

MINI-PROJET AUTOMATIQUE

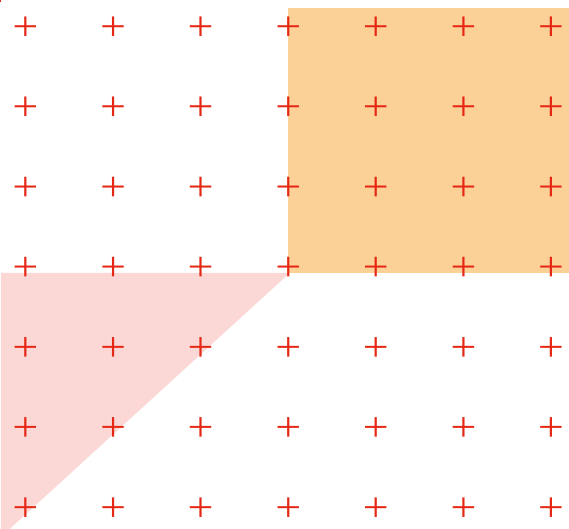
Oskar ORVIK
Aleksander TABAN
Brage JOHNSEN
Elève Ingénieurs
de l'INSA Toulouse
Département GEI
Spécialité AE-SE
Promotion 60
2022-2027

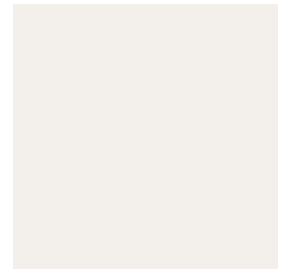
Stabilisation d'une bille sur rail

Mini-Projet Automatique en trinôme

Tuteur du Projet
Cristophe POUSSOT

Projet soutenu le 16/04/2026





MINI-PROJET AUTOMATIQUE

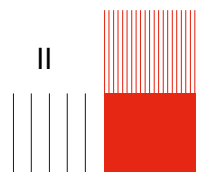
Oskar ORVIK
Aleksander TABAN
Brage JOHNSEN
Elève Ingénieurs
de l'INSA Toulouse
Département GEI
Spécialité AE-SE
Promotion 60
2022-2027

