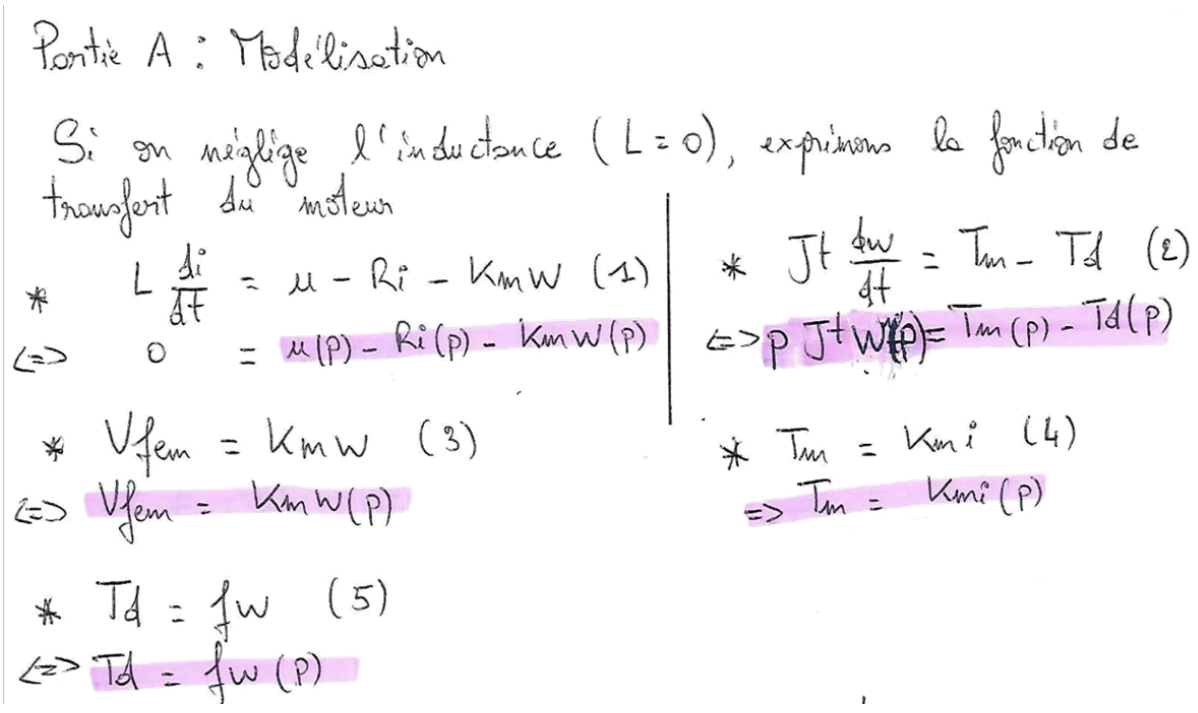
Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

TP ASSERVISSEMENT MCC :

- **OBJECTIF :**

On se propose d'asservir la position angulaire d'un disque entraîné par un moteur à courant continu. Cet asservissement sera réalisé tout d'abord par retour potentiométrique avec un régulateur simple proportionnel puis sera amélioré par l'insertion d'un correcteur de type PID.

- **ETUDE THÉORIQUE DU SYSTÈME :**



Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

Dans (2), on a : $K_m i(p) - f w(p) = p J_t w(p)$ (2)

$\Leftrightarrow K_m i(p) = p J_t w(p) + f w(p)$

$$i(p) = \frac{p J_t w(p) + f w(p)}{K_m}$$

$$\boxed{i(p) = \frac{p J_t w(p)}{K_m} + \frac{f w(p)}{K_m}}$$

Donc, dans (1), on a :

$$u(p) - R\left(\frac{p J_t w p}{K_m} + \frac{f w(p)}{K_m}\right) - K_m w$$

$$\Leftrightarrow u(p) = R\left(\frac{p J_t w(p)}{K_m} + \frac{f w(p)}{K_m}\right) + K_m w$$

$$u(p) = \left[R\left(\frac{p J_t + R f}{K_m}\right) + K_m\right] w$$

$$\boxed{\frac{w}{u(p)} = \frac{1}{\frac{R p J_t}{K_m} + \frac{R f}{K_m} + K_m}}$$

Modifions, pour prendre en compte le rapport de réduction N :

$$\boxed{\frac{w}{u(p)} = \frac{N}{\frac{R p J_t}{K_m} + \frac{R f}{K_m} + K_m}}$$

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

5) Calculons la fonction de transfert en boucle ouverte de l'ensemble moteur - réducteur - disque

(1) : $u(p) - Ri(p) - K_m \frac{d\theta}{dt}$ (3) : $V_{fem} = K_m \frac{d\theta}{dt}$

$\Leftrightarrow u(p) - RI(p) - p K_m \theta(p)$ (4) : $T_m = K_m i(p)$

(2) : $T_m - T_d = J_t p^2 w(p)$ (5) : $T_d = f \frac{d\theta}{dt}$

$\Leftrightarrow K_m I(p) - f p w(p) = J_t p^2 w(p)$

$\Rightarrow K_m I(p) = J_t p^2 w(p) + f p w(p)$

$$I(p) = K\left(\frac{J_t}{K_m} p^2 + \frac{f}{K_m} p\right) w(p)$$

Dans (1), on a :

$$u(p) = \left[\frac{R J_t}{K_m} p^2 + \left(K_m + \frac{Rf}{K_m}\right) p\right] w(p)$$

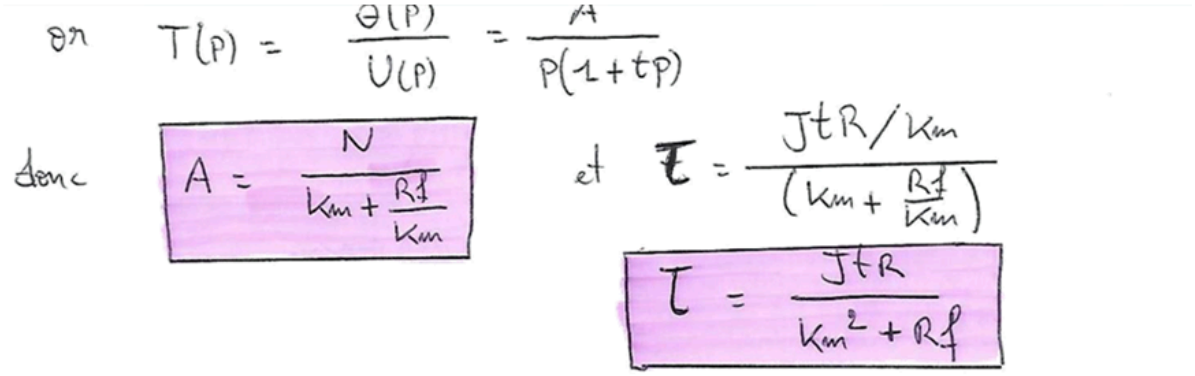
4)

$$\frac{\theta(p)}{u(p)} = \frac{N}{\left(K_m + \frac{Rf}{K_m}\right) p + \frac{J_t R}{K_m} p^2}$$

$$\frac{\theta(p)}{u(p)} = \frac{N}{p\left[\left(K_m + \frac{Rf}{K_m}\right) + \frac{J_t R p}{K_m}\right]} = \frac{N}{p\left[\left(K_m + \frac{Rf}{K_m}\right)\left(1 + \frac{J_t R p / K_m}{\left(K_m + \frac{Rf}{K_m}\right)}\right)\right]}$$

$$\boxed{\frac{\theta(p)}{u(p)} = \frac{\frac{N}{K_m + \frac{Rf}{K_m}}}{p\left(1 + \frac{J_t R p / K_m}{\left(K_m + \frac{Rf}{K_m}\right)}\right)}}$$

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32



III- B IDENTIFICATION EXPÉRIMENTALE

a. 15V → 180°

Alors k = $\frac{15}{180}$ V/°

k = $\frac{15}{\pi}$

k = 4,77 V/rad

b. Fonction en boucle ouverte :

Fbo(p) = K_p T(p)k A_p = $\frac{K_p A k A_p}{p(1+\tau p)}$

NB : K = 0,083 V/°

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

Fonction en boucle fermée :

$$Fbf(p) = \frac{K_p T(p) k}{1 + K_p T(p) k A_p}$$

$$Fbf(p) = \frac{\frac{K_p Ak}{p(1+\tau p)}}{1 + \frac{K_p AkA_p}{p(1+\tau p)}}$$

$$Fbf(p) = \frac{K_p Ak}{p(1+\tau p) + K_p AkA_p}$$

$$Fbf(p) = \frac{\frac{1}{A_p}}{1 + \frac{1}{K_p AkA_p} p + \frac{\tau}{K_p AkA_p} p^2}$$

avec $K_p = A_p = 1$ on obtient : $Fbf(p) = \frac{1}{1 + \frac{1}{Ak} p + \frac{\tau}{Ak} p^2}$

e. Par relevé graphique on trouve :

→ gain K = 1
→ ym = 15,14 (valeur normalisée)
→ y = 11,33 (valeur normalisée)
→ T/2 = 0,45s

Premier dépassement :

depassement.m

```
function D1=depassement(ym,y)
    D1=(ym-y)/y
end
```

```
>> D1=depassement(15.14,11.33)

D1 =

    0.3363
```

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

Coefficient d'amortissement :

```
function m=coefm(a)
    m=sqrt(1/(1+(pi/log(a))^2));
end
```

```
>> m=coefm(D1)

m =

    0.3277
```

Pseudo période: $T_p = 2*T/2 = 2*0,45$

$T_p = 0,90s$

Pseudo fréquence : $\omega_p = \frac{2\pi}{T_p} = \frac{2\pi}{0,90} \leftrightarrow \omega_p = 6,9813$

Pulsation naturelle :

```
function wn=pulsation_wn(a,b)
    wn=a/sqrt(1-b^2)
end
```

```
>> wn=pulsation_wn(wp,m)

wn =

    7.3895
```

f)

$$Fbf(p) = \frac{K}{1+\frac{2m}{\omega_n}p+\frac{1}{\omega_n}p^2} \frac{1}{1+\frac{1}{Ak}p+\frac{\tau}{Ak}p^2}$$

$$Fbo(p) = \frac{1}{1+\frac{1}{Ak}p+\frac{\tau}{Ak}p^2} = \frac{K}{1+\frac{2m}{\omega_n}p+\frac{1}{\omega_n}p^2}$$

Par identification on a :

$\rightarrow K=1$

$\frac{2m}{\omega_n} = \frac{1}{Ak} A = \frac{\omega_n}{2mk} = \frac{7,3895}{2*0,3277*0,083}$

$\rightarrow \quad = \quad \leftrightarrow \quad \leftrightarrow A=136$

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

$$\frac{1}{\omega_n^2} = \frac{\tau}{Ak}\tau = \frac{Ak}{\omega_n^2} = \frac{136*0,083}{7,3895^2}$$
$$\rightarrow \qquad \leftrightarrow \qquad \leftrightarrow \tau = 0,2067$$

$$\frac{1}{1 + 0,089p + 0,018p^2}$$

On obtient finalement : Fbf(p) =

$$T(p) = \frac{A}{p(1+\tau p)} = \frac{136}{p(1+0,2067p)}$$

$$Fbo(p) = \frac{Ak}{p(1+\tau p)} = \frac{136 * 0,083}{p(1+0,2067p)} = \frac{11}{p(1+0,2067p)}$$

