

Rapport BE CSLC

BÉNISTANT Raphaël, BOURLOT Xavier, 3IMACS-AE-C, Binôme 2

30 mai 2020

Table des matières

1	Introduction	2
2	Etape 1 : Mise en place des outils de simulation	2
2.1	Question 1 :	2
2.2	Question 2 :	4
3	Etape 2 : Analyse du modèle linéaire en boucle ouverte	6
3.1	Question 3 :	6
3.2	Question 4 :	7
4	Etapas 3 : Régulation de la vitesse	8
4.1	Question 5 :	8
4.2	Question 6 :	10
4.3	Question 7 :	10
4.4	Question 8 :	11
4.5	Question 9 :	12
4.6	Question 10 :	13
4.7	Question 11 :	13
4.8	Question 12 :	15
5	Conclusion	16
A	Annexes	17
A.1	Code Matlab	17
A.2	Figures	24

1 Introduction

Un des objectifs de ce TP est d'introduire à l'utilisation avancée du logiciel MATLAB pour l'étude des systèmes. Il a également pour but de synthétiser l'ensemble des connaissances théorique concernant la modélisation et la commande des systèmes linéaires. Pour ce faire, nous allons étudier le comportement d'un avion en phase de croisière. Son modèle sera donné par la suite mais il est important de noter que les variables d'entrées et de sorties sont les suivantes :

- ▷ **Variables d'entrée** $u = [\delta_c, a_{prop}]^T$
 - a_{prop} : poussée réacteur, agit directement sur la vitesse de l'avion.
 - δ_c : angle de la gouverne de profondeur, le braquage de cet angle tend à faire cabrer ou piquer l'avion.
- ▷ **Variables d'état** $x = [v, \alpha, \theta, q]^T$
 - v : vitesse de l'avion.
 - α : angle dit d'attaque (entre l'axe longitudinal de l'avion et sa vitesse).
 - θ : angle dit de tangage (entre l'axe longitudinal de l'avion et le plan horizontal).
 - q : vitesse angulaire en tangage de l'avion $q = \frac{d\theta}{dt}$.
- ▷ **Variables de sortie** $y = [v, \alpha, \theta, q, \gamma]$
 - $(v, \alpha, \theta, q)^T$: les quatre variables d'état.
 - γ : l'angle de vol $\gamma = \theta - \alpha$ ($\gamma > 0$ signifie que l'avion prend de l'altitude et $\gamma < 0$ qu'il en perd).

Les variables les plus complexes à décrire sont illustrées sur le schéma suivant :

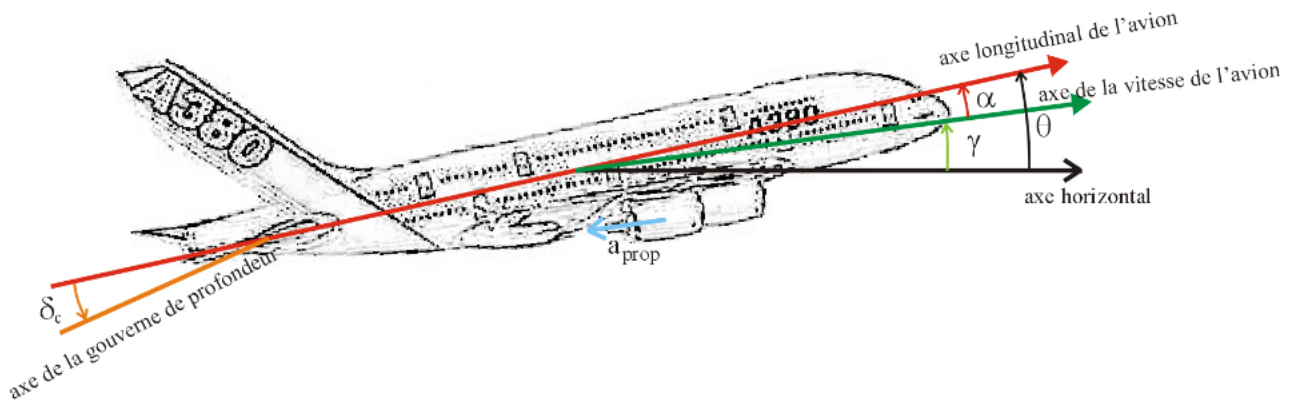


FIGURE 1 – Position des axes de l'avion

2 Etape 1 : Mise en place des outils de simulation

2.1 Question 1 :

Afin de modéliser le système dont le modèle d'état est le suivant :

$$\begin{cases} \dot{x} = \begin{bmatrix} -0,0118223 & -0,088571 & -9,78 & 0 \\ -0,003038 & -1,2563 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0,0617 & -28,075 & 0 & -4,5937 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 & 1,1972 \\ 0 & -0,0012 \\ 0 & 0 \\ 7,84 & -4,05 \end{bmatrix} u \\ y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & 0 \\ 0 & -\lambda & \lambda & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} u \end{cases}$$

Nous avons mis en place un modèle Simulink qui permet de simuler le comportement de celui-ci :

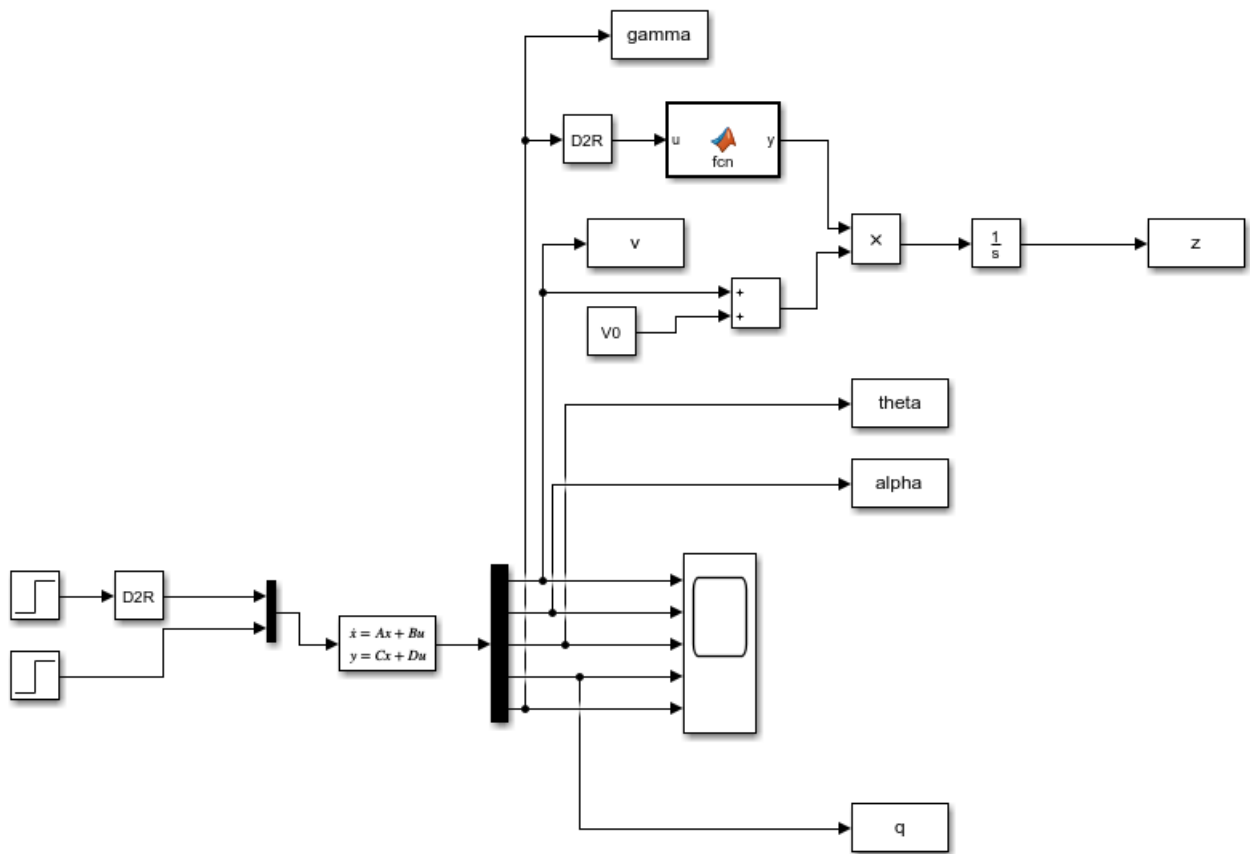


FIGURE 2 – Schéma Simulink pour le système en boucle ouverte avec 2 échelons en entrée

Après simulation on observe les résultats suivant :

