

École d'ingénieurs pour l'énergie, l'eau et l'environnement



TRAVAUX PRATIQUES AUTOMATIQUE

Filière ASI 2A

Cet exemplaire doit rester en salle AIDA

PLATE-FORME TECHNOLOGIQUE AIDA
Automatique, Procédés, Commande

Fonctionnement général

Organisation du cycle

Le cycle comprend 4 séances de 4 heures en salle AIDA (salle 3D-001 à GreEn-ER). Les étudiants se référeront à leur emploi du temps pour les dates exactes des séances.

Les étudiants sont répartis en 6 groupes (binômes ou trinômes). Le passage des groupes aux différentes manipulations est décrit par le tableau ci-dessous.

LISTE DES MANIPULATIONS

- TP 1 Identification et commande d'une structure souple (2 séances)
- TP 2 Commande linéaire quadratique d'un système gyroscopique (2 séances)

TABLEAU DE ROTATION

Tout le monde fait le même TP au même moment puisqu'il n'y a pas d'expérience cette année.
Séance 1 et 2 : TP Gyro (TP2) ; Séance 3 et 4 : TP Carv (TP1)

	Groupes 1,2 et 3	Groupes 4,5 et 6
séance 1	TP 1	TP 2
séance 2	TP 1	TP 2
séance 3	TP 2	TP 1
séance 4	TP 2	TP 1

Les sujets de TP sont organisés en quatre parties. La première donne l'objectif de la manipulation, la deuxième correspond à la présentation du procédé, la troisième décrit la préparation à effectuer avant la séance en salle AIDA, et la dernière donne le travail à effectuer en séance. La préparation est impérative et sera vérifiée en début de séance. Le sujet de TP doit être lu avant la séance. Il convient également d'amener l'ensemble des documents nécessaires à l'expérimentation (cours, polycopiés, documents, abaques, de 1ère et 2ème année). Les comptes-rendus seront remis à la fin de la dernière séance de chaque TP.

Vous aurez un délai de 3 jours pour rendre votre compte-rendu : 1 compte-rendu par binôme à déposer sur Chamilo

Notation

Chaque manipulation donne lieu à un compte-rendu par groupe à rendre en fin de séance, et qui fera l'objet d'une note qui prend en compte la préparation (contrôlée en début de séance), la participation des étudiants au déroulement du TP, les résultats obtenus et leurs interprétations. La moyenne des 2 notes obtenues (une par TP) constituera la note finale associée à ce cycle d'enseignement.

En cas d'absence prévisible **et préalablement justifiée par la Direction des études** lors d'une séance, les étudiants doivent impérativement prévenir l'enseignant qui les encadre. **Les absences injustifiées donnent lieu à un zéro pour la séance concernée, sans aucune possibilité de rattrapage.** De plus, tout retard non justifié à une séance entraînera la pondération de la note obtenue par l'étudiant à cette séance par un coefficient égal au prorata de la présence de l'étudiant durant la séance.

Tout cela est à adapter bien sûr compte tenu de l'enseignement à distance. Vous avez les idées principales : il faut être présent aux séances programmées sur ADE.

**Vous trouverez les fiches d'autoévaluation en lien avec
la partie Commande Quadratique et avec la partie Identification des Systèmes sur Chamilio (rubrique TP).
Elles pourraient vous servir de base pour vous rendre compte des questions
qui pourraient vous être posées pendant les séances de TP.**

Table des matières

Fonctionnement général	1
1 Structure souple CARV	5
1.1 Introduction	5
1.2 Objectifs	6
1.3 Présentation du procédé	6
1.4 Modélisation physique (à préparer avant le TP)	6
1.5 Identification	7
1.5.1 Identification non paramétrique	7
1.5.2 Identification paramétrique	8
1.6 Régulation	9
1.6.1 Régulateur RST par placement des pôles	9
1.6.2 Régulateur RST par approche robuste	9
1.6.3 Évaluation des performances	9
1.6.4 Obtention d'un régulateur d'ordre réduit	10
2 Gyroscope	11
2.1 Objectifs	11
2.2 Présentation du procédé	12
2.2.1 Description générale	12
2.2.2 Modèle physique du gyroscope	12
2.2.3 Préparation : Représentation d'état	13
2.3 Simulations	13
2.3.1 Analyse du système	13
2.3.2 Commande par retour d'état	14
2.3.3 Observateur d'état	14
2.3.4 Analyse de robustesse	15
2.4 Expérimentation	15
2.4.1 Commande par retour d'état avec observateur	15
2.4.2 Commande par retour d'état avec action intégrale	16