IV-A.Etude avec Ap=1 et Kp=1

$V_e(p)$ = 1 / p

Position d'équilibre du dispositif : V_e est un échelon de tension 1V donc

$$\lim_{t\to\infty} v_p(t) = \lim_{p\to 0} p.V_p(p)$$

=

$$\lim_{p\to 0} p.V_e(p).Fbf(p)$$

=

$$\lim_{p\to 0} p.\frac{1}{p}.\frac{1}{1 + 0,089p + 0,018p^2}$$

=

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

$$\lim_{p\to 0} \frac{1}{1+0{,}089p+0{,}018p^2}$$

=

$$\lim_{t\to\infty} v_e(t) - v_p(t)$$

= 1

Erreur en position théorique : err (t) =

$$\lim_{p\to 0} p.(V_e(p) - V_p(p))$$

=

$$\lim_{p\to 0} p.V_e.(1 - \frac{V_p(p)}{V_e(p)})$$

=

$$\lim_{p\to 0} p.V_e.(1 - Fbf(p))$$

=

$$\lim_{p\to 0} p.\frac{1}{p}.(1 - \frac{1}{1+0{,}089p+0{,}018p^2})$$

=

$$\lim_{p\to 0}(1 - \frac{1}{1+0{,}089p+0{,}018p^2})$$

=

$$= \quad 1 - 1 = 0$$

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

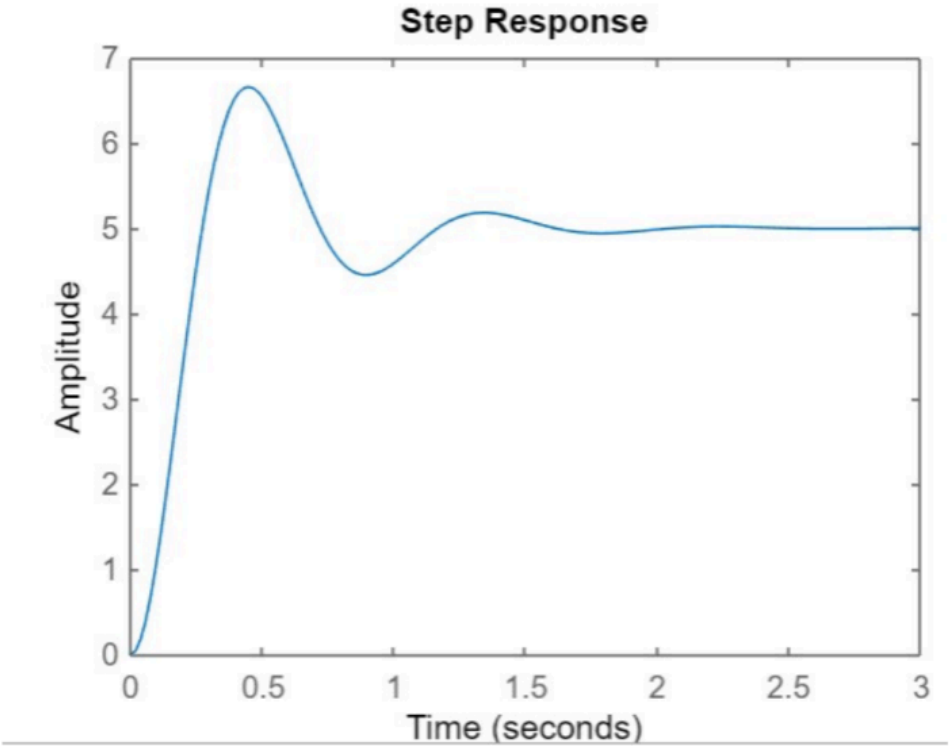
On obtient une erreur statique nulle. Cela est cohérent puisque la fonction de transfert en boucle ouverte est de classe 1 et que l'entrée est un échelon.

Vérification :

On obtient finalement Fbo(p) = $\frac{1}{1+0{,}089\,p+0{,}018\,p^2}$ et $T(p)=\frac{A}{p(1+\tau\,p)}=\frac{136}{p(1+0{,}2067\,p)}$

Vérification de la fonction de transfert obtenue par simulation sur Matlab (pour un échelon de 5V):

```
Fbf=tf(1,[0.018 0.089 1]);
Ec=5;
step(Ec*Fbf);
```



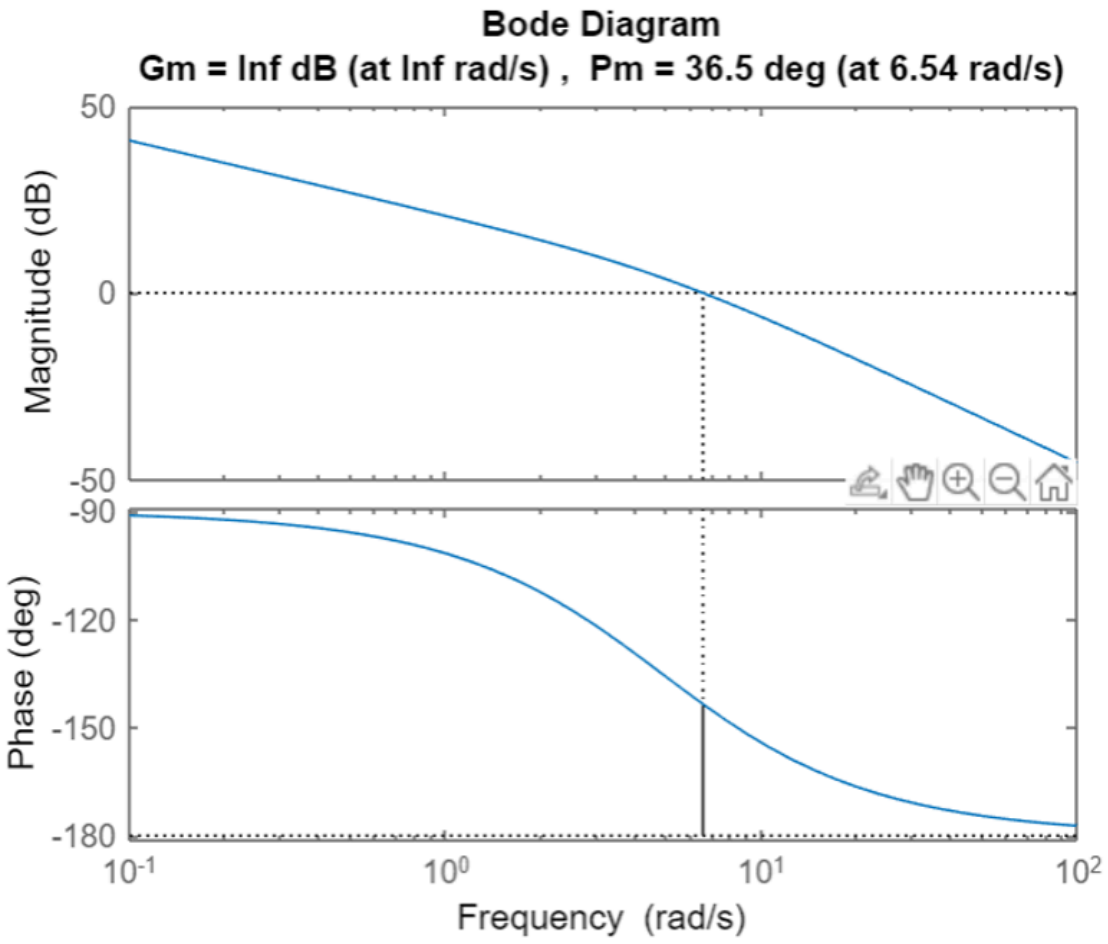
$$\frac{11}{p(1+0{,}2067p)}$$

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

Etude de la stabilité du système (en boucle ouverte) :

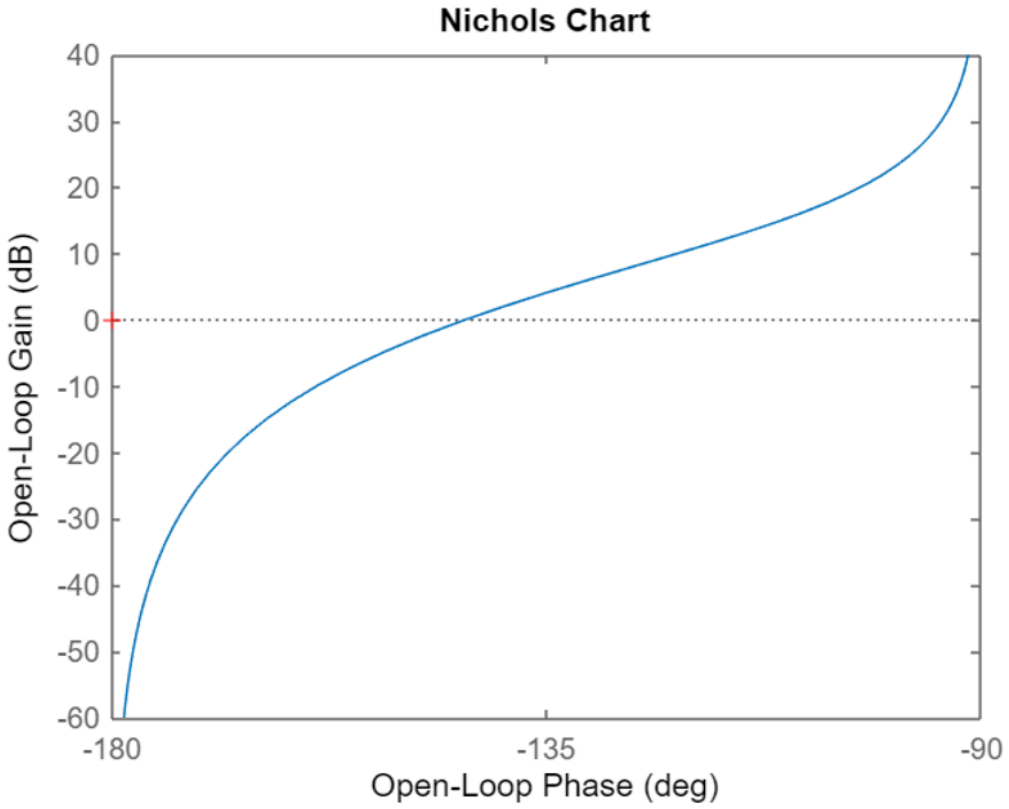
Fbo(p) =

```
Fbo=tf(11,[0.2067 1 0]);
margin(Fbo);
nichols(Fbo);
```



On a une marge de gain infinie et une marge de phase égale à 6,54 rad/s

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32



AUTRES MOYENS :

On peut également tracé la réponse avec le langage Python sur l'environnement Cloud Google Colab :