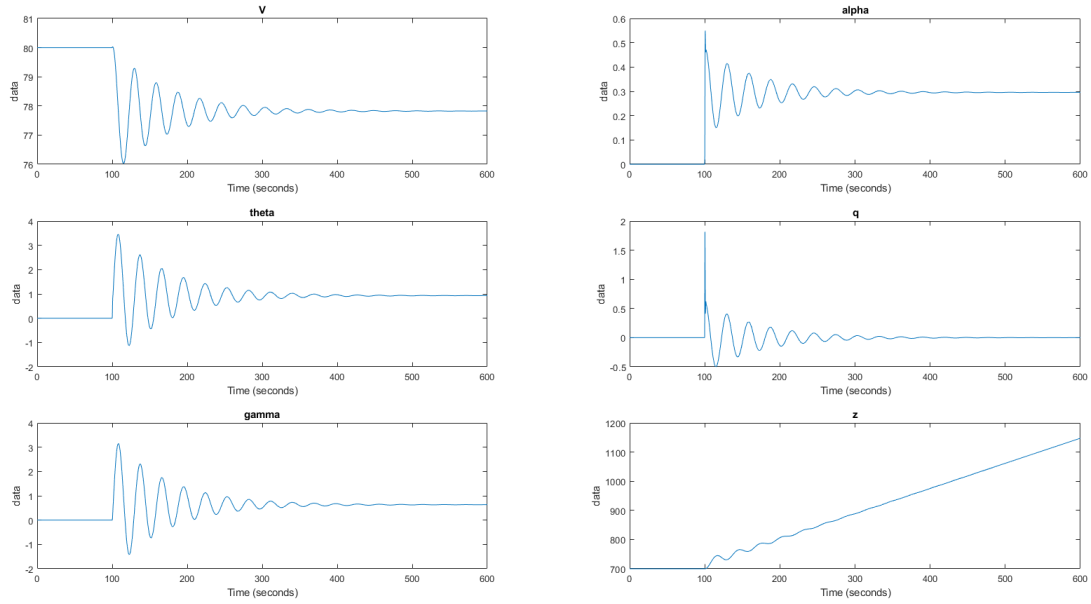


FIGURE 3 – Résultats de la simulation du modèle pour 2 échelons en entrée

On remarque les différentes variables du système oscillent de manière importante. Les résultats semblent cohérents puisqu'un échelon positif sur la gouverne de profondeur δ_c doit entraîner une montée de l'avion est donc une décélération. C'est bien ce que nous observons sur nos résultats puisque z augmente et v diminue.

Un échelon sur la propulsion de l'avion a_{prop} devrait faire accélérer l'avion. Comme l'avion est ralenti par sa montée, il semble que la propulsion ne soit pas assez importante pour contrer la décélération engendrée.

2.2 Question 2 :

Nous souhaitons désormais étudier l'influence de chaque entrée sur les variables observées lors de la simulation. Pour ce faire nous utiliserons le précédent modèle Simulink en modifiant les valeurs des échelons.

Étudions d'abord l'influence de la gouverne de profondeur δ_c . Nous fixons la valeur de la propulsion à $a_{prop} = 0.1 m.s^{-2}$ et un échelon unitaire pour la gouverne de profondeur δ_c . Après simulation, on observe les résultats suivants :

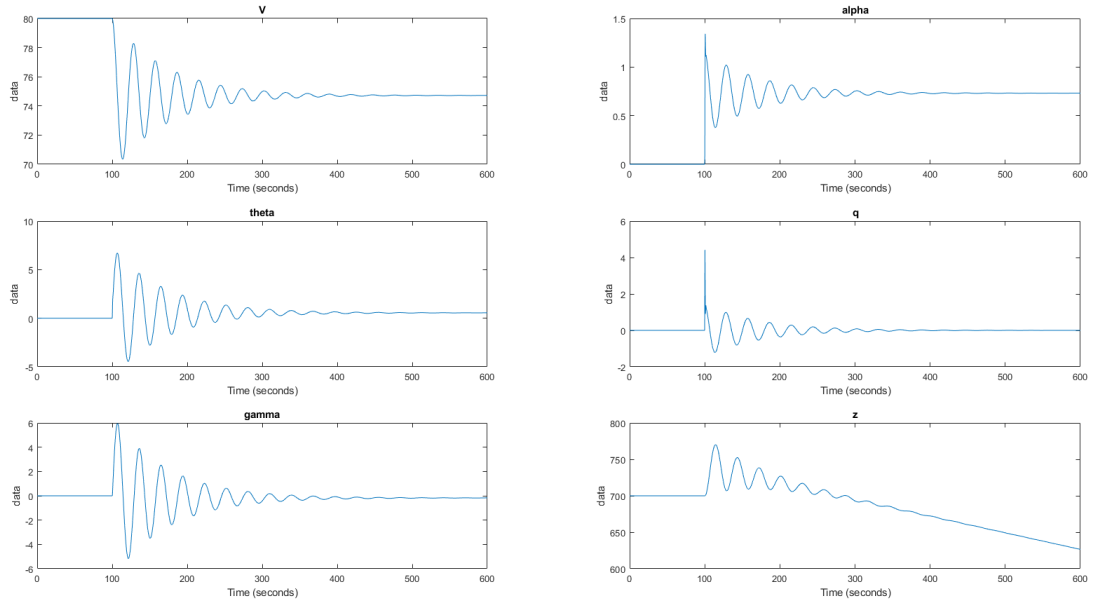


FIGURE 4 – Résultats de la simulation du modèle pour δ_c positif

Les résultats obtenus sont exactement ceux escomptés en théorie. Un braquage positif de la gouverne δ_c entraîne une modification de la cambrure et donc un déplacement du point d'équilibre vers une incidence α plus grande et de ce fait une vitesse v plus faible.

Etudions maintenant l'effet d'un braquage négatif. Nous fixons la valeur de la propulsion à $a_{prop} = 0.1m.s^{-2}$ et un échelon unitaire négatif pour la gouverne de profondeur δ_c . Après simulation, on observe les résultats suivants :

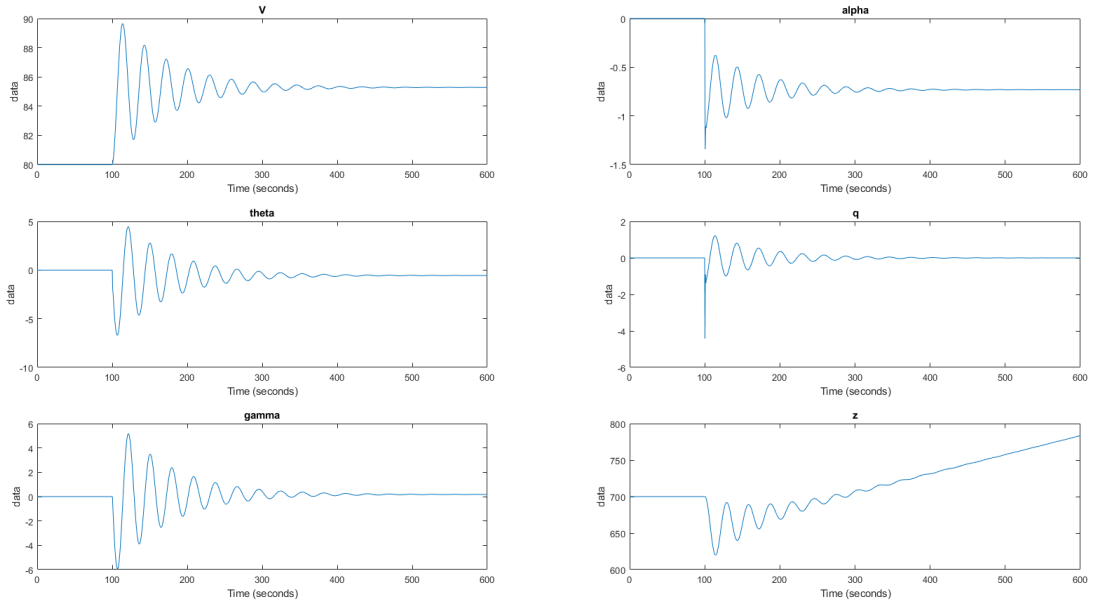


FIGURE 5 – Résultats de la simulation du modèle pour δ_c négatif

Les résultats obtenus sont exactement ceux escomptés en théorie. Les résultats sont symétriques aux résultats observés pour δ_c . Tous les phénomènes sont opposés.