TP 1

Identification et commande d'une structure souple

1.1 Introduction

La structure souple CARV illustre le comportement réel de nombreux systèmes mécatroniques, notamment ceux liés à la suppression vibratoire à travers des systèmes de contrôle/commande dans des systèmes de suspensions actives et anti-vibratoires. La suppression vibratoire intéresse plusieurs industries de domaines d'activité variés comme : l'aéronautique, l'électronique, l'industrie, l'automobile et le transport ferroviaire et maritime. Les applications les plus connues : protection de matériels électroniques embarqués, suspension de moteurs, discréetion acoustique (atténuation de bruit) et la protection anti-sismique.

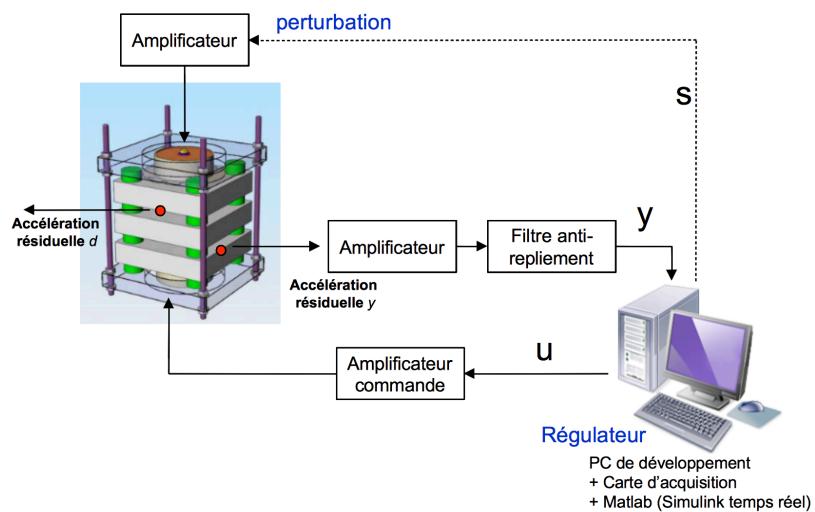


FIGURE 1.1 – Structure souple en boucle fermée.

1.2 Objectifs

L'objectif de ce TP est d'assurer l'atténuation des vibrations sur une structure souple en compensant les modes de vibrations naturels du système. Dans un premier temps, on identifie le modèle du système. Ensuite, deux types de régulateurs (par placement des pôles et par approche robuste) seront réglés sur les modèles identifiés et testés sur le procédé réel.

1.3 Présentation du procédé

La plate-forme expérimentale CARV représentée par la Figure 1.1, se compose de trois plaques (en *duralumin* de masses 1,8 Kg chacune) reliées entre elles par des ressorts, le tout attaché par des ressorts à un support fixe (seules les trois plaques centrales sont mobiles). La première et la dernière plaque (Masses M_1 et M_3 dans la figure 1.2) sont équipées d'un actionneur inertiel : un pour perturber la structure souple et l'autre pour la suppression des vibrations. Deux capteurs d'accélération sont utilisés en tant que des sorties du système (appelés y et d dans la Figure 1.1). Le principe de cette plate-forme expérimentale est de faire varier la position verticale des plaques, en utilisant les actionneurs inertIELS. L'excitation vibratoire peut être un signal généré par l'ordinateur puis amplifié pour obtenir, soit la perturbation s , soit la commande u (dans la Figure 1.1). On considère ici le système avec, en entrée, la commande en tension d'un actionneur inertiel agissant sur la position x_1 (comprise entre -0.15 et 0.15 V), et, en sortie, la mesure (en tension, également comprise entre -1.25 et 1.25 V) de l'accélération dans la masse suspendue M_1 .