Stabilisation d'une bille sur rail

Mini-Projet Automatique en trinôme

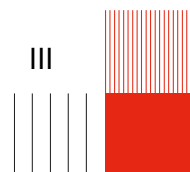
Tuteur du Projet
Cristophe POUSSOT

Projet soutenu le 16/04/2026



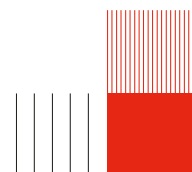
ABSTRACT

A REMPLIR



SOMMAIRE

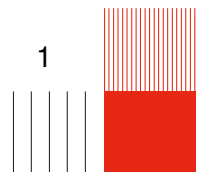
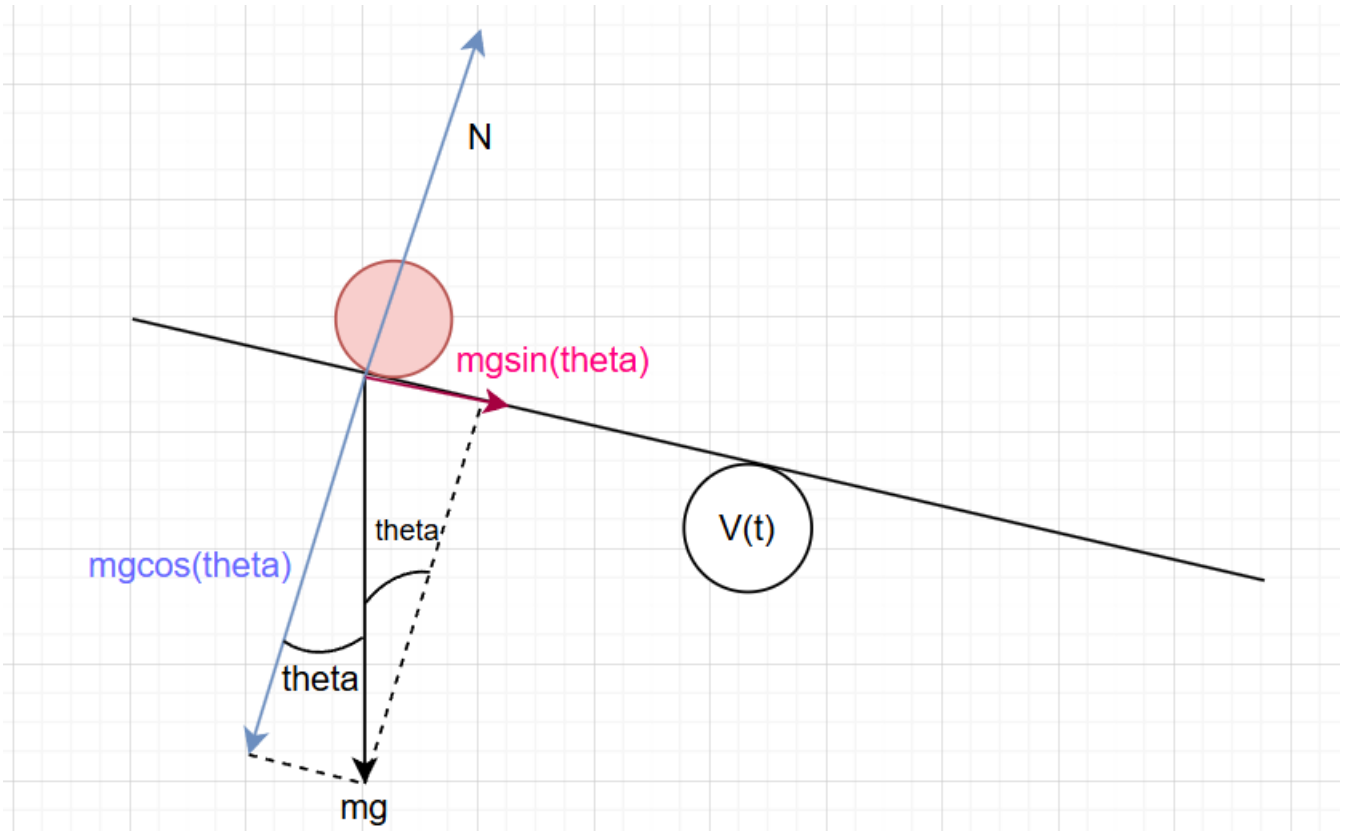
Abstract	III
Introduction	1
1 Identification du système : Rail	2
1.1 Analyse du schéma bloc et setup	2
1.2 Mise en oeuvre de N4SID	2
1.3 Fonction transfert du système : Rail	3
1.4 Calcul du correcteur du système : P	4
2 Loi de commande du bille sur rail	4
2.1 Système bouclé avec la bille	4
2.2 Analyse des frequences importantes au système	5
3 Vérification	6
3.1 Expérimental	6
3.2 MATLAB - marge de phase	6
Conclusion	7
images	7
Bibliographie	10



INTRODUCTION

Le bille sur rail est une manipulation où le but est de stabiliser une bille sur un rail. Le rail est commandé par une tension, et les données lues sont l'angle du rail et la position de la bille. La position est achevée à l'aide d'un lecture d'impedance. **schéma de forces de la bille**

sur rail :



1 IDENTIFICATION DU SYSTÈME : RAIL

1.1 Analyse du schéma bloc et setup

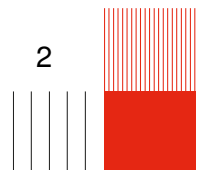
Nous avons remarqué que l'identification du système se fait en bouclé fermé. Voici le schéma bloc désignant le système que nous pouvons manipuler : {Sett inn bilde av schéma bloc, système rail}