Finissons maintenant par étudier l'influence de l'action sur la propulsion a_{prop} . Nous fixons la valeur de la propulsion à $a_{prop} = 0.1 m.s^{-2}$ et celle de la gouverne de profondeur à $\delta_c = 0^\circ$. Après simulation, on observe les résultats suivants :

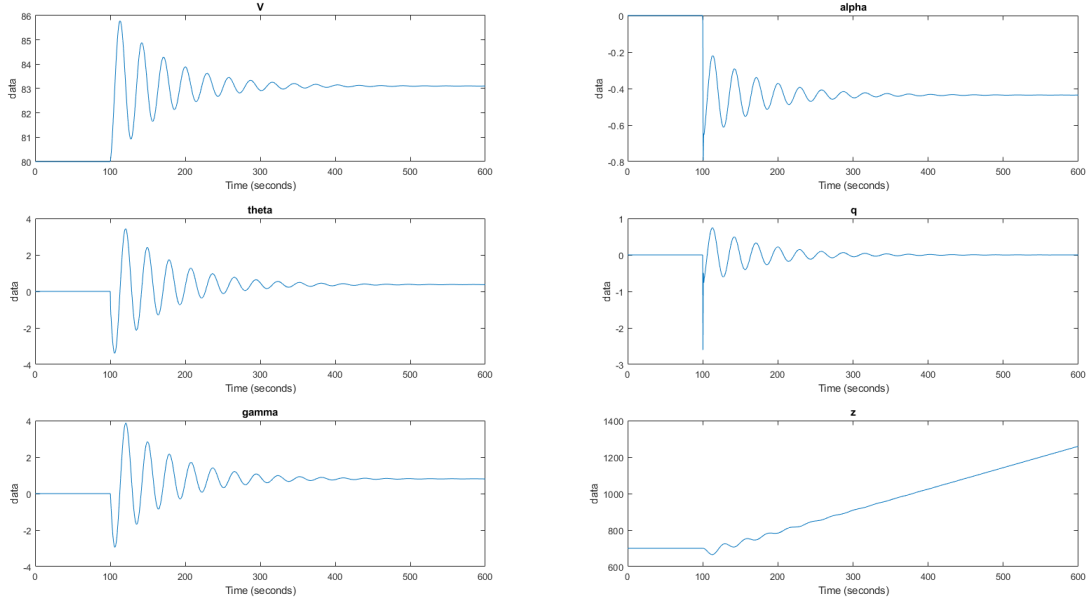


FIGURE 6 – Résultats de la simulation du modèle pour δ_c nul

L'action sur la propulsion a_{prop} a pour effet prépondérant de modifier la vitesse mais aussi de modifier les angles α et θ .

3 Etape 2 : Analyse du modèle linéaire en boucle ouverte

3.1 Question 3 :

Nous voulons désormais caractériser entièrement notre système en déterminant l'ensemble des pôles et des zéros ainsi que la valeur du gain du système en boucle ouverte.

Grâce respectivement aux fonctions "poles", "zeros" et "dc(gain)", il est possible d'obtenir les résultats précédents. On trouve :

$$\begin{aligned} poles &= [-2,92 \pm 5,02j, -1,41 \cdot 10^{-2} \pm 2,17 \cdot 10^{-1}j] \\ zeros &= [-2,601 + 7,558i, -2,601 - 7,558i, -0,646] \\ K_{0,BO} &= 31.0452 \end{aligned}$$

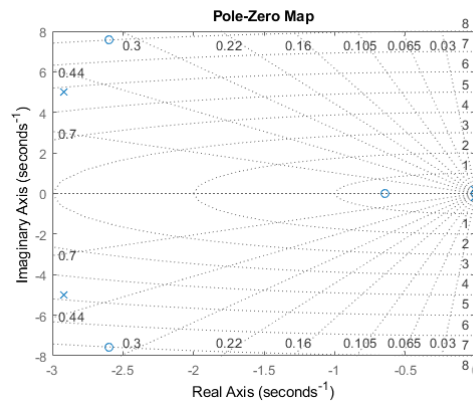


FIGURE 7 – Pôles et zéros du système en boucle ouverte

On peut alors en déduire les pôles phugoïdes qui sont les pôles les plus lents et les pôles les plus rapides :

$$\begin{aligned} poles_{phugoides} &= -1,41.10^{-2} \pm 2,17.10^{-1}j \\ poles_{rapides} &= -2,92 \pm 5,02j \end{aligned}$$

Les réponses à un échelon respectivement du mode rapide et du mode phugoïde sont les suivantes :

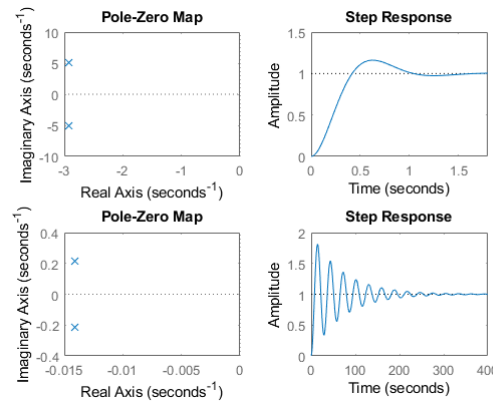


FIGURE 8 – Réponse indicielle respectivement du mode rapide et du mode phugoïde

On en déduit que le temps de réponse du mode rapide est de 9s environ contre 120s environ pour le mode phugoïde. La fonction "damp" permet de déterminer l'amortissement pour chacun des modes. On obtient les résultats suivant :

$$\begin{aligned} \xi_{phugoides} &= 6,47.10^{-2} \\ \xi_{rapides} &= 5,03.10^{-1} \end{aligned}$$

3.2 Question 4 :

On observe le comportement des pôles phugoïdes dans le domaine fréquentiel et en réponse à un échelon. On donne en orange le système d'ordre 4 à titre de comparaison.

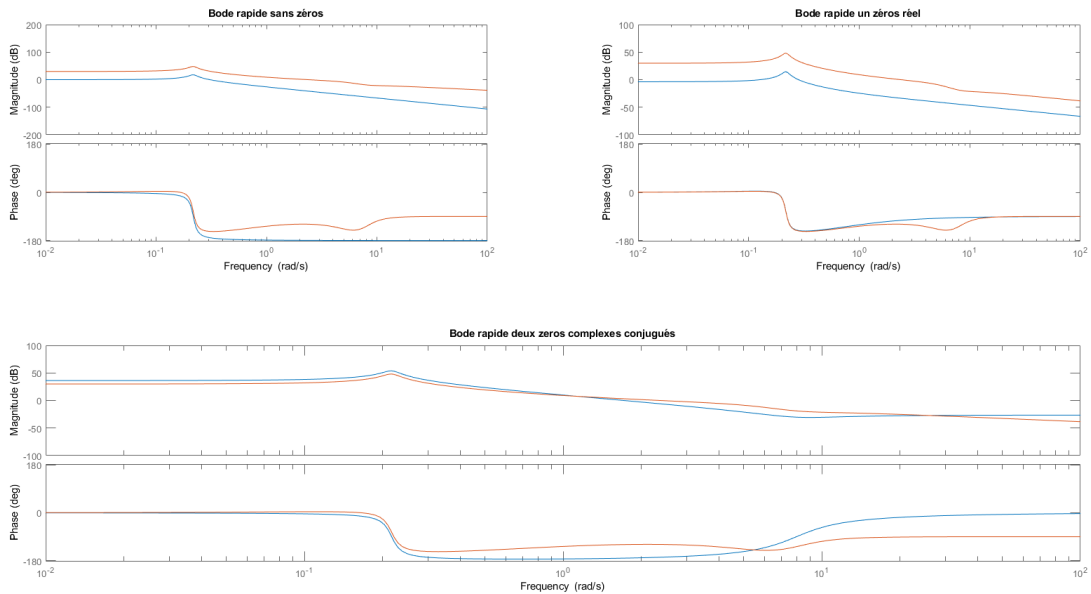


FIGURE 9 – Réponse fréquentielle du mode phugoïde avec 0, 1 et 2 zéros

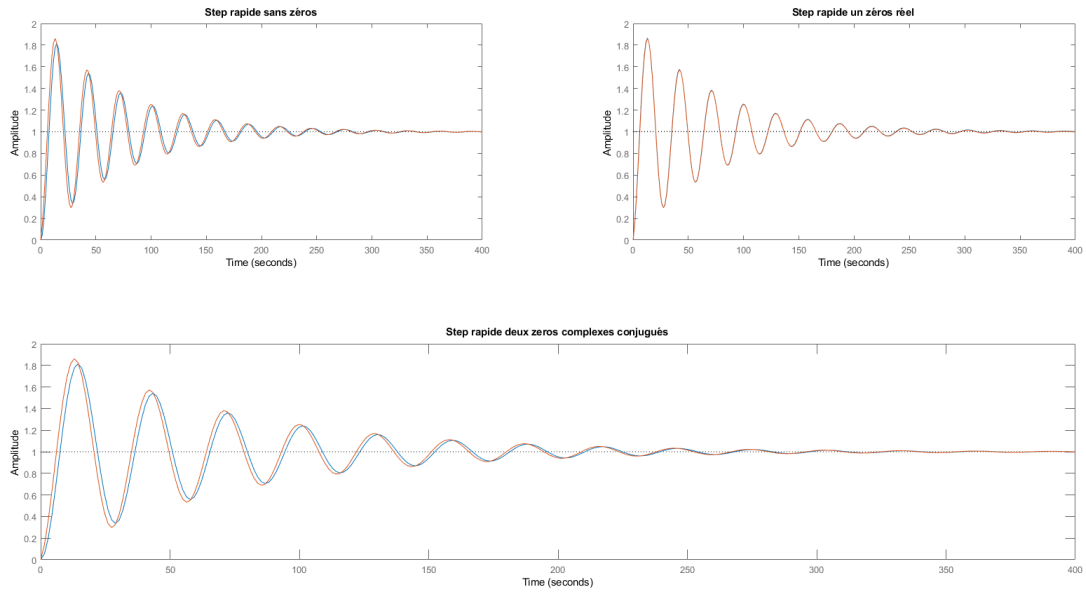


FIGURE 10 – Réponse à un échelon du mode phugoïde avec 0, 1 et 2 zéros

On observe que le mode phugoïde avec 2 zéros est celui qui approche au mieux le système d'ordre 4.