1.4 Modélisation physique (à préparer avant le TP)

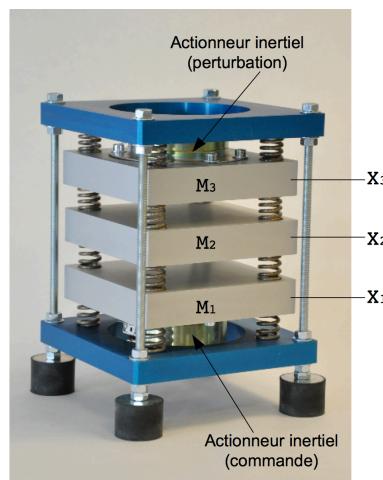


FIGURE 1.2 – Structure souple CARV disponible en la salle AIDA.

Écrire, à partir de la figure 1.2, les équations mécaniques de chaque masse en considérant le bilan des forces. Pensez à considérer l'actionneur agissant en force u sur la masse M_1 et la force de rappel du ressort (de coefficient k). On négligera les forces de frottement car l'objectif de cette préparation est d'avoir une information concernant l'ordre du système.

Quel est l'ordre du système dont l'entrée est la force u et la sortie est la position x_1 ? Combien de modes vibratoires (résonances) peut présenter le procédé? On intègre maintenant la nature du capteur (un accéléromètre). Que devient l'ordre du transfert entre l'entrée u et la sortie $y = \ddot{x}_1$? Combien de modes vibratoires présente ce transfert? Quel sera le gain statique de cette fonction de transfert?

Remarque : un mode vibratoire (ou mode résonant) est donné par une paire de pôles complexes conjugués, qui a un amortissement faible. Sa fréquence (ou pulsation ω) correspond à la fréquence de résonance de la paire de pôles.

1.5 Identification

L'objectif est d'identifier la fonction transfert échantillonnée entre y et u (voir le schéma de la figure 1.3), avec une fréquence d'échantillonnage de $800Hz$. L'identification sera faite en utilisant le schéma Simulink [CARV_ident.mdl](#). [Carv_ident_simu.slx](#)

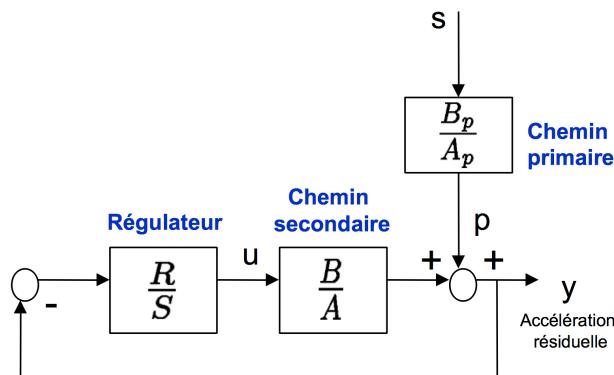


FIGURE 1.3 – Structure souple : chemin primaire et chemin secondaire du système.

1.5.1 Identification non paramétrique

Réponse à un échelon

- Déterminez la réponse indicelle du procédé, en choisissant un échelon d'amplitude raisonnable.
- Commentez-la et estimez quelques caractéristiques du procédé.
- Pourquoi cette étape constitue-t-elle une estimation non paramétrique ?

Choix de la période d'échantillonnage et des paramètres de la SBPA

- La fréquence d'échantillonnage choisie est de 800Hz . Justifier ce choix.
- Quelle est la fréquence de Nyquist correspondante ?
- Rappelez les étapes nécessaires à une identification paramétrique.
- Le signal d'entrée sera une SBPA d'amplitude $a = 0.05V$. Justifier ce choix.
- En vous aidant de la réponse indicielle et en supposant qu'on a une dizaine de paramètres à estimer, choisissez les paramètres de votre SBPA.

Nous disposons de données expérimentales de la manip CARV réalisées en 2019 par vos camarades. Vous pouvez lancer votre sbpa et visualiser la réponse obtenue avec `carv_ident_simu.slx`. Ensuite, vous devez utiliser les données issues de `carv2019.mat` pour le reste du TP.