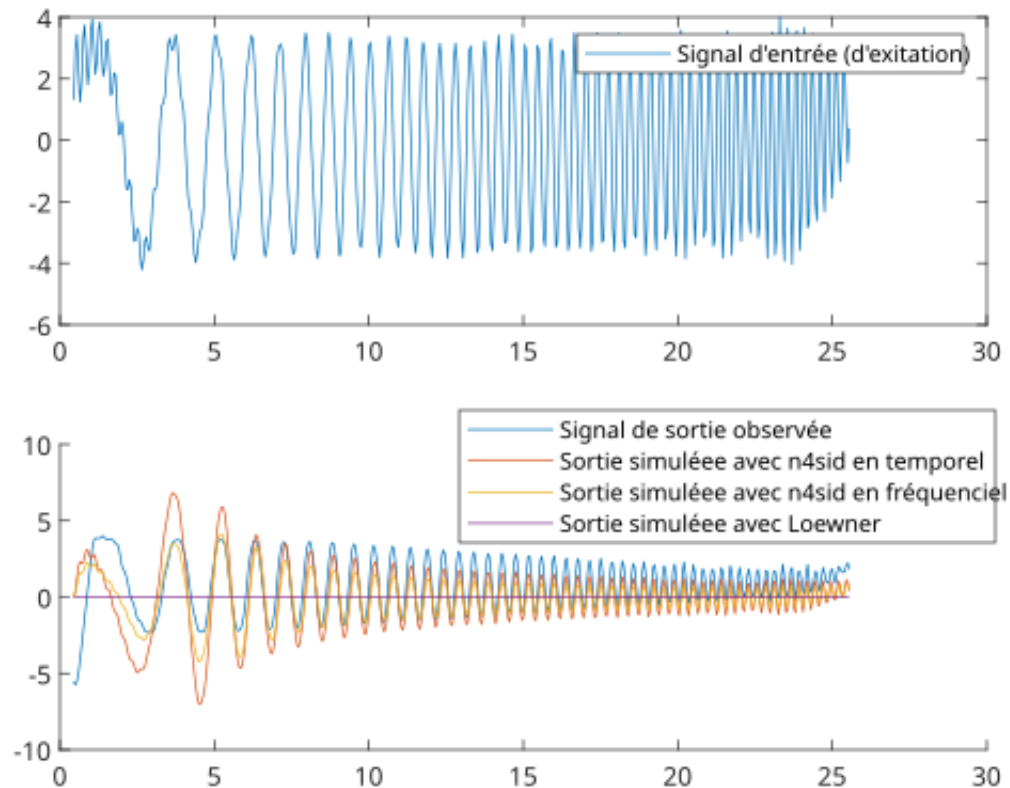
1.2 Mise en oeuvre de N4SID

On a utilisé la fonction `n4sid()` que pouvons retrouver sur matlab. Nous avons fait une expérience temporel, fréquentiel et avec Loewner. **Un signal multisine a été utilisé pour**

ballader sur les différents fréquences du système, et retrouver les fréquences résonantes du système. Nous l'avons mis entre 0.1Hz à 4Hz.

Voici le comportement des différents modèles obtenu :





Après avoir comparé les différents modèles avec le vrai système, Cela nous avait mené à résumer le système du rail à la fonction de transfert suivante :

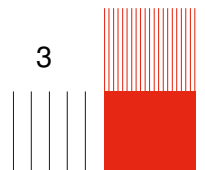
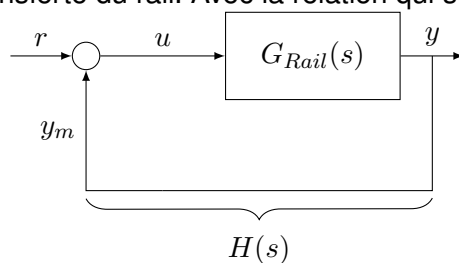
$$G(s) = \frac{NUM}{DEN}$$

Nous avons choisi le modèle obtenu à l'aide du `n4sid()` temporel, ordre 2.

1.3 Fonction transfert du système : Rail

Après avoir trouvé un modèle qui nous va, nous avons ensuite retrouvé la vraie fonction de transfert du rail. Avec la relation qui suit :

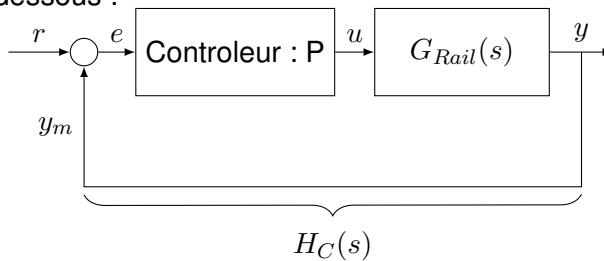
Après avoir trouvé le modèle souhaité, nous avons ensuite retrouvé la vraie fonction de transfert du rail. Avec la relation qui suit :



$$H(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)} \Rightarrow G(s) = \frac{H(s)}{1 + H(s)} \quad (1)$$

1.4 Calcul du correcteur du système : P

Nous avons conçu un retour PID pour le système du rail. Après avoir parlé avec le professeur, il nous a dit que le système est déjà équipé avec un integrateur. Donc nous avons choisi un système bouclé avec un simple correcteur P. Comme nous pouvons voir ci-dessous :