4 Etapes 3 : Régulation de la vitesse

4.1 Question 5 :

Nous souhaitons désormais mettre en place une boucle de régulation sur la vitesse v à partir de la commande de la poussée du réacteur a_{prop} . Ceci nous permettra par la suite de travailler à partir d'une vitesse de vol de l'avion constante de manière à ce qu'un changement d'altitude provoqué par une variation de l'angle de la gouverne de profondeur δ_c n'entraîne pas une modification de vitesse.

Nous mettons en place la commande $u = -K_v \cdot v$ qui donne le modèle Simulink suivant :

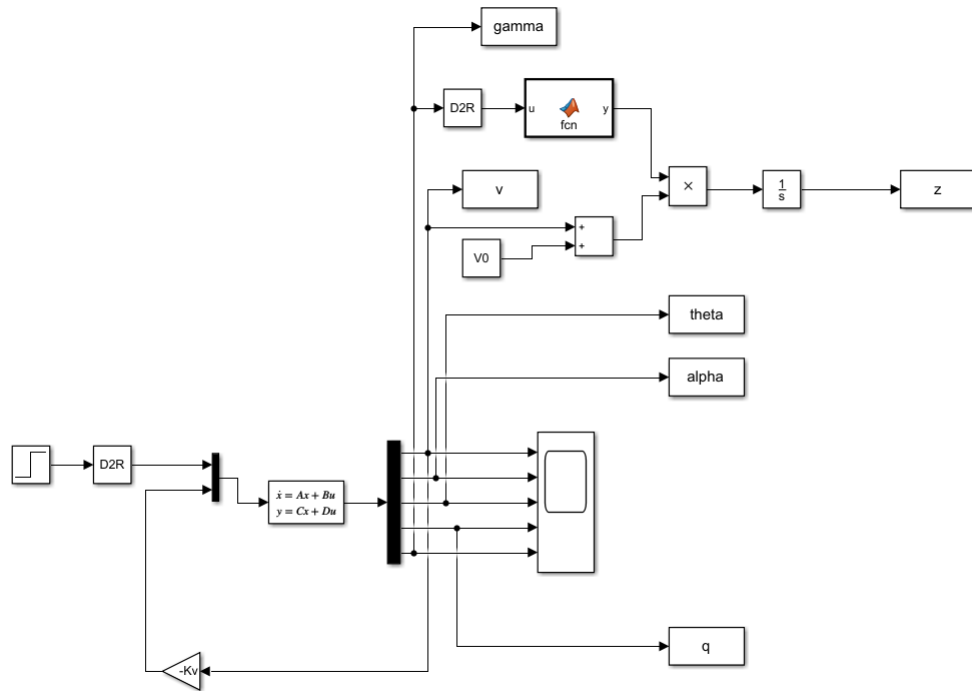


FIGURE 11 – Schéma Simulink du système avec commande proportionnelle à la vitesse

Après simulation, avec un échelon de 5 pour la gouverne de profondeur δ_c , nous obtenons les résultats suivants :

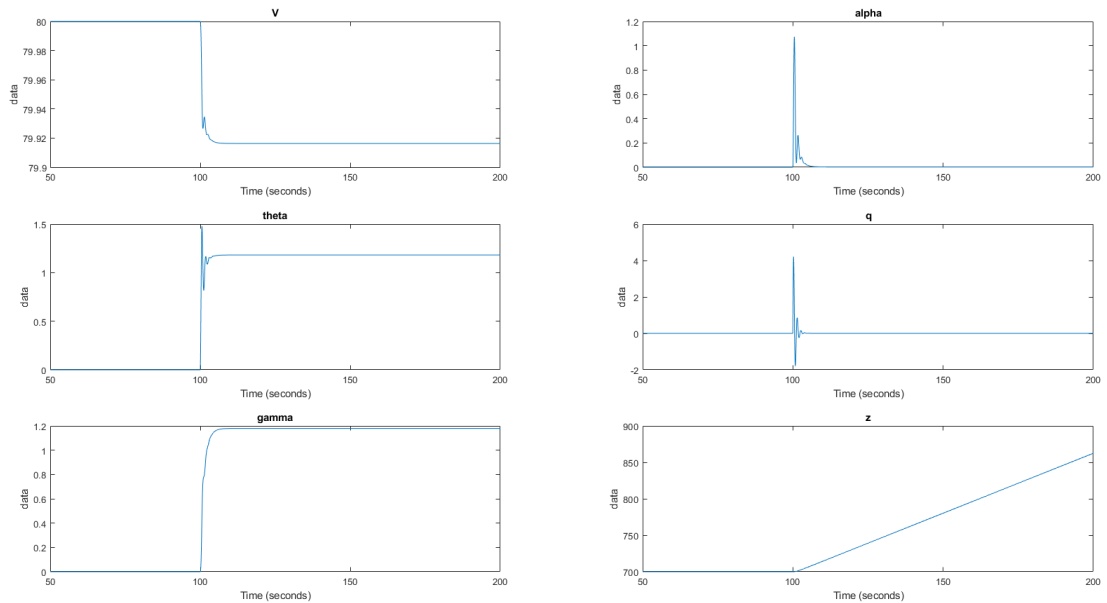


FIGURE 12 – Résultat pour le système avec une commande proportionnelle à la vitesse

Nous remarquons que le système oscille bien moins que précédemment. La vitesse est stable et varie très peu. Pour toutes les grandeurs, on observe des dépassements très importants qui sont dus à l'absence de correcteur.

4.2 Question 6

Afin de déterminer quelle valeur de K_v est nécessaire pour notre système, nous avons mis en place un script MATLAB qui nous a permis de tracer le lieu des racines du système. Nous avons fait en sorte que notre script s'arrête lorsque la valeur de K_v correspond au point de séparation. Les résultats sont les suivants :

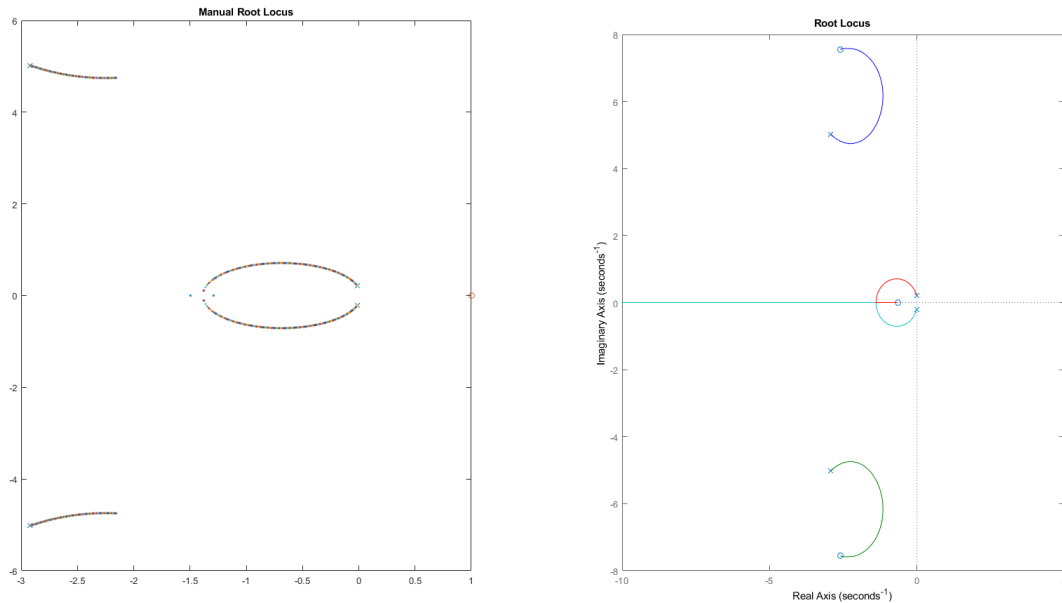


FIGURE 13 – Lieu des racines du système manuel et automatique

Nous obtenons les mêmes résultats que la fonction "pzmap". La valeur de K_v au point de séparation est donc :

$$K_v = 1.041$$

4.3 Question 7 :

Le mode phugôïde étant le plus lent, c'est lui qui détermine le temps de réponse global du système d'ordre 4. On choisit donc ce mode. D'après la question 4, le système avec 2 zéros fournit la meilleure approximation, on l'utilisera donc pour répondre à la question.

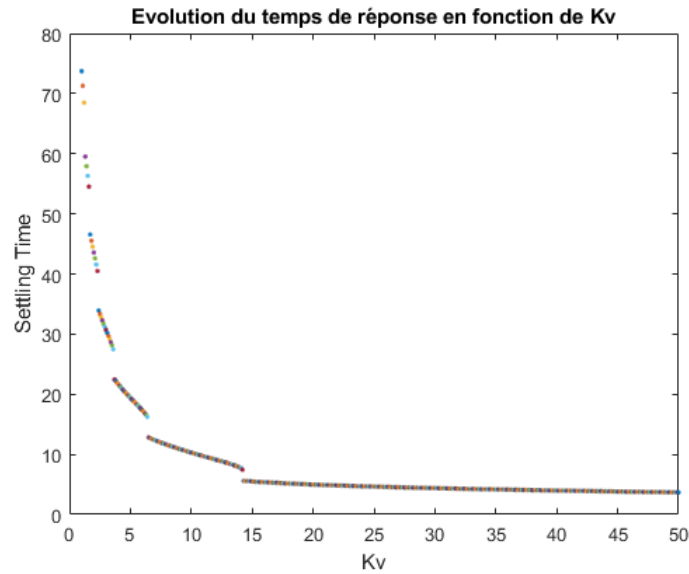


FIGURE 14 – Temps d'établissement du système approximé en fonction de la valeur de K_v

On déduit que le temps d'établissement diminue avec l'augmentation de K_v . En revanche plus K_v est grand, plus le risque de saturer les actionneurs est élevé.