Analyse de corrélation et analyse spectrale

- Faire une analyse de corrélation et une analyse spectrale avec vos données traitées.
- A partir de votre analyse de corrélation et de votre analyse spectrale peut-on estimer l'ordre du système ? Justifier.
- A partir des résultats précédents estimer les caractéristiques du système telles que le gain statique, le retard, l'ordre, la présence de modes oscillatoires (dans ce cas, estimer la fréquence d'oscillation) ou d'un comportement de type non-minimum de phase.

1.5.2 Identification paramétrique

Identification structurelle et validation

- Utilisez vos connaissances sur le modèle du procédé et son identification non paramétrique pour estimer les degrés des différents polynômes ; confrontez votre estimation avec les résultats de l'analyse structurelle (complexité).
- Testez 2 ou 3 différentes identifications. Pour cela, vous choisirez la méthode ARMAX en considérant les structures que vous avez proposé.
- Comparez vos identifications à l'aide des tests de validation, d'analyses temporelles, fréquentielles et de lieu des pôles et zéros.
- Comparez le comportement de vos modèles à celui du procédé.
- A quel élément présenté dans le cours correspond l'énergie de l'*erreur de prédiction* ?
- Quand considère-t-on qu'un modèle est valide ?
- Donnez les fonctions de transfert des modèles du procédé que vous jugez les meilleures, sous la forme standard présentée en cours.

Identification d'un modèle d'ordre réduit

- Le réglage du régulateur RST demandé sera fait sur un modèle d'ordre réduit du procédé. Pourquoi à votre avis ?
- Proposer des *modèles d'ordre réduit* 4, 8 et 10 (issue d'une procédure de réduction de modèle). Utiliser par exemple la fonction Matlab : `balancmr`.

- Tracer et analyser la réponse indicielle, fréquentielle et le lieu des pôles et zéros des modèles obtenus.
- Montrer la cohérence avec les caractéristiques du modèle d'ordre complet.

Identification en intégrant une partie connue du procédé (facultatif)

Sachant que le système CARV possède un double déivateur dans sa fonction de transfert, proposez une méthodologie pour estimer le modèle du système en tenant en compte cette information. Comparer et discuter les résultats.

1.6 Régulation

1.6.1 Régulateur RST par placement des pôles

- Déduire, à partir de la figure 1.3, la fonction de transfert entre y et p en boucle fermée.
- Écrire le polynôme caractéristique obtenu en boucle fermée.
- Compléter le fichier `RST_eleve.m` pour calculer un régulateur de type placements de pôles pour obtenir des pôles en boucle fermée équivalentes au système en boucle ouverte. Le correcteur devra contenir une "action intégrale" (en utilisant le **principe de modèle interne**) qui devrait permettre le rejet d'une sinusoïde à 500rad/s (les polynômes R et S sont à calculer en utilisant la fonction `Bezout2.m`).
- Tester, en utilisant le schéma Simulink `CARV_bf_simu.mdl`, le régulateur RST obtenu.
- ~~En utilisant le schéma Simulink `CARV_bf_exp.mdl`, tester le même régulateur RST sur le procédé réel en appliquant une perturbation sinusoïdale à 500rad/s .~~

1.6.2 Régulateur RST par approche robuste

- Tester en simulation, en utilisant le schéma Simulink `CARV_bf_simu.mdl`, le régulateur RST obtenu par approche robuste (polynômes R_{rob} et S_{rob} donnés). Appliquer une perturbation sinusoïdale à 500rad/s .
- ~~En utilisant le schéma Simulink `CARV_bf_exp.mdl`, tester le même régulateur RST sur le procédé réel en appliquant une perturbation sinusoïdale à 500rad/s .~~
- Analyser ses performances ?
- Comparer et analyser les réponses fréquentielles des deux correcteurs, $K = \frac{R}{S}$ et $K_{rob} = \frac{R_{rob}}{S_{rob}}$. Conclure.

1.6.3 Évaluation des performances

- Calculer les fonctions de sensibilité S_{yp} et S_{up} du système bouclé avec votre régulateur RST et comparer les performances obtenues par rapport au système bouclé avec le régulateur dit "robuste".

- Analyser et discuter la robustesse en stabilité de chaque solution. Quelle est la *marge de module* obtenue avec ces deux approches.
- Analyser les avantages et inconvénients de chaque type de correcteur.

