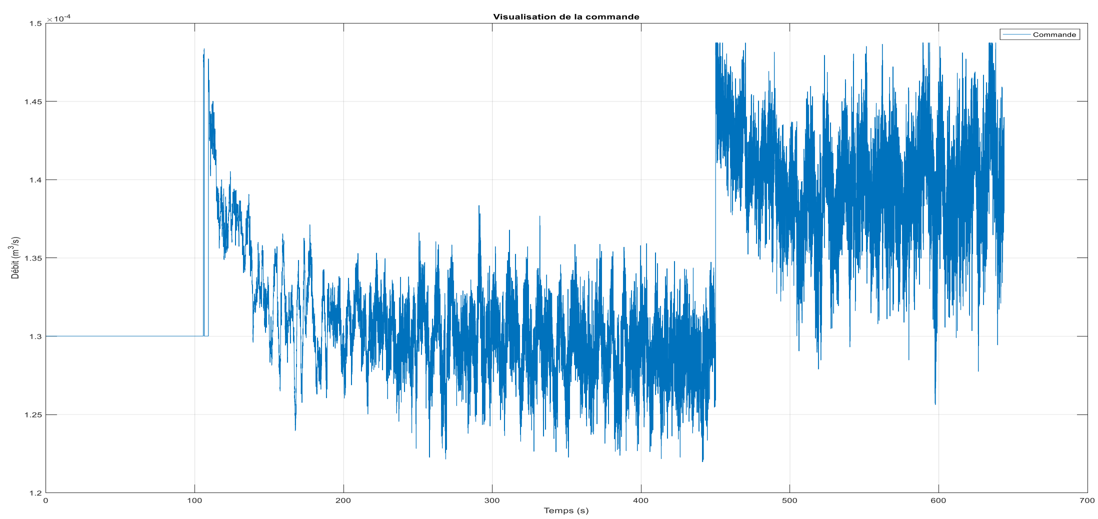
2. *Expérimentation:*

Utilisation du schéma Bacs_Exp.slx pour évaluer les performances de la commande en temps réel. Vérifier si les contraintes sur la commande et l'état du système sont bien respectées.

On voit que au début, il y a une grande différence entre les états données par l'estimateur et les états réels. Le système sans asservissment est déjà stable, alors on ajoute un « switch » manuel: au début on utilise le système en boucle ouverte, et quand on observe que les états estimés approchent les états réels, on change en boucle fermée, pour éviter l'erreur causée par l'estimation.