Après avoir conçu le système avec n4sid(), nous avons retrouvé la fonction de transfert :
À l'aide de la fonction transfert du système rail, nous avons recalculé la nouvelle fonction de transfert avec le gain proportionnel en boucle fermée :

$$G(s) = \frac{H(s)}{1 + H(s)} \quad (2)$$

$$G_{BF}(s) = \frac{PG(s)}{1 + PG(s)} \quad (3)$$

Finalement, on essaie des différentes valeurs de P pour observer le temps de réponse dans la boucle fermée. Nous traçons les différentes valeurs dans un seul schéma pour voir l'impact d'un échelon sur le système.

Le choix de P restait sur plusieurs tests du système bouclé avec un P de différentes valeurs. Voici les différentes réponses du système d'un simple step. Nous avons choisi :

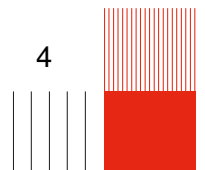
$$P = 1 \quad (4)$$

Cela nous a donné un temps de réponse respectif aux attentes que nous avions.

2 LOI DE COMMANDE DU BILLE SUR RAIL

2.1 Système bouclé avec la bille

Ajouter un gros système bouclé. Il faut savoir où mettre le correcteur avance de phase.



2.2 Analyse des frequences importantes au système

Pour cette deuxième boucle du système, on commence avec la boucle déjà existante. On trace le diagramme de Bode pour cet système pour mieux analyser les besoins du système. Cet diagramme est comme suit :

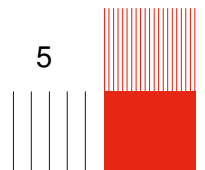
Nous verrons que le point critique où il faut ajouter de la phase est à 1,4 rad/s. Donc on conçoit le correcteur pour cela. Pour qu'on puisse augmenter les marges de phase, on utilise un correcteur d'avance de phase. Le correcteur d'avance de phase a une fonction de transfert sur la forme canonique¹ :

$$G(p) = K_p \frac{1 + \alpha T p}{1 + T p}, \text{ avec } \alpha > 1$$

$$a = \frac{1 + \sin(\Phi)}{1 - \sin(\phi)} = \frac{1 + \sin(55)}{1 - \sin(55)} \approx 10$$