4.4 Question 8 :

Nous voulons maintenant déterminer la valeur de K_v qui nous donne la paire de pôles complexes du mode phugoïde correspondant à une valeur d'amortissement de $\xi = 0,95$. Pour ce faire, nous avons utilisé la commande "sisotool" :

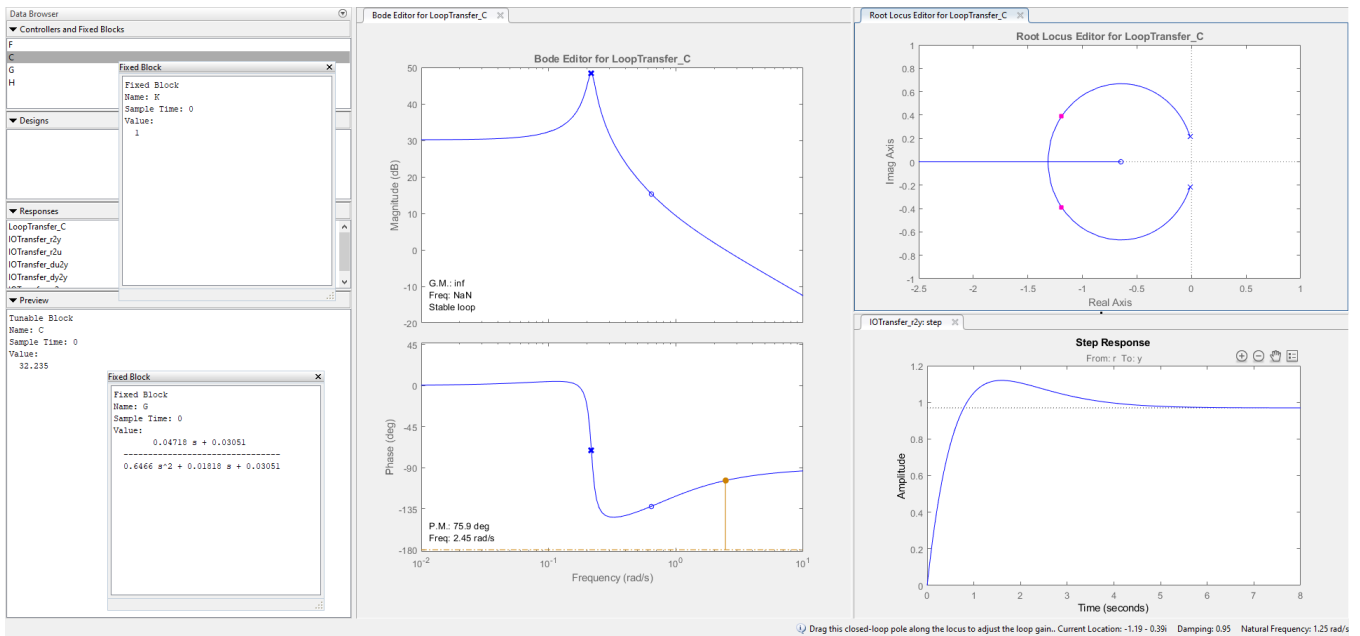


FIGURE 15 – Résultat de la commande sisotool pour notre système

On obtient une valeur de $K_v = 32.2446$

On trace alors la réponse indicielle du système avec cette valeur spécifique de K_v :

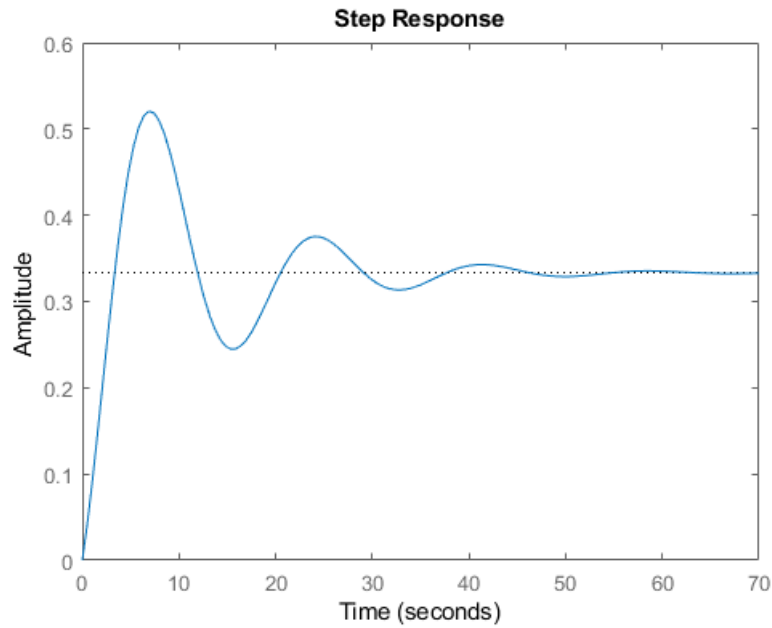


FIGURE 16 – Réponse indicielle avec K_v

4.5 Question 9 :

On répète la manipulation précédente sur le système d'ordre 4. On obtient la fenêtre sisotool suivante :

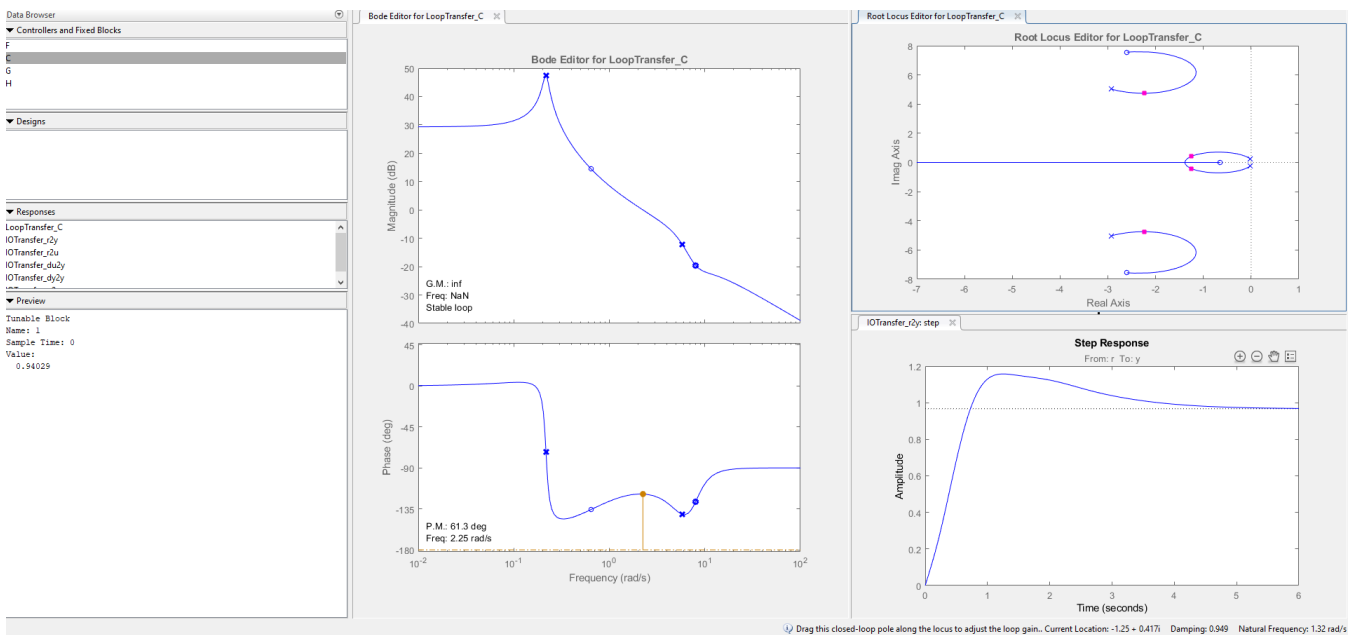


FIGURE 17 – Résultat de la commande sisotool pour notre système

On obtient un coefficient de 0.94029. On en déduit la valeur de $K_v = 33.017$

Les valeurs de K_v trouvées avec le système complet et le système d'ordre 2 sont très proches (à moins de 3%), donc notre approximation est pertinente.