On importe les librairies correspondantes au tracé de courbe et des fonctions du signal

```
[2]  import numpy as np
     from scipy import signal
     import matplotlib.pyplot as  plt
```

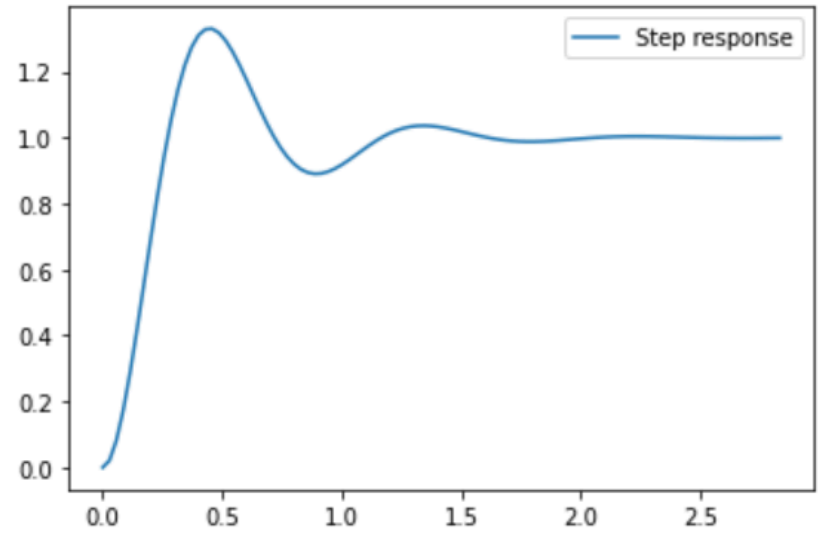
On définit la fonction de transfert et on la trace ensuite :

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

```
name = 'Step response'
num = [1]
den = [0.018, 0.089, 1]
sys = signal.TransferFunction(num,den)
t,y = signal.step(sys)
plt.figure(1)
plt.plot(t,y,label=name)
plt.legend(loc='Asservissement MCC')
```

Tracé :

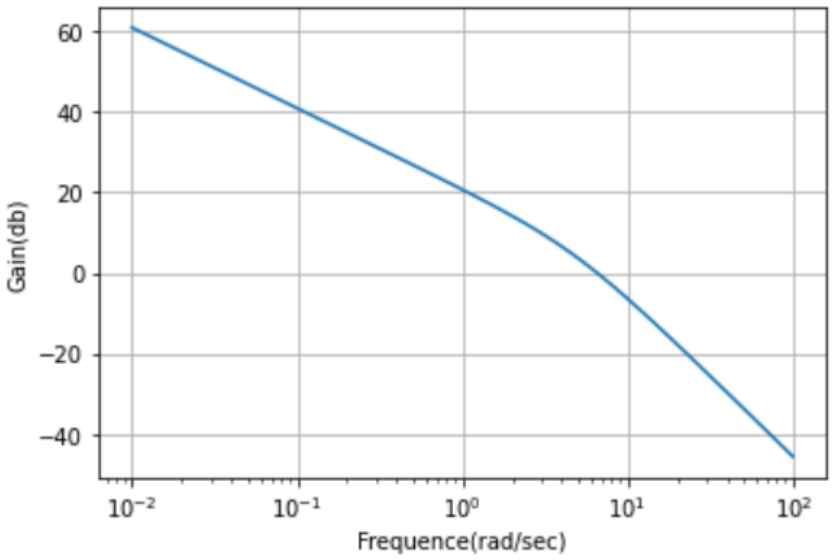
```
<matplotlib.legend.Legend at 0x7fb3c1dde4e0>
```



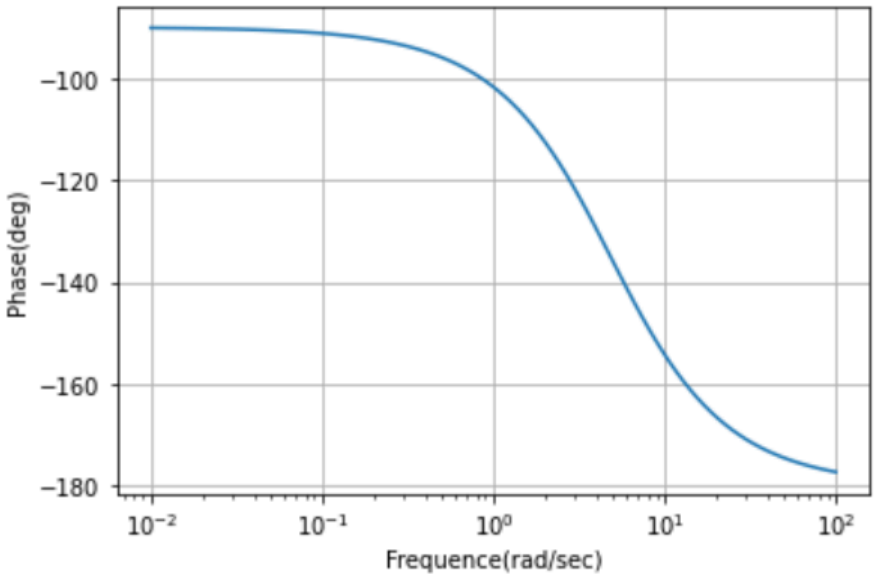
L’étude de la stabilité en boucle ouverte nous donne le diagramme suivant :

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

```
w, mag, phase = signal.bode(sys)
plt.figure()
plt.xlabel('Frequence(rad/sec)')
plt.ylabel('Gain(db)')
plt.grid()
plt.semilogx(w, mag)
plt.figure()
plt.xlabel('Frequence(rad/sec)')
plt.ylabel('Phase(deg)')
plt.grid()
plt.semilogx(w, phase)
plt.show()
```



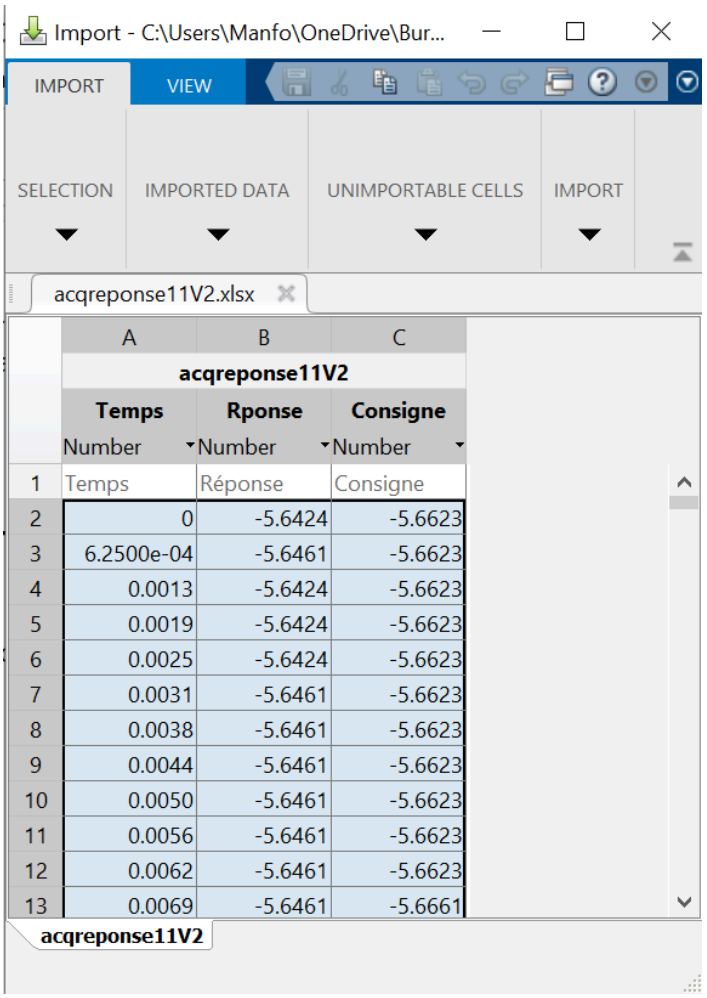
Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32



Graphiquement, nous avons eu les valeurs comme suit :

Import du fichier Excel sur Matlab :

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

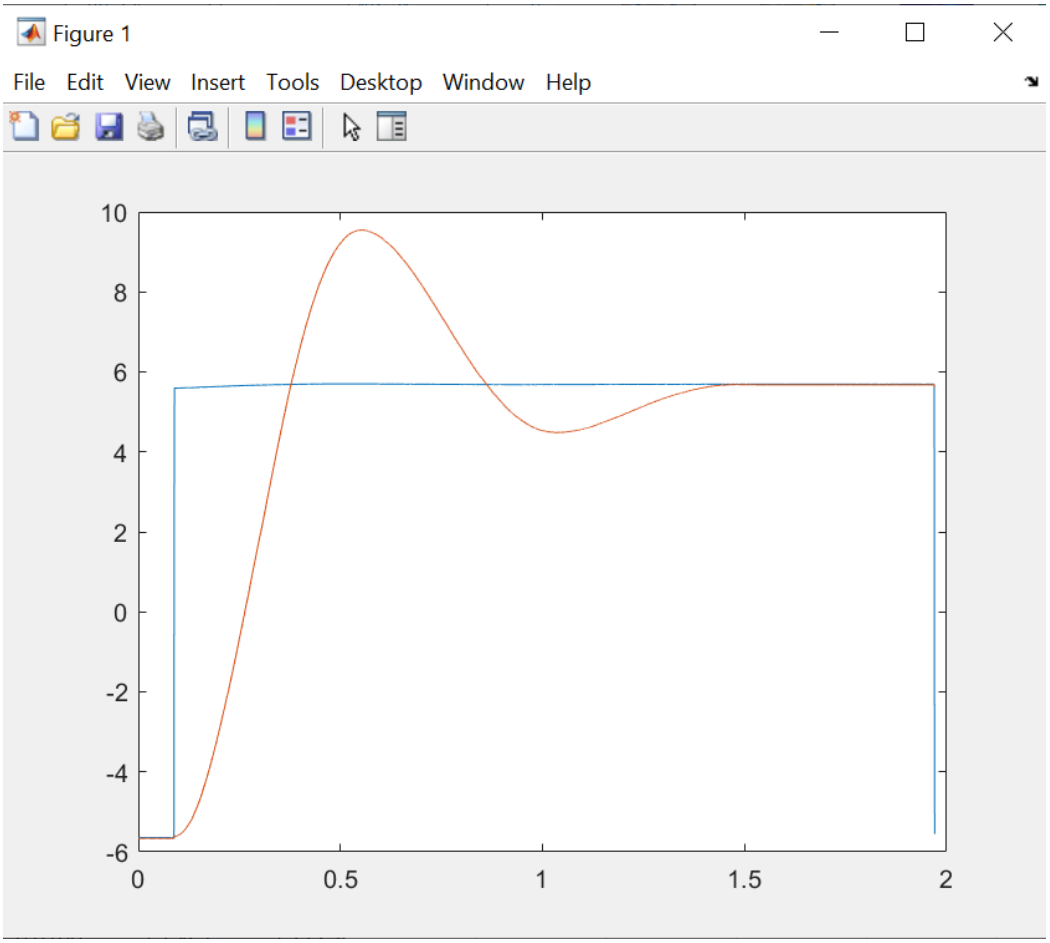


	A	B	C
	acqreponse11V2		
	Temps	Rponse	Consigne
	Number	Number	Number
1	Temps	Réponse	Consigne
2	0	-5.6424	-5.6623
3	6.2500e-04	-5.6461	-5.6623
4	0.0013	-5.6424	-5.6623
5	0.0019	-5.6424	-5.6623
6	0.0025	-5.6424	-5.6623
7	0.0031	-5.6461	-5.6623
8	0.0038	-5.6461	-5.6623
9	0.0044	-5.6461	-5.6623
10	0.0050	-5.6461	-5.6623
11	0.0056	-5.6461	-5.6623
12	0.0062	-5.6461	-5.6623
13	0.0069	-5.6461	-5.6661