$$\omega_m = \frac{1}{T * \sqrt{a}} = \frac{1}{1.4 * \sqrt{10}} \approx 0,22$$

1. <https://homepages.laas.fr/fgouaisb/donnees/M1ICM/slidesM1ICMp8.pdf>



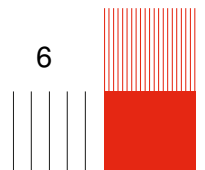
3 VÉRIFICATION

3.1 Expérimental

**** Démonstration ****

3.2 MATLAB - marge de phase

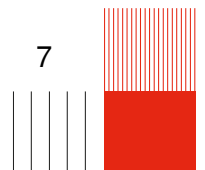
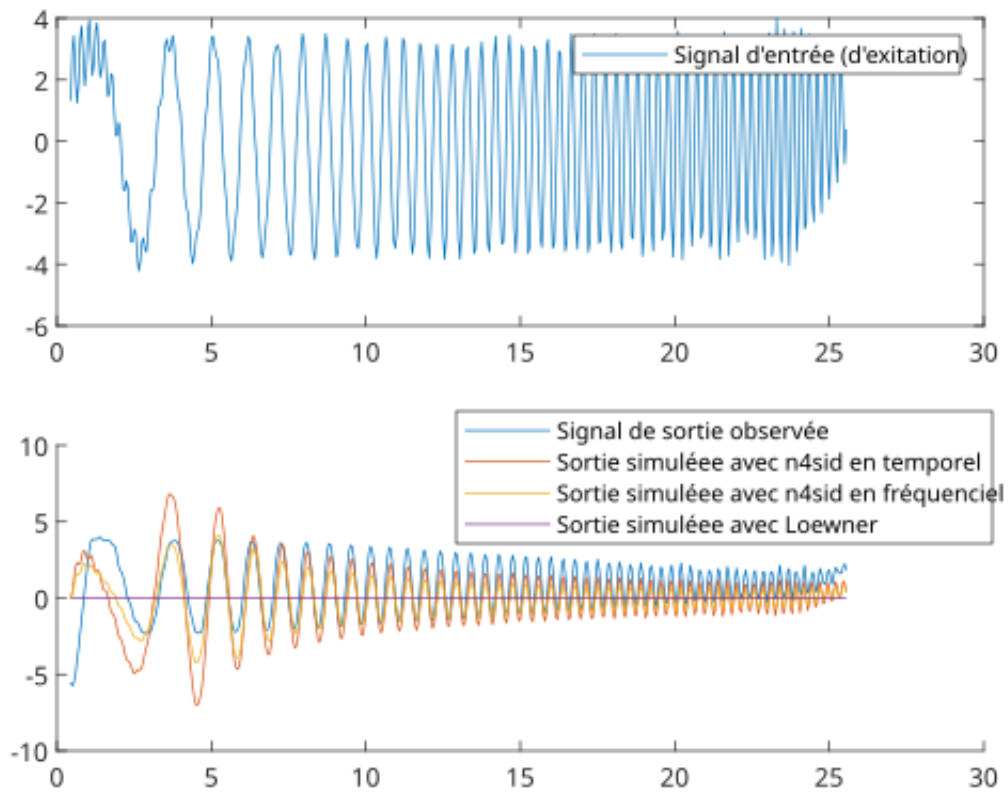
En utilisant la fonction de `allmargin` nous trouvons le marge de phase pour le système entier en boucle fermé. Traçons le diagramme de Bode du système pour analyser le système même sans négliger la fonction de transfert du moteur :

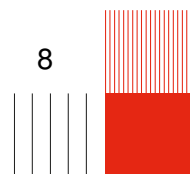
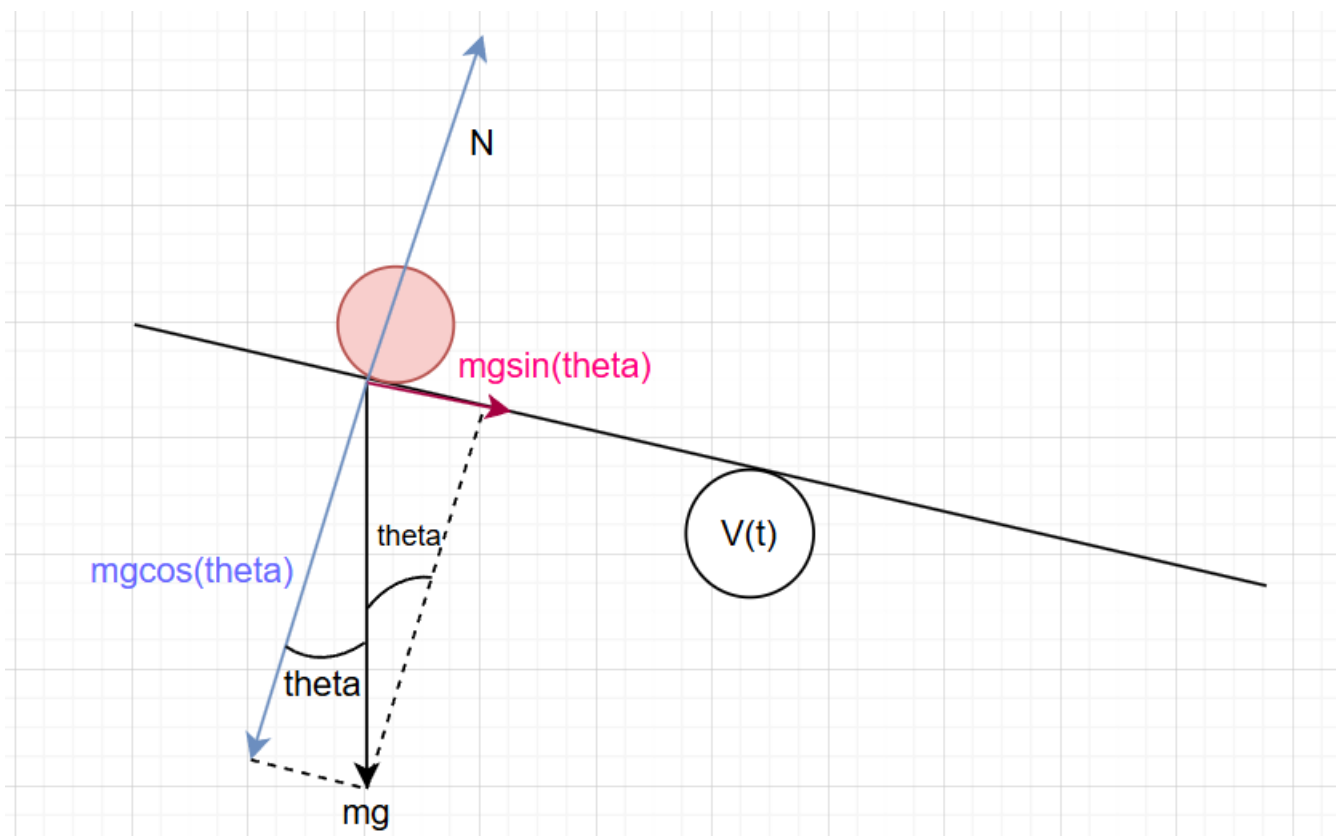