4.6 Question 10 :

On utilise de nouveau sisotool pour répondre à cette question :

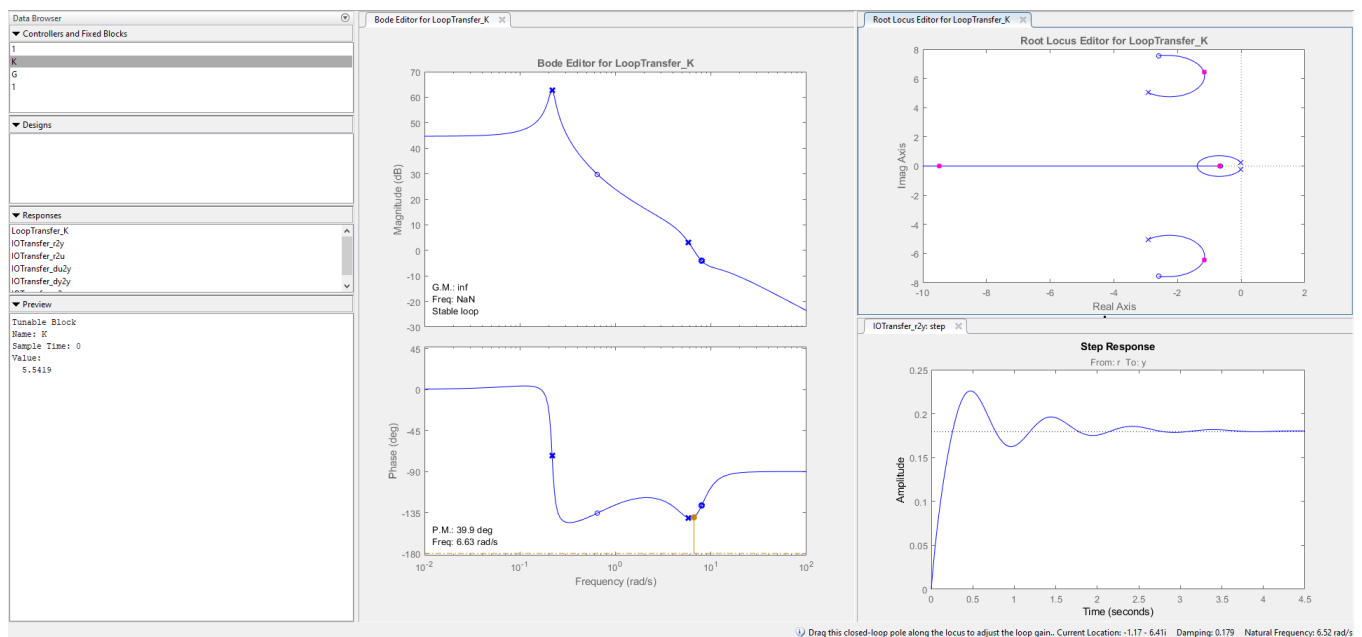


FIGURE 18 – Résultat de la commande sisotool pour notre système

On peut relever 3 coefficients pour lesquels la marge de phase est de 40 degrés : $K_v = [0.107, 3.37, 5.5419]$. On spécifie également un temps d'établissement le plus rapide possible, qui est atteint pour la plus grande valeur de K_v c.a.d pour $K_v = 5.5419$.

4.7 Question 11 :

On simule le système avec la valeur de K_v obtenue à la question précédente. Le schéma simulink est le suivant :

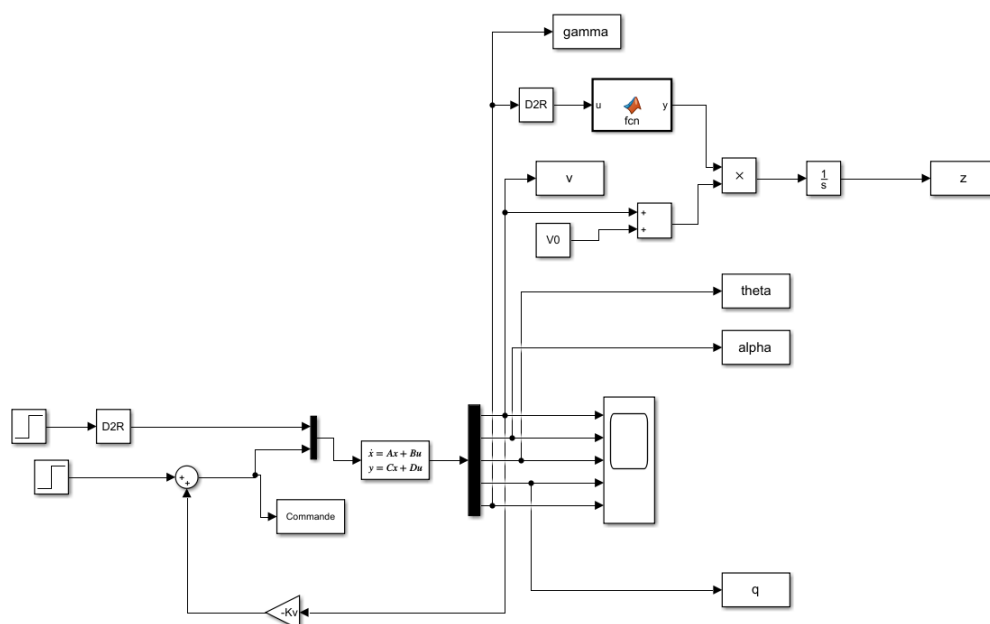


FIGURE 19 – Schéma simulink

On entre un échelon de 5 degrés. Le système semble toujours bien asservi.

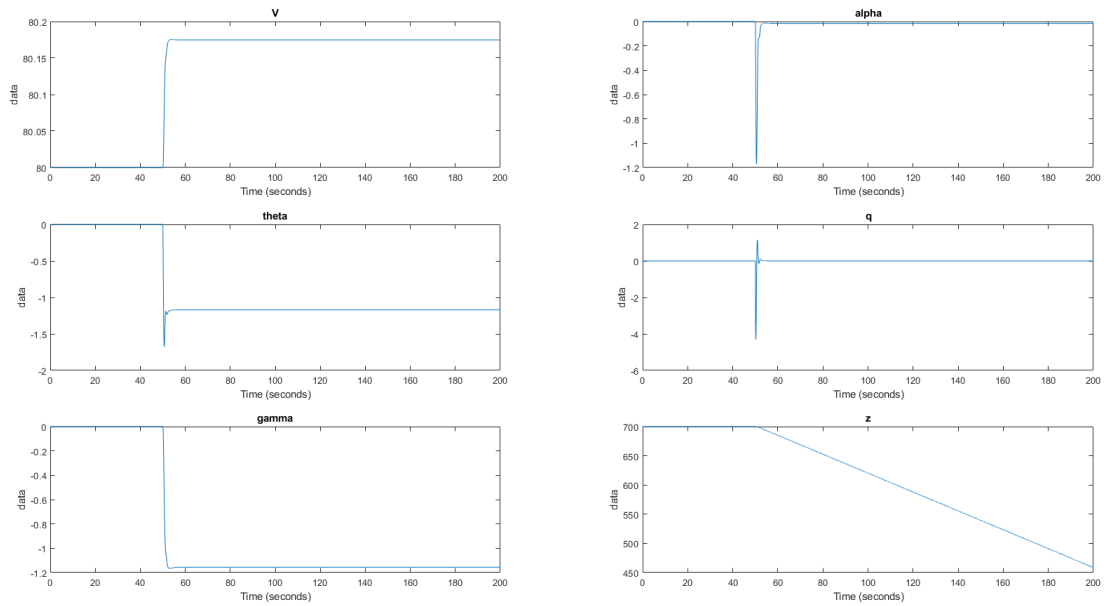


FIGURE 20 – Step de 5 degrés, réponse du système

On s'intéresse maintenant de plus près à la vitesse, et à la commande a_{prop} :

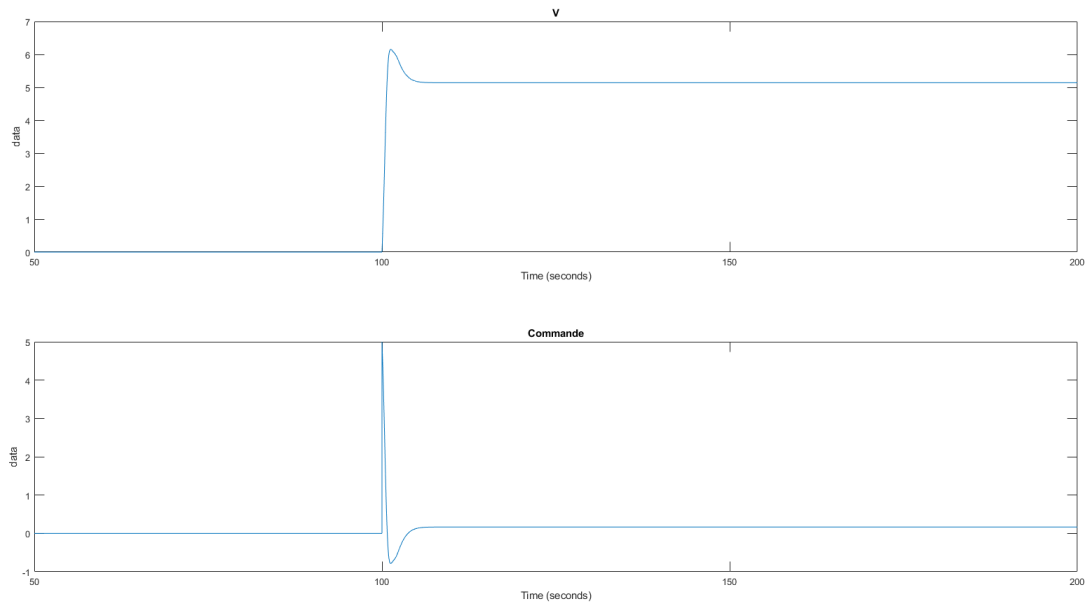


FIGURE 21 – Step de 5 degrés, vitesse et commande a_{prop}

La spécification en marge de phase imposée au système induit une forte action sur la commande. Bien que la vitesse soit régulée efficacement, on peut déplorer la contrainte importante que l'on applique sur a_{prop} . Cette spécification pousse le système à saturer les actionneurs, ce que notre modèle ne prend pas en compte, et risquerait de ne pas fonctionner en situation réelle. IL faut donc veiller à garder un cahier des charges raisonnable, permettant une régulation effective sans trop contraindre le

système.