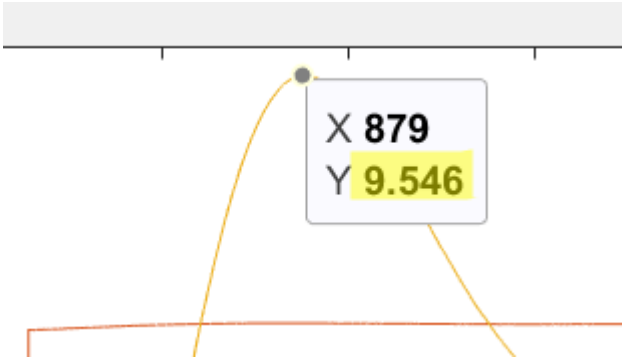
acqreponse11V2

Puis on fait un plot et on obtient le graphique suivant :

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

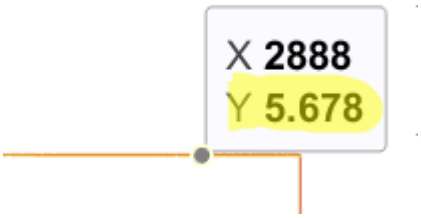


On relève :
Pour le dépassement :



La valeur finale Y infini :

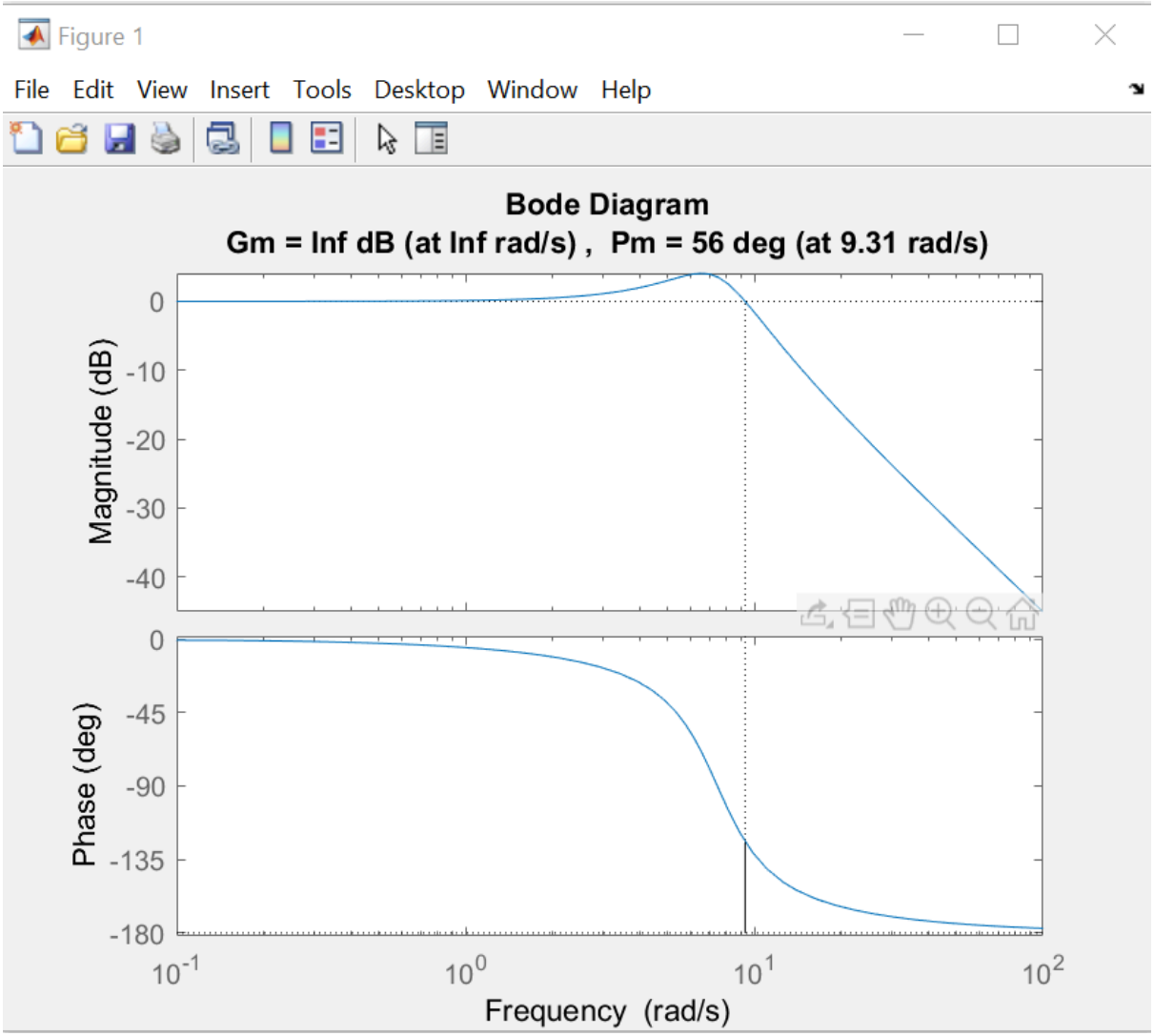
Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

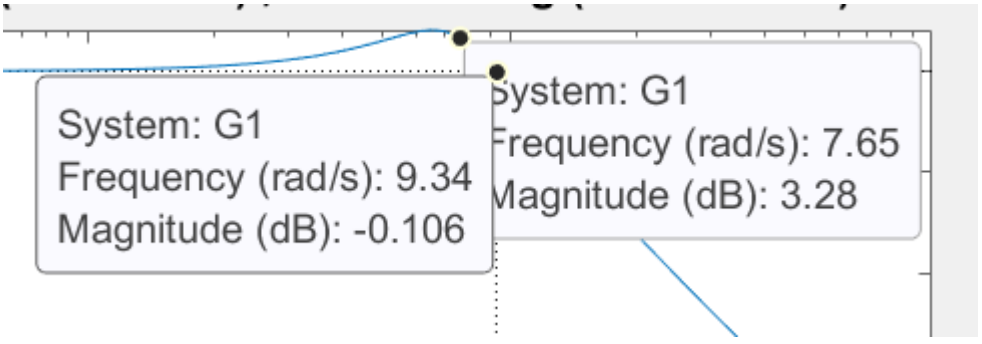


Démi-période



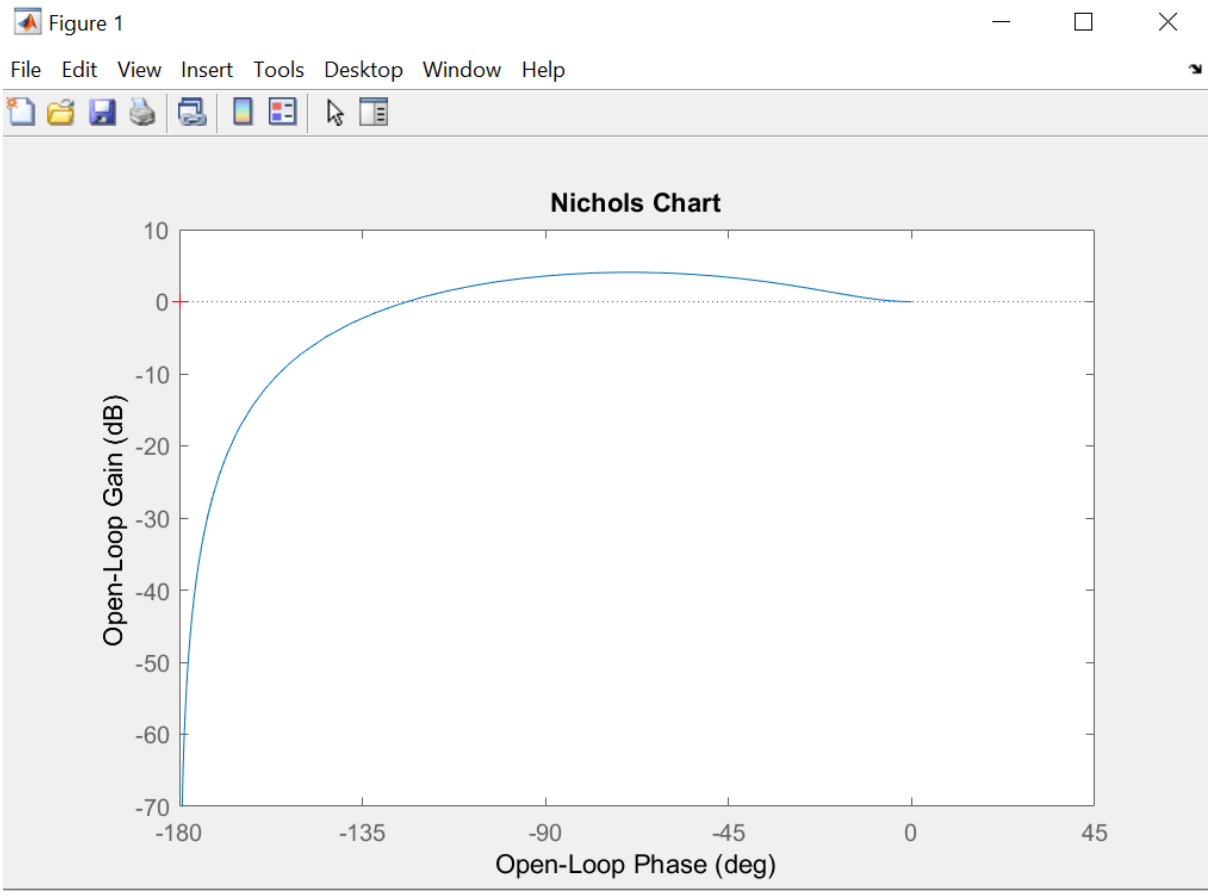
Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32





nichols chart :

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32



B) ÉTUDE AVEC PLUSIEURS VALEUR DE Kp

$$\frac{1}{1+\frac{1}{K_pAk}p+\frac{\tau}{K_pAk}p^2}=\frac{1}{1+\frac{0{,}089}{K_p}p+\frac{0{,}018}{K_p}p^2}$$