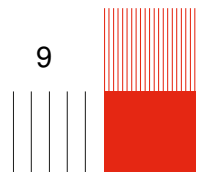
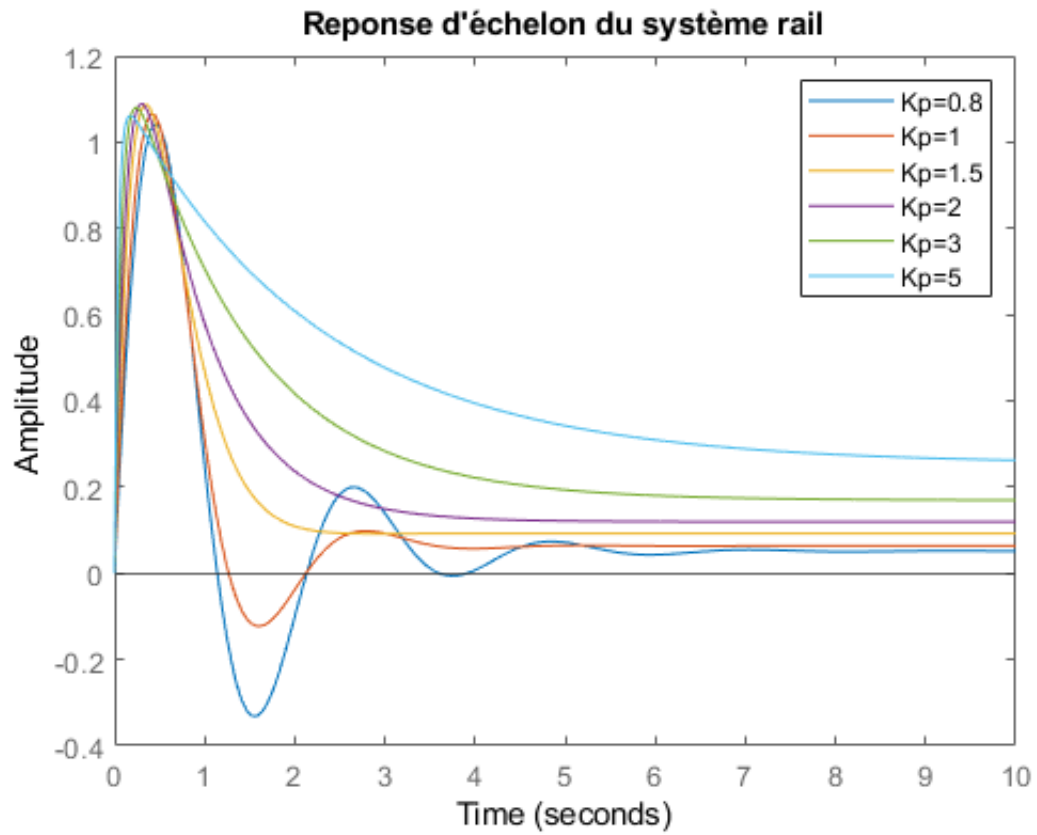
CONCLUSION

La boucle est bouclée et la balle est en équilibre.

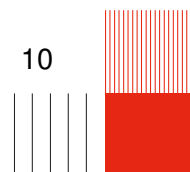
IMAGES







BIBLIOGRAPHIE





INSA TOULOUSE

135 avenue de Rangueil
31400 Toulouse

Tel : +33 (0)5 61 55 95 13

www.insa-toulouse.fr