4.8 Question 12 :

On s'intéresse maintenant à l'énergie totale nécessaire pour la commande. C'est un critère important pour tout système réel, et nous nous proposons d'observer l'influence du choix de K_v sur cette consommation.

Pour chaque valeur de K_v , on simule le système pour une entrée constante sur a_{prop} et on récupère la sortie $v(t)$.

Ensuite, on calcule le critère de performance donné dans l'énoncé, qui prend en compte l'erreur de vitesse, mais aussi l'énergie de la commande.

On effectue ce calcul pour différentes valeurs de r , r étant un coefficient de pondération entre les deux critères de performance précédemment évoqués. On obtient les courbes suivantes :

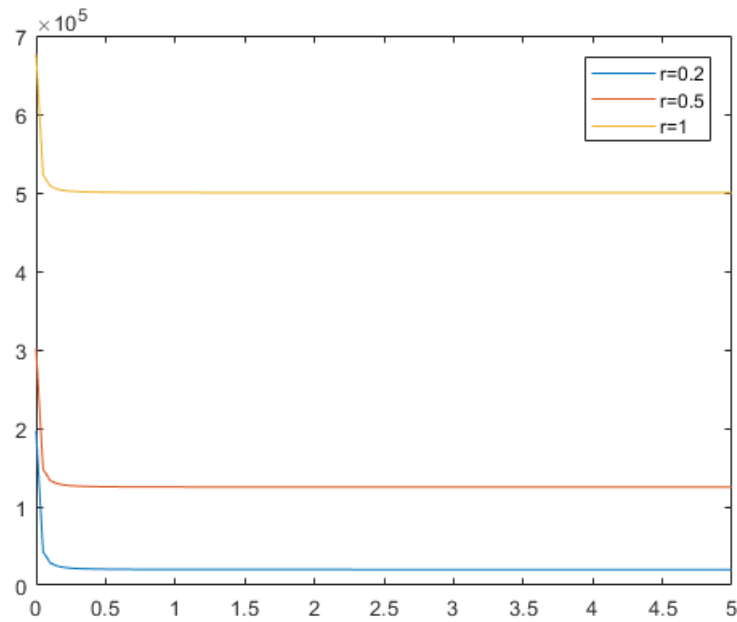


FIGURE 22 – $J_{K_v}(u)$

On remarque que cette fonction est strictement décroissante. Ainsi, il semble que le critère de performance soit satisfait pour les valeurs de K_v les plus grandes possibles, peu importe la valeur du coefficient de pondération r . Ici la simulation s'arrête pour $K_v = 5$. On représente donc la réponse indicielle du système pour $K_v = 5$.

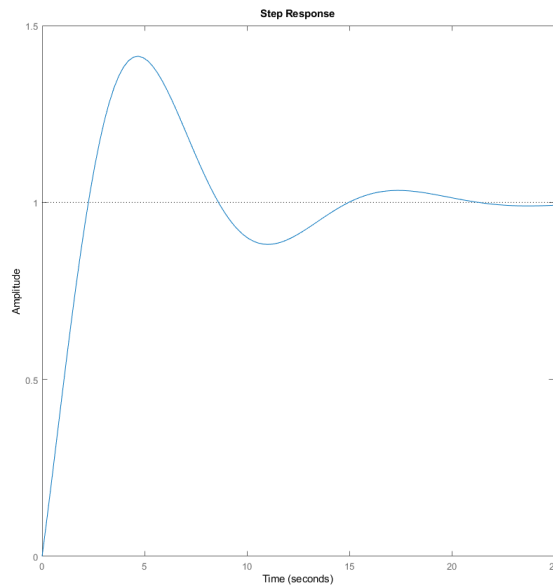


FIGURE 23 – Step du système de 5 degrés pour K_v minimisant le critère de performance

Il est curieux que ce critère de performance décroisse strictement en fonction de K_v . Nous avons peut-être commis une erreur de calcul, car il semble logique que l'énergie consommée augmente avec l'acroissement du gain.

5 Conclusion

A travers ce bureau d'étude Matlab, nous avons approché différentes méthodes d'analyse d'un système complexe. Nous avons pu utiliser des techniques variées de l'automatique, et nous familiariser avec les outils associés. L'application des méthodes vues en cours sur un cas concret nous a permis d'apprécier leur fonctionnement et leur efficacité.

L'interprétation des résultats est une part essentielle de ce travail, car il a fallu comprendre l'importance du choix d'un modèle approprié, ainsi que les limites des outils utilisés.

A Annexes

A.1 Code Matlab

```
breaklines
1 clear all
2 clc
3 close all
4
5 A =[-0.018223 -0.088571 -9.78 0
6      -0.003038 -1.2563 0 1
7      0 0 0 1
8      0.0617 -28.075 0 -4.593];
9
10 B = [ 0 1.1962
11       0 -0.0012
12       0 0
13       7.84 -4.05];
14 C= [1 0 0 0
15      0 57.296 0 0
16      0 0 57.296 0
17      0 0 0 57.296
18      0 -57.296 57.296 0];
19 D=zeros(5,2);
20
21
22
23 % %etapel
24 %question 1
25 simParam.StartTime='0';
26 simParam.StopTime='600';
27 simParam.SolverType='Fixed-step';
28 simParam.Solver='ode3';
29 simParam.FixedStep='1e-3';
30 simParam.SaveOutput='on';
31 simParam.SaveFormat='DataSet';
32
33 step_delta=5;
34 step_delta_time=100;
35 step_a=0.1;
36 step_a_time=100;
37 V0=80;
38 Z0=700;
39
40 simOut=sim('main_sim',simParam);
41 v=simOut.get('v');
42 gamma=simOut.get('gamma');
43 alpha=simOut.get('alpha');
44 q=simOut.get('q');
45 z=simOut.get('z');
46 theta=simOut.get('theta');
47
48 figure;
49 subplot(321);
50 plot(V0+v);
51 title("V");
52 subplot(322);
53 plot(alpha);
```

```

54 title("alpha");
55 subplot(323);
56 plot(theta);
57 title("theta");
58 subplot(324)
59 plot(q);
60 title("q");
61 subplot(325)
62 plot(gamma);
63 title("gamma");
64 subplot(326)
65 plot(z);
66 title("z")
67
68 %question 2
69
70 %delta>0
71 step_delta=5;
72 step_delta_time=100;
73 step_a=0;
74 step_a_time=100;
75 V0=80;
76 Z0=700;
77
78 simOut=sim('main_sim',simParam);
79 v=simOut.get('v');
80 gamma=simOut.get('gamma');
81 alpha=simOut.get('alpha');
82 q=simOut.get('q');
83 z=simOut.get('z');
84 theta=simOut.get('theta');
85
86 figure;
87 subplot(321);
88 plot(V0+v);
89 title("V");
90 subplot(322);
91 plot(alpha);
92 title("alpha");
93 subplot(323);
94 plot(theta);
95 title("theta");
96 subplot(324)
97 plot(q);
98 title("q");
99 subplot(325)
100 plot(gamma);
101 title("gamma");
102 subplot(326)
103 plot(z);
104 title("z")
105
106 %delta<0
107 step_delta=-5;
108 step_delta_time=100;
109 step_a=0;
110 step_a_time=100;
111 V0=80;

```

```

112 Z0=700;
113
114 simOut=sim('main_sim',simParam);
115 v=simOut.get('v');
116 gamma=simOut.get('gamma');
117 alpha=simOut.get('alpha');
118 q=simOut.get('q');
119 z=simOut.get('z');
120 theta=simOut.get('theta');
121
122 figure;
123 subplot(321);
124 plot(V0+v);
125 title("V");
126 subplot(322);
127 plot(alpha);
128 title("alpha");
129 subplot(323);
130 plot(theta);
131 title("theta");
132 subplot(324)
133 plot(q);
134 title("q");
135 subplot(325)
136 plot(gamma);
137 title("gamma");
138 subplot(326)
139 plot(z);
140 title("z")
141
142 %delta=0
143 step_delta=0;
144 step_delta_time=100;
145 step_a=0.1;
146 step_a_time=100;
147 V0=80;
148 Z0=700;
149
150 simOut=sim('main_sim',simParam);
151 v=simOut.get('v');
152 gamma=simOut.get('gamma');
153 alpha=simOut.get('alpha');
154 q=simOut.get('q');
155 z=simOut.get('z');
156 theta=simOut.get('theta');
157
158 figure;
159 subplot(321);
160 plot(V0+v);
161 title("V");
162 subplot(322);
163 plot(alpha);
164 title("alpha");
165 subplot(323);
166 plot(theta);
167 title("theta");
168 subplot(324)
169 plot(q);