= Fbf(p)

$$\frac{K_p}{p.(1+\tau p)}\frac{11K_p}{p.(1+0{,}2067p)}$$

= Fbo(p)

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

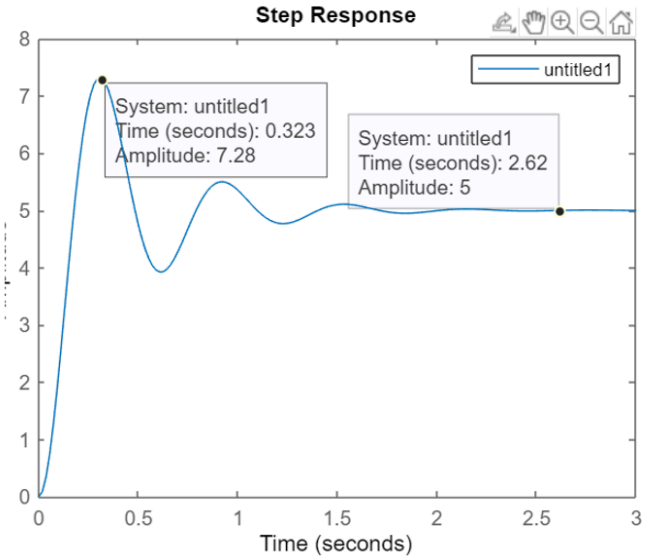
Kp = 1 : Etude réalisée dans la partie précédente

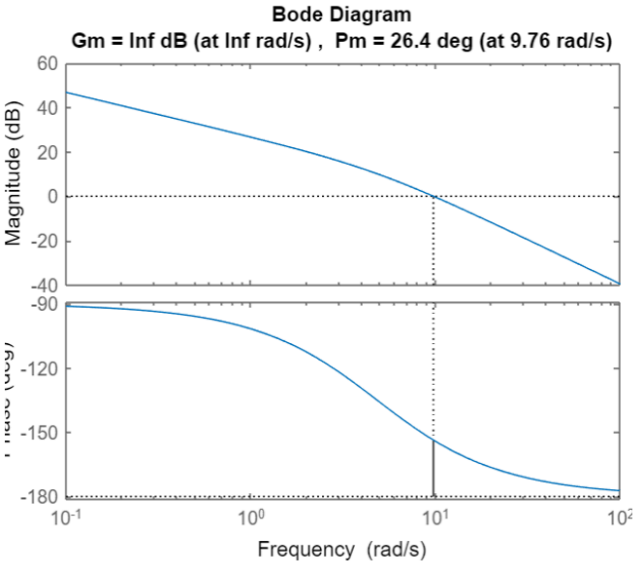
KP = 2 :

Ftbf(p) =

$$\frac{1}{1+0{,}045p+0{,}009p^2}\,Fbo(p)=\frac{22}{p.(1+0{,}2067p)}$$

→ De manière analogue à l'étude faite avec Kp=1 on trouve une position d'équilibre égale à 1 et une erreur statique nulle.



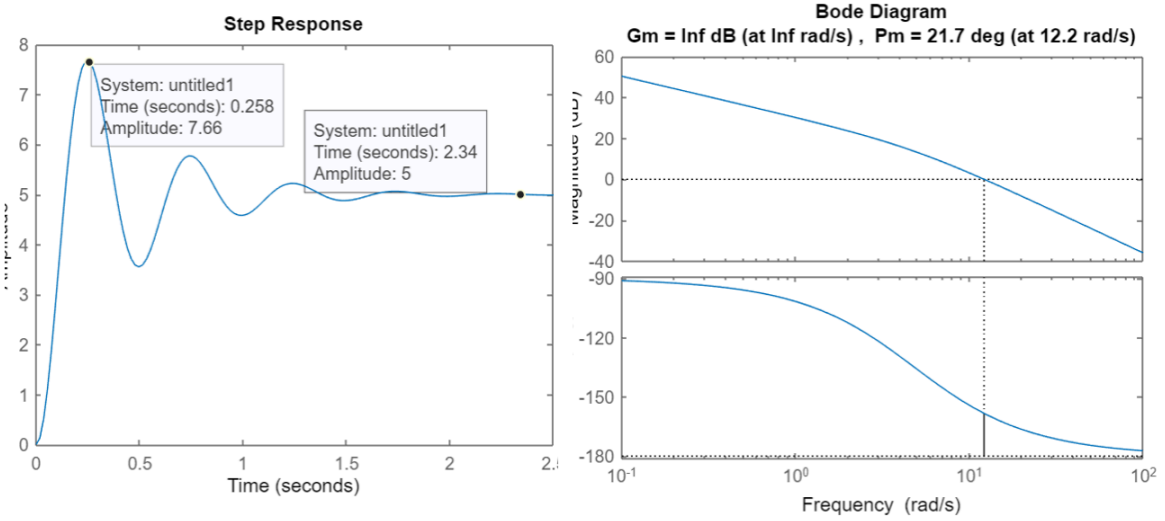


Kp = 3 : Fbf(p) =

$$\frac{1}{1+0{,}03p+0{,}006p^2}\,Fbo(p)=\frac{33}{p.(1+0{,}2067p)}$$

→ De manière analogue à l'étude faite avec Kp=1 on trouve une position d'équilibre égale à 1 et une erreur statique nulle.

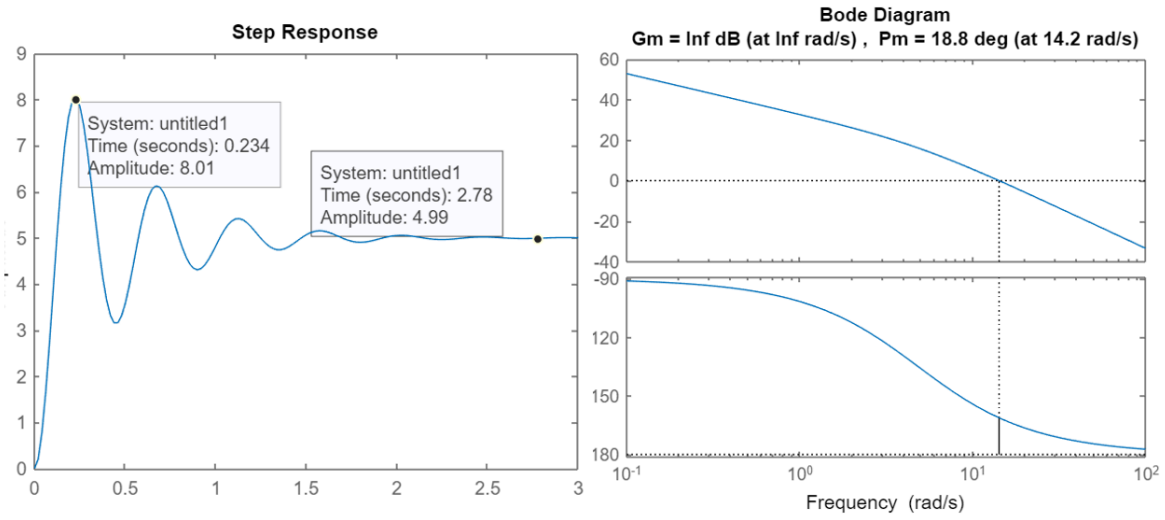
Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32



Kp = 4 : Fbf(p) =

$$\frac{1}{1+0{,}022p+0{,}005p^2}\,Fbo(p)=\frac{44}{p.(1+0{,}2067p)}$$

→ De manière analogue à l'étude faite avec Kp=1 on trouve une position d'équilibre égale à 1 et une erreur statique nulle.

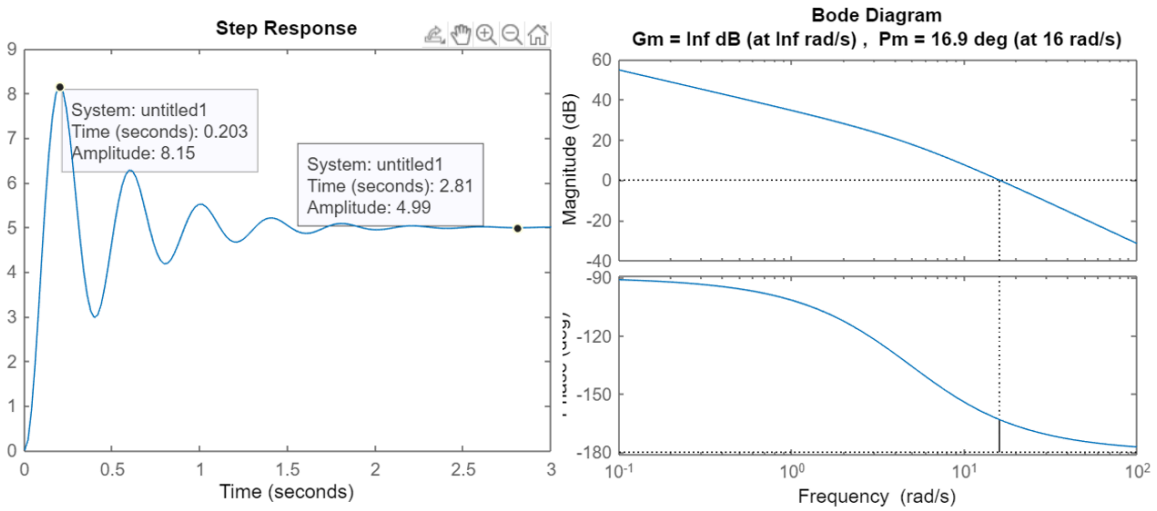


Kp = 5 : Fbf(p)=

$$\frac{1}{1+0{,}018p+0{,}004p^2}\,Fbo(p)=\frac{55}{p.(1+0{,}2067p)}$$

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

→ De manière analogue à l'étude faite avec Kp=1 on trouve une position d'équilibre égale à 1 et une erreur statique nulle.



Remarques :

- ➔ ***Temps de stabilisation :*** Graphiquement on observe que plus Kp augmente, plus le système met du temps à se stabiliser, le temps de réponse stabilisation augmente alors avec Kp.
- ➔ ***Dépassement :*** Ymax augmente aussi avec Kp. Par conséquent le dépassement augmente aussi avec Kp.
- ➔ ***Fréquence de coupure :*** Sur les diagrammes de Bode on remarque que la fréquence de coupure augmente aussi avec Kp.
- ➔ ***Marge de phase :*** Lorsque Kp augmente, la marge de phase diminue.
- ➔ ***Marge de gain :*** La valeur de Kp semble ne pas modifier la valeur de la marge de gain, elle reste infinie dans les cinq cas.