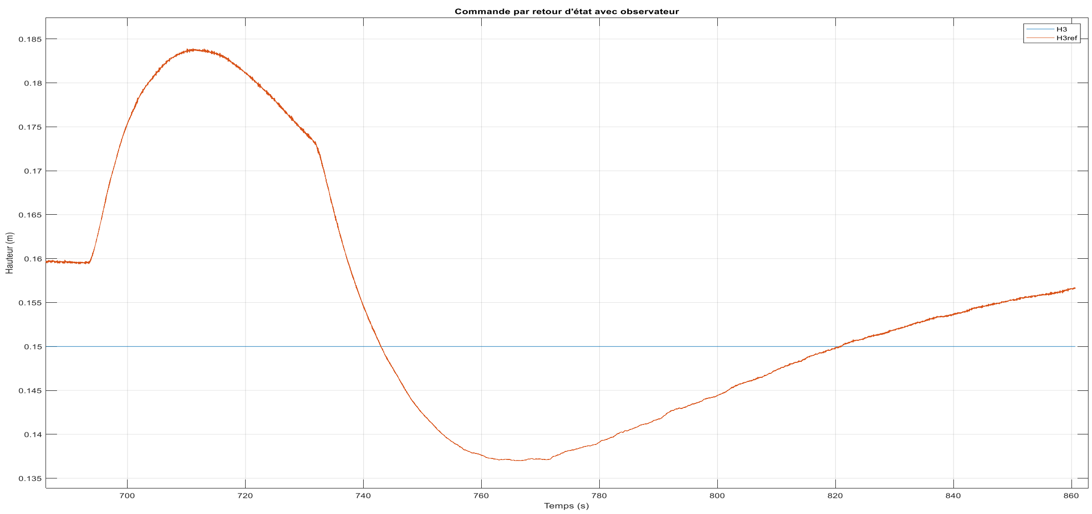


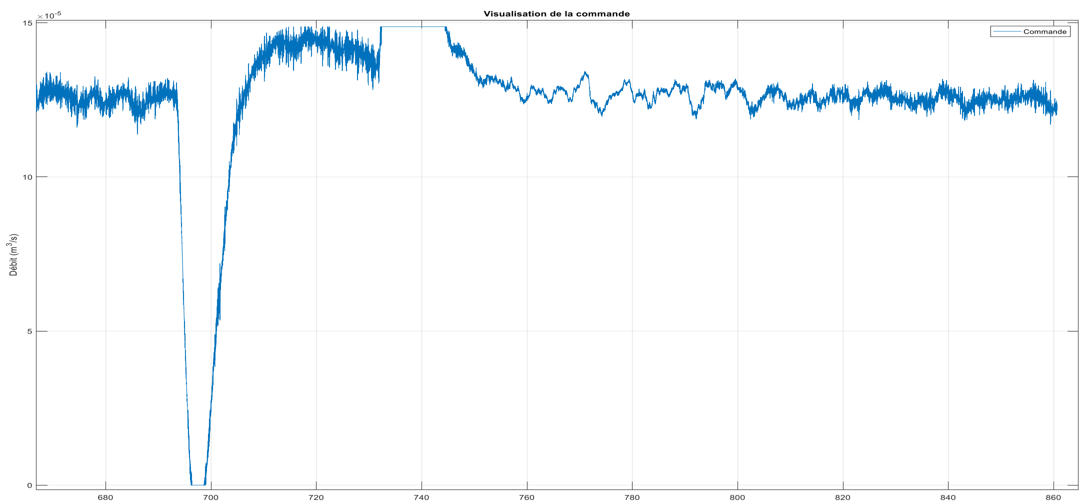
Estimer la performance de la commande est assez difficile car la valeur de H_1 est très bruitée. Cependant, il semble que lorsqu'on applique un échelon, on observe une erreur statique non nul. C'est parce qu'on applique une loi de commande linéaire sur un système non linéaire.



On observe que la commande sature juste pour une courte période.

<u>Réaliser plusieurs essais en perturbant le système (utiliser les électrovannes permettant de produire des débits perturbateurs). Discuter et analyser les résultats expérimentaux.</u>
On a perturbé le système par une fuite dans la valve entre le 2ᵉ et 3ᵉ bac. On voit qu'ici le niveau d'eau dans le 3ᵉ bac augmente brusquement parce que plus d'eau a été ajoutée au 3ᵉ bac (à environ 700s). Alors, la commande réduit à zéro immédiatement.





De plus, on observe que la commande sature. La commande par retour d'état est insuffisante pour rejeter l'effet d'une perturbation.

Que proposeriez-vous pour améliorer les performances de votre commande et pour pouvoir rejeter les perturbations agissant sur le système?

Nous proposons la commande par retour d'état avec action intégrale, avec cette représentation d'état:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ -C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} r + \begin{bmatrix} E \\ 0 \end{bmatrix} d, \qquad y = \begin{bmatrix} C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix}$$

$$z(t) = \int_0^t (r(\tau) - y(\tau)) d\tau$$

En utilisant MATLAB on vérifie que le système étendu est commandable. La loi de commande est:

$$u = -F\hat{x} - Hz$$

On choisit les pôles du système en boucle fermée de la façons suivante:

$$P_{BF} = [1.5 * P_{BO} \quad -0.4] = [-0.0430 - 0.0530 - 0.0459 - 0.4]^T$$

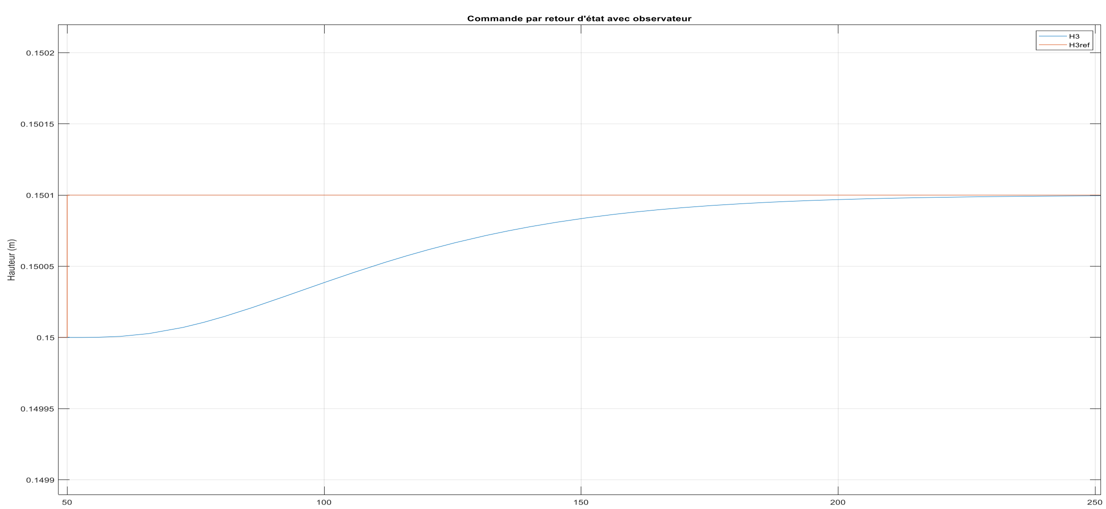
En utilisant MATLAB "acker" sur le système étendu commandable on trouve:

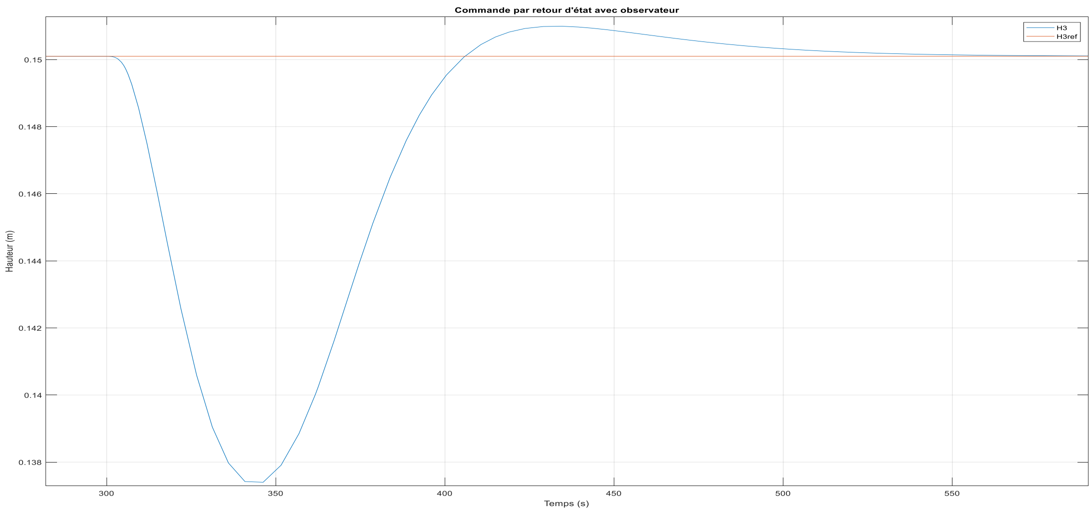
$$F = [0.0039 \quad 0.0096 \quad 0.0132]$$

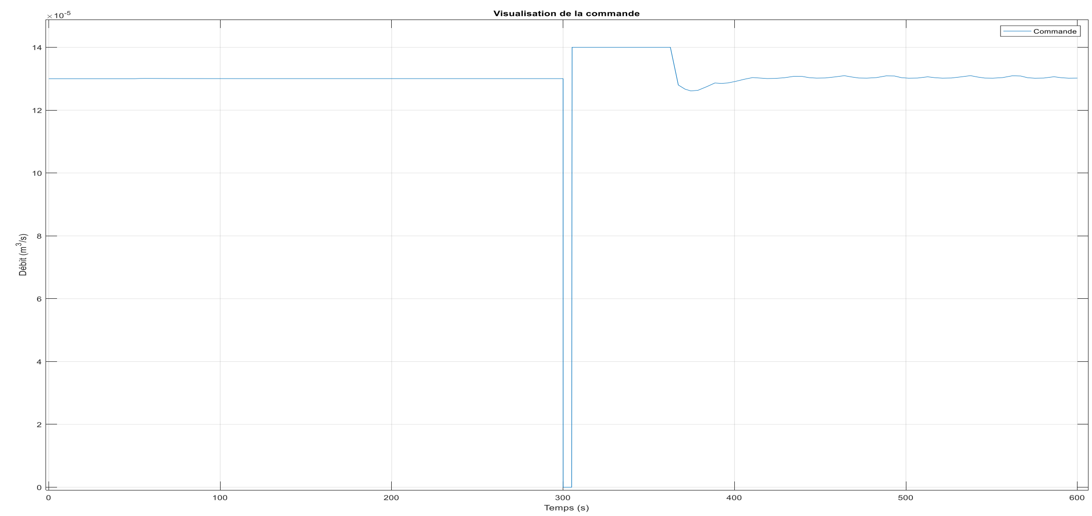
$$H = -3.9924 \times 10^{-4}$$

On prend un pôle plus rapide pour l'intégrateur afin qu'il ne ralentisse pas la dynamique du système.

Commenter et analyser les résultats obtenus en simulation en utilisant l'état estimé pour générer la commande. On s'intéressera en particulier à la régulation de niveau et à l'estimation des variables d'état.







En utilisant la commande par retour d'état avec action intégrale en simulation, on obtient une erreur statique nulle, et un rejet de la perturbation. La commande sature mais juste pendant environ une minute. La commande par retour d'état avec action intégrale convient pour suivre la référence et rejeter la perturbation.

La régulation de niveau en utilisant l'estimation des variables d'états est une bonne méthode, en particulier autour du point d'équilibre du système linéarisé et quand on veut rejeter la perturbation (action intégrale). La faiblesse est que cela peut avoir quelques problèmes avec la non-linéarité du système et les états estimés au début peuvent être loin des valeurs réelles car nous ne connaissons pas les états initiaux. Donc, une façon de surmonter cela est d'utiliser le système en boucle ouverte (s'il est stable) au début jusqu'à ce que les états estimés aient convergé vers les vrais.