```

```

170 title("q");
171 subplot(325)
172 plot(gamma);
173 title("gamma");
174 subplot(326)
175 plot(z);
176 title("z")
177
178 %etape 2
179
180 %Question 3
181
182 [b,a]=ss2tf(A,B,C,D,2);
183 poles=roots(a);
184 tf_va = tf(b(1,:),a);
185
186 figure;
187 pzmap(tf_va);
188 grid on;
189 s=tf('s');
190
191 figure;
192 fasttf=1/((s-poles(1))*(s-poles(2)));
193 damp(fasttf)
194
195 subplot(221);
196 pzmap(fasttf);
197
198 subplot(222);
199 step(fasttf/0.02964);
200
201 phutf=0.0471772291240761/((s-poles(3))*(s-poles(4)));
202 damp(phutf);
203
204 subplot(223);
205 pzmap(phutf);
206
207 subplot(224)
208 step(phutf);
209
210 % Question4
211 zeros=roots(b(1,:));
212 figure;
213 subplot(221);
214 bode(phutf,tf_va);
215 title('Bode rapide sans zeros');
216
217 subplot(222)
218 bode((s-zeros(3))*phutf,tf_va);
219 title('Bode rapide un zeros reel');
220
221 subplot(2,2,3:4);
222 bode((s-zeros(1))*(s-zeros(2))*phutf,tf_va);
223 title('Bode rapide deux zeros complexes conjugues');
224
225 figure;
226 subplot(221);
227 step(phutf,tf_va/31.045);

```

```

228 title('Step rapide sans zeros');
229
230 subplot(222)
231 step((s-zeros(3))*phutf/.645,tf_va/31.045);
232 title('Step rapide un zeros reel');
233
234 subplot(2,2,3:4);
235 step((s-zeros(1))*(s-zeros(2))*phutf/63.874,tf_va/31.045);
236 title('Step rapide deux zeros complexes conjuges');
237
238 %etape3
239 %question 5
240
241 simParam.StartTime='50';
242 simParam.StopTime='200';
243 simParam.SolverType='Fixed-step';
244 simParam.Solver='ode3';
245 simParam.FixedStep='1e-3';
246 simParam.SaveOutput='on';
247 simParam.SaveFormat='DataSet';
248
249 step_delta=5;
250 step_delta_time=100;
251 V0=80;
252 Z0=700;
253 Kv=2;
254
255 simOut=sim('main_sim',simParam);
256 v=simOut.get('v');
257 gamma=simOut.get('gamma');
258 alpha=simOut.get('alpha');
259 q=simOut.get('q');
260 z=simOut.get('z');
261 theta=simOut.get('theta');
262
263 figure;
264 subplot(321);
265 plot(V0+v);
266 title("V");
267 subplot(322);
268 plot(alpha);
269 title("alpha");
270 subplot(323);
271 plot(theta);
272 title("theta");
273 subplot(324)
274 plot(q);
275 title("q");
276 subplot(325)
277 plot(gamma);
278 title("gamma");
279 subplot(326)
280 plot(z);
281 title("z");
282
283 %Question 6
284 figure;
285 subplot(121);

```

```

286 k=00.001;
287 p=[i i i i];
288
289 %On plot les poles et les zeros
290 plot(poles,'x');
291 hold on;
292 plot(zeros,'o');
293 hold on;
294 title('Manual Root Locus')
295
296 while(imag(p(1))~=0 && imag(p(2))~=0 && imag(p(3))~=0 && imag(p(4))~=0)
297     ka=feedback(tf_va,k);
298     p=pole(ka);
299
300     plot(real(p),imag(p),'.');
301     hold on;
302     k=k+.01;
303 end
304
305
306 subplot(122);
307 rlocus(tf_va);
308
309 %Question 7
310
311 tfphu=(s-zeros(3))*phutf;
312 tfphu=tfphu/dcgain(tfphu);
313
314 figure;
315 for (Kv = 1:.1:50)
316     st=stepinfo(feedback(tfphu,Kv));
317     t=st.SettlingTime;
318     plot(Kv,t,'.');
319     hold on;
320 end
321 xlabel('Kv');
322 ylabel('Settling Time');
323 title('Evolution du temps de reponse en fonction de Kv');
324
325 %On deduit que le temps d'etablissement diminue avec l'augmentation de Kv.
326 %En revanche plus Kv est plus, plus le risque de saturer les actionneurs est grand.
327
328 %Question 8
329
330 %Avec sisotool et avec un objectif de z=0.95 on trouve
331 Kv_ordre2=32.235/dcgain(phutf)
332
333 figure;
334 step(feedback(tfphu,Kv));
335
336 %Question 9
337 %Ordre 4
338 Kv_ordre4=dcgain(tf_va)/.94029;
339
340 %Les valeurs de Kv trouvees sont tres proches donc notre approximation est
341 pertinente.
342
343 %Question 10

```

```

344
345 %Avec sisotool et un objectif d'une marge de phase de 40degres
346 KV@40degres=[.107 3.37 5.33]
347 plus rapide = 5.33
348 Kv_phase_margin=5.3346;
349
350 %Question 11
351
352 simParam.StartTime='0';
353 simParam.StopTime='200';
354 simParam.SolverType='Fixed-step';
355 simParam.Solver='ode3';
356 simParam.FixedStep='1e-2';
357 simParam.SaveOutput='on';
358 simParam.SaveFormat='DataSet';
359
360 step_v=5;
361 step_v_time=50;
362 V0=80;
363 Z0=700;
364 K1=.94029;
365
366 simOut=sim('main_sim',simParam);
367 v=simOut.get('v');
368 gamma=simOut.get('gamma');
369 alpha=simOut.get('alpha');
370 q=simOut.get('q');
371 z=simOut.get('z');
372 Comm=simOut.get('Commande');
373 theta=simOut.get('theta');
374
375 figure;
376 subplot(211);
377 plot(V0+v);
378 title("V");
379 subplot(212);
380 plot(Comm);
381 title("Commande");
382
383 figure;
384 subplot(321);
385 plot(V0+v);
386 title("V");
387 subplot(322);
388 plot(alpha);
389 title("alpha");
390 subplot(323);
391 plot(theta);
392 title("theta");
393 subplot(324);
394 plot(q);
395 title("q");
396 subplot(325);
397 plot(gamma);
398 title("gamma");
399 subplot(326);
400 plot(z);
401 title("z")

```

```

402
403 %Question12
404 figure;
405 K=linspace(0,5,100);
406 J=linspace(0,5,size(K,2));
407 for r=[0.2 0.5 1]
408     for index=1:size(K,2)
409         K1=K(index);
410         simOut=sim('main_sim',simParam);
411         v=simOut.get('v');
412         J(index)=sum(((v.data-v.data(size(v.data,1))).^2)+r*r*step_v*step_v);
413
414     end
415     plot(K,J);
416     hold on;
417 end
418
419 legend('r=0.2','r=0.5','r=1');
420
421 %fonction decroissante
422 KV_ideal=5;
423
424 figure;
425 Norm_ideal=feedback(tfphu,KV_ideal);
426 Norm_ideal=Norm_ideal/dcgain(Norm_ideal);
427
428 step(Norm_ideal);

```

A.2 Figures

Table des figures

1	Position des axes de l'avion	2
2	Schéma Simulink pour le système en boucle ouverte avec 2 échelons en entrée	3
3	Résultats de la simulation du modèle pour 2 échelons en entrée	4
4	Résultats de la simulation du modèle pour δ_c positif	5
5	Résultats de la simulation du modèle pour δ_c négatif	5
6	Résultats de la simulation du modèle pour δ_c nul	6
7	Pôles et zéros du système en boucle ouverte	6
8	Réponse indicielle respectivement du mode rapide et du mode phugoïde	7
9	Réponse fréquentielle du mode phugoïde avec 0, 1 et 2 zéros	7
10	Réponse à un échelon du mode phugoïde avec 0, 1 et 2 zéros	8
11	Schéma Simulink du système avec commande proportionnelle à la vitesse	9
12	Résultat pour le système avec une commande proportionnelle à la vitesse	9
13	Lieu des racines du système manuel et automatique	10
14	Temps d'établissement du système approximé en fonction de la valeur de K_v	11
15	Résultat de la commande sisotool pour notre système	11
16	Réponse indicielle avec K_v	12
17	Résultat de la commande sisotool pour notre système	12
18	Résultat de la commande sisotool pour notre système	13
19	Schéma simulink	13
20	Step de 5 degrés, réponse du système	14
21	Step de 5 degrés, vitesse et commande a_{prop}	14
22	$J_{K_v}(u)$	15
23	Step du système de 5 degrés pour K_v minimisant le critère de performance	16