IV- C - Correcteur PID :

On applique un correcteur à avance de phase sur notre systèmes avec le logiciel Matlab :

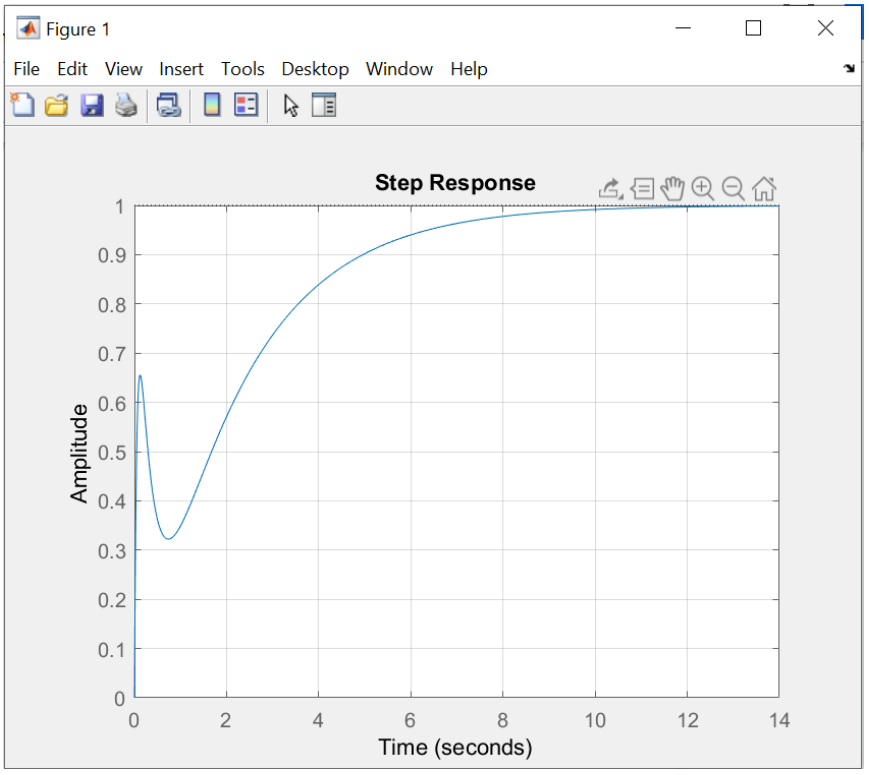
Pour ce faire, on définit la fonction de transfert du système en boucle ouverte et un correcteur

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

```
clear all; close all; clc;
num = [1]
den = [0.018 0.089 1]
G1 = tf(num, den)
Ec = 5
step(Ec*G1)

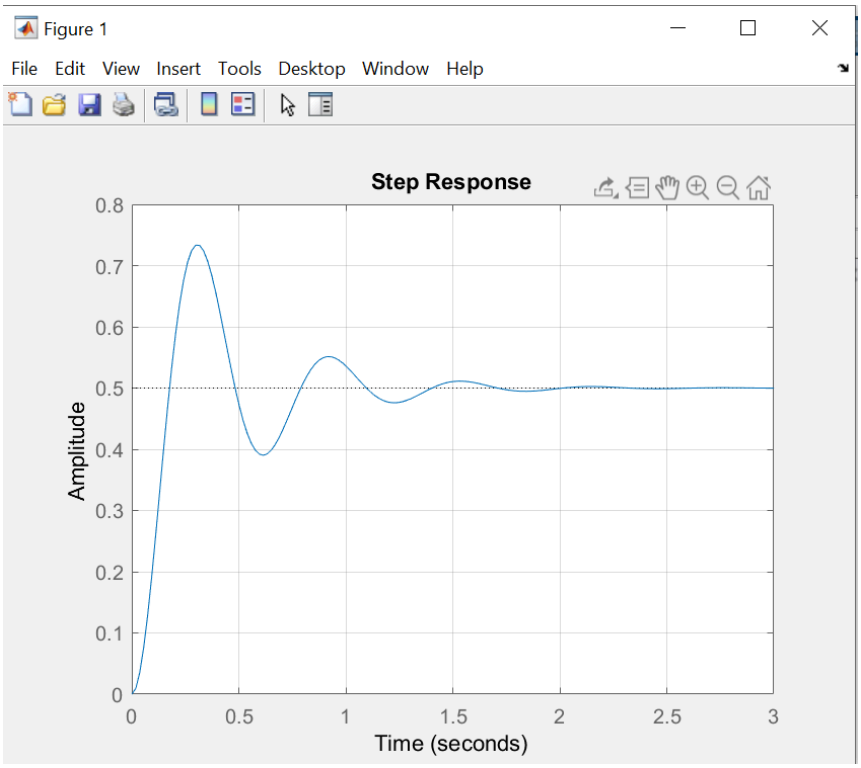
% Define a PID controller
H = (1)
Kp = 0.2
Ki = 0.5
Kd = 0.3
G2 = pid(Kp,Ki,Kd)
G3 = feedback(G2*G1, H)
step(G3)
grid on;
```

La réponse de ce correcteur est donné par la

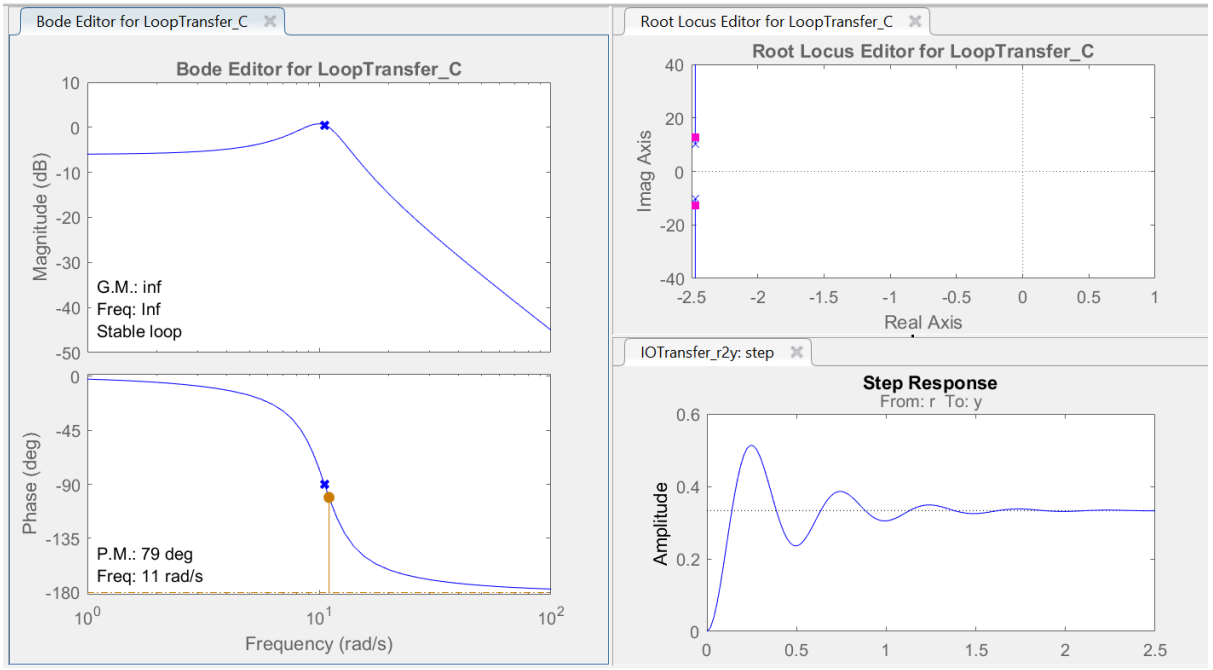


Pour Kp = 1, Ki = 0 et Kd = 0 on obtient

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

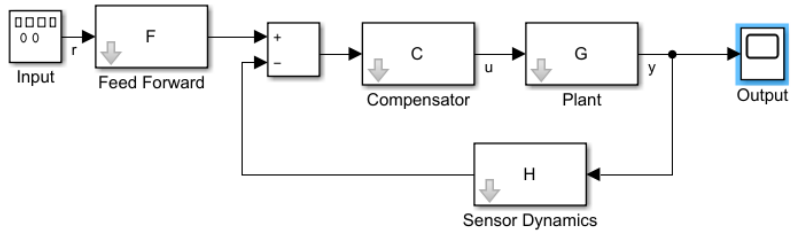


Avec la commande Sisotool de Matlab on obtient l'ensemble des graphique suivant :

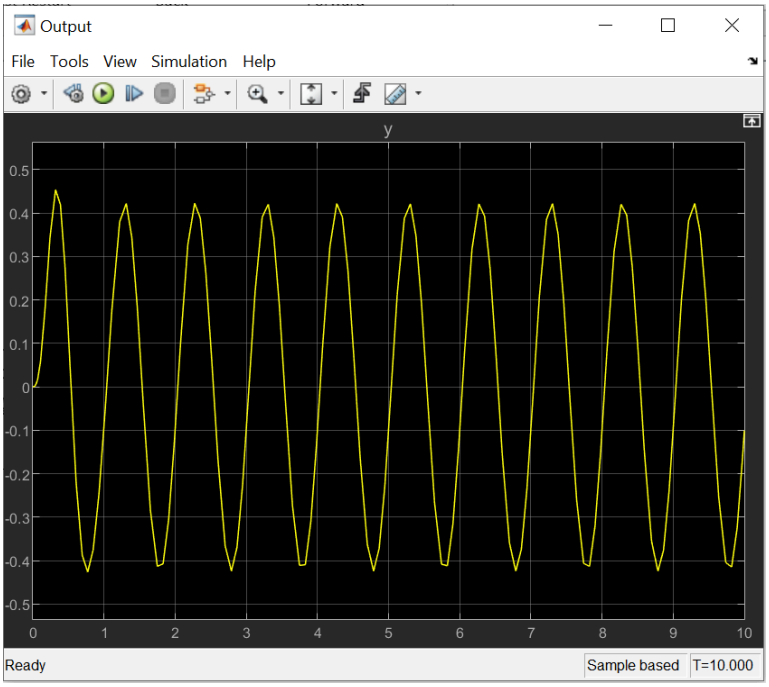


le schéma Simulink correspondant est le suivant :

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32



avec en sortie du Scope :



V - ETUDE EXPÉRIMENTALE

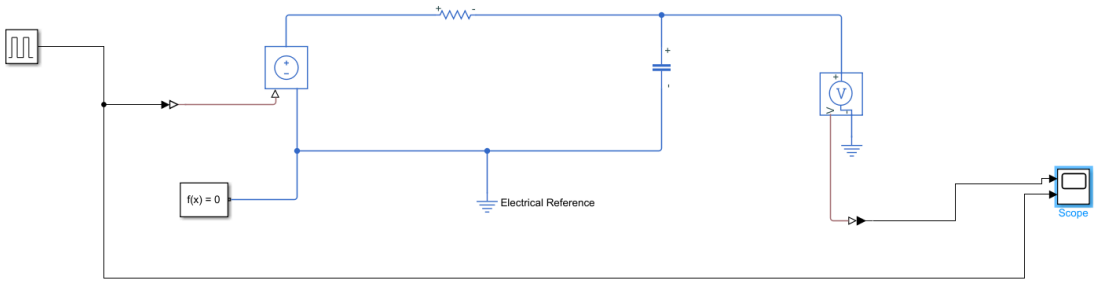
Cette étude consiste à mettre en pratique l'étude effectuée dans la première partie et à comparer le comportement réel du dispositif au comportement théorique défini précédemment.

A - Commande proportionnelle Kp (sans correction de phase)

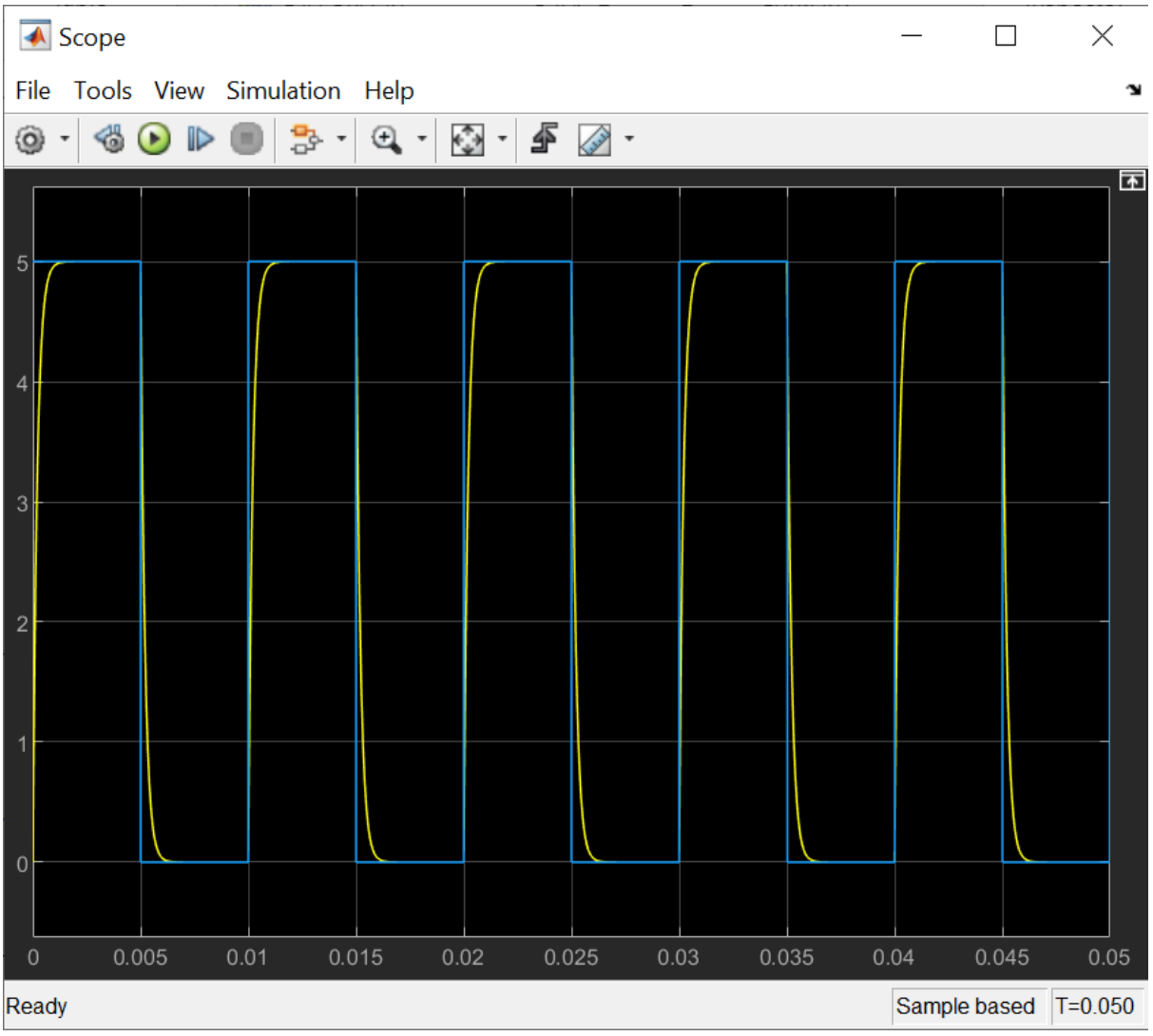
- **Modélisation électrique SIMSCAPE**

circuit RLC Simscape :

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

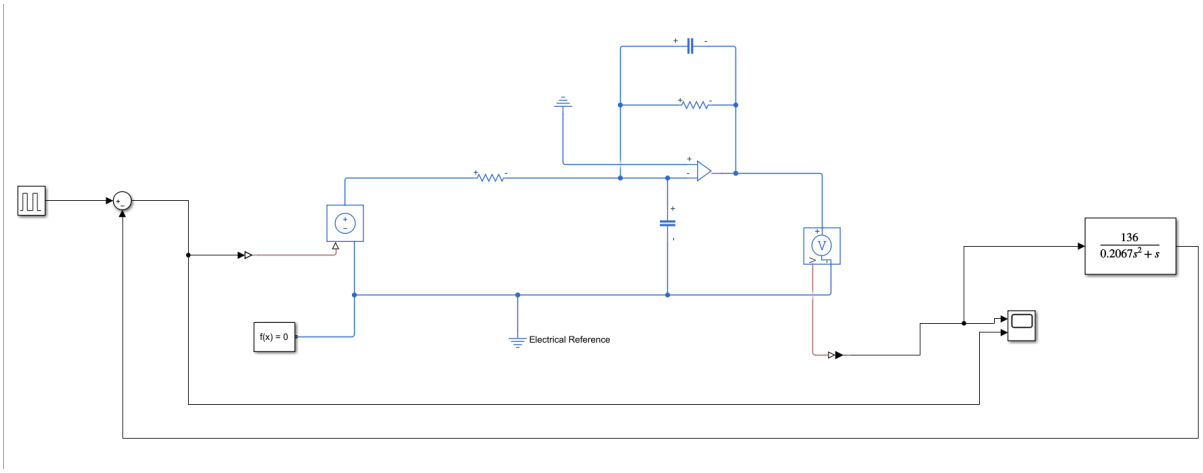


En sortie du Scope on obtient :

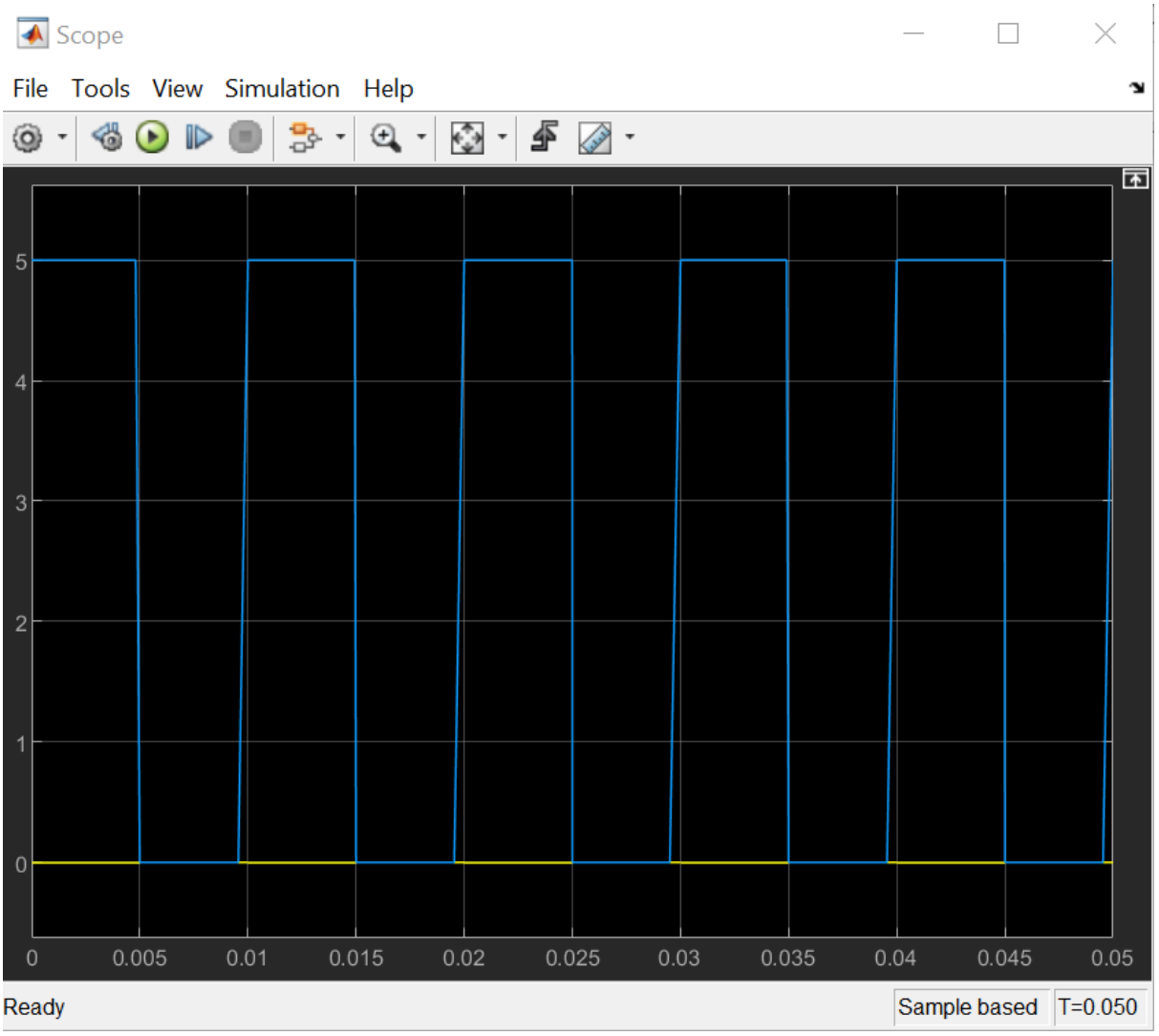


On ajoute la FTBF qui représente le couple Moteur-Réducteur-Disque :

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32



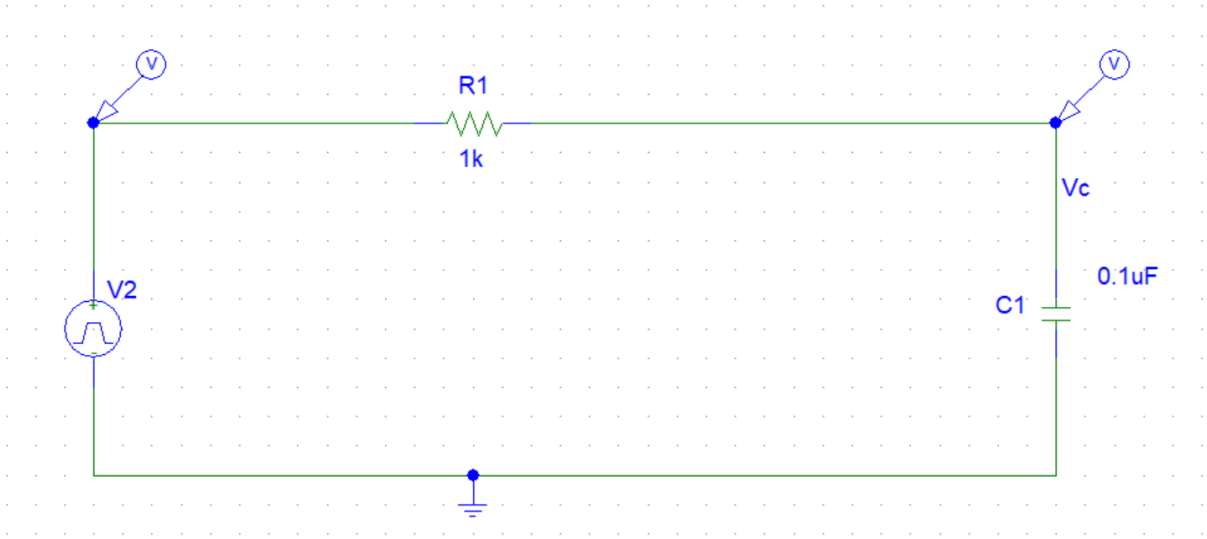
On obtient en sortie du Scope :

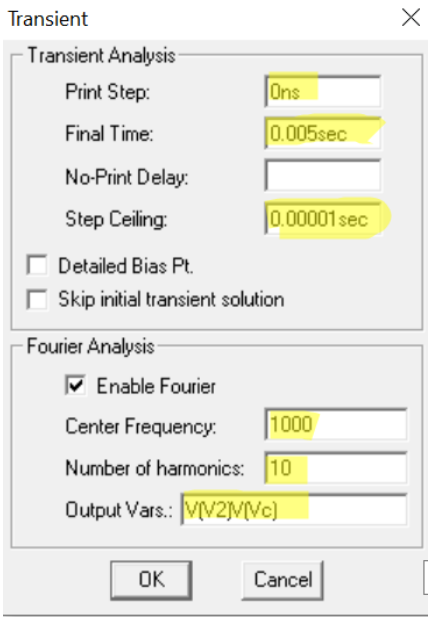


- **Modélisation avec le logiciel PSpice Student :**

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

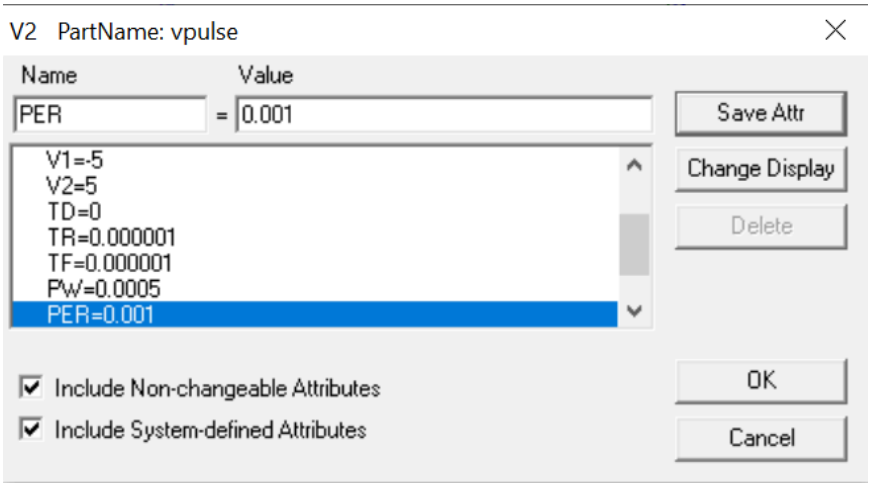
Circuit RC Model :

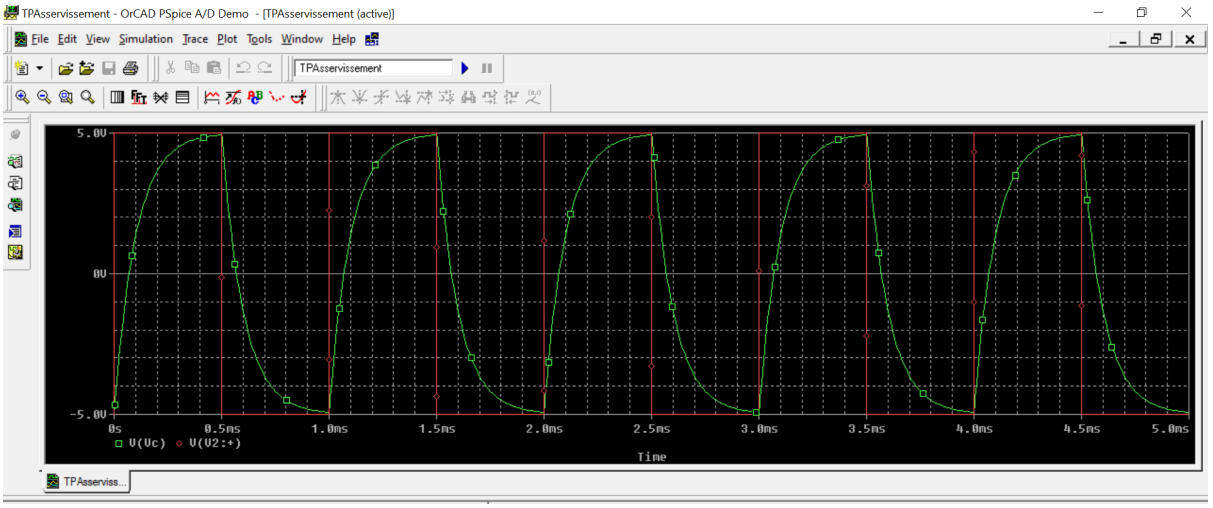




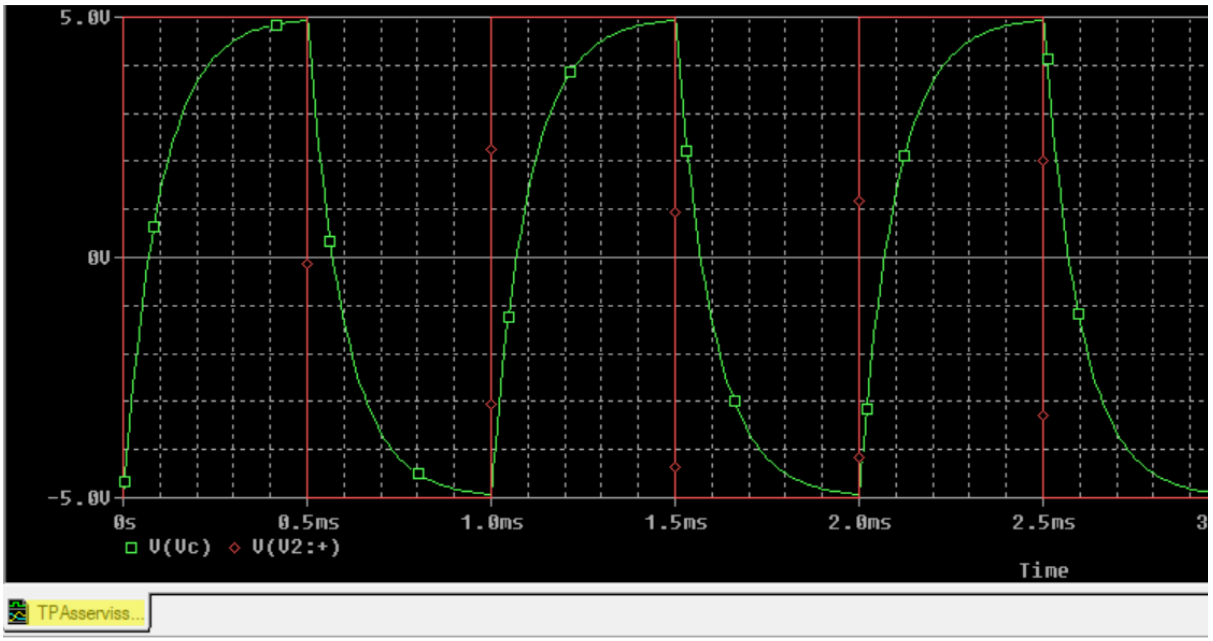
On donne les caractéristiques du signal carré généré (valeurs crêtes à crêtes, temps de montée, temps de réponse, temps de descente etc)

Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

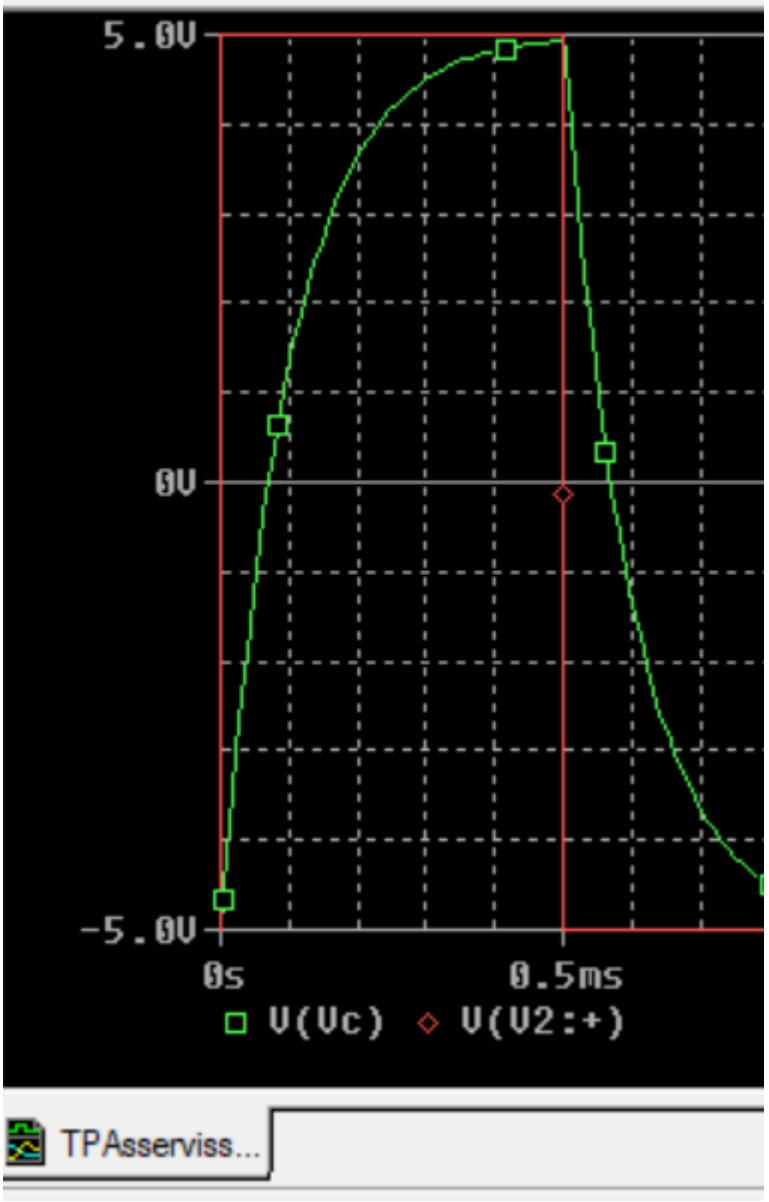




Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32



Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32



Eric MOUSSODOU
Kavitha KICHENASSAMY
3A - 32