1.6.4 Obtention d'un régulateur d'ordre réduit

- Proposer et tester, en simulation ~~et en expérimentation~~, un correcteur d'ordre réduit (Utiliser la fonction Matlab : `balancmr`). Que pensez vous de cette procédure ?
- Utiliser le modèle complet CARV obtenu dans la section 1.5.2, réduisez l'ordre et faites ensuite une synthèse du correcteur avec ce modèle réduit. Tester en simulation ~~et en expérimentation~~. Conclure.

TP 2

Commande linéaire quadratique d'un système gyroscopique

2.1 Objectifs

L'objectif principal de ce TP est d'étudier la commande optimale par retour d'état avec observateur d'un gyrodyne (gyroscope *M750p ECP*). Ce TP permet d'étudier une commande multivariable et d'analyser la robustesse vis-à-vis des variations paramétriques du système commandé.

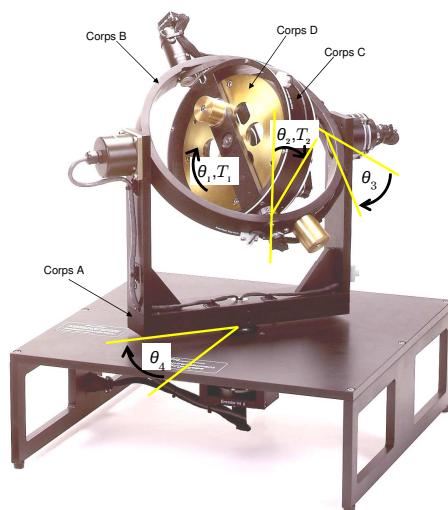


FIGURE 2.1 – Le gyroscope *M750p ECP*

2.2 Présentation du procédé

2.2.1 Description générale

Le gyroscope *M750p ECP* se compose d'un rotor (corps D) suspendu à un assemblage de quatre degrés de liberté (voir la figure 2.1). La rotation du rotor (corps D) est assurée par un moteur à courant continu (moteur 1) dont la position angulaire θ_1 est mesurée par un codeur incrémental (codeur 1). Le premier cardan transverse (corps C) est conduit par un autre moteur à courant continu (moteur 2) affectant le mouvement autour l'axe 2. La position relative θ_2 entre le corps C et le corps B est mesurée par le codeur 2. Le corps B tourne autour de l'axe 3 (non motorisé) par rapport au corps A. Un frein mécanique peut être utilisé pour verrouiller la position relative du corps A et du corps B et donc réduire le nombre de degrés de liberté. L'angle relatif θ_3 entre A et B est mesuré par le codeur 3. Enfin, le corps A (support en U) tourne autour de l'axe 4 non motorisé. Cette rotation, θ_4 , est mesurée par le codeur 4. Le frein de l'axe 4 est contrôlé de la même manière que le frein de l'axe 3 et peut être utilisé pour un arrêt d'urgence et un blocage de l'axe. Trois capteurs à inertie sont installés sur les corps A, B et C pour détecter toute accélération au delà des valeurs admissibles et couper l'alimentation de commande via un contacteur de puissance.

2.2.2 Modèle physique du gyroscope

On suppose que le gyroscope est symétrique et que les centres de masse des quatre corps rigides (A, B, C et D) sont centrés au centre de masse du rotor (corps D).

Nous adoptons la convention suivante pour la position angulaire θ_i et pour la vitesse angulaire ω_i avec $i = 1, \dots, 4$.

- La position angulaire du rotor (corps D) θ_1 n'a pas d'importance. Nous ne considérons que la vitesse angulaire $\dot{\omega}_1 = \dot{\theta}_1$.
- La position angulaire θ_2 du corps C est nulle si le corps C est perpendiculaire au plan médian du cardan intérieur (corps B).
- La position angulaire θ_3 du corps B est nulle si le corps B est perpendiculaire au plan médian du cardan extérieur (corps A).

La position angulaire des 4 corps rigides dans le gyroscope peut être contrôlée par 2 couples moteur T_1 et T_2 .

Le gyroscope est un système non linéaire très complexe. Néanmoins, pour une vitesse ω_1 constante, nous pouvons modéliser ce système comme étant un système linéaire multi-variables. Ainsi, les équations du mouvement du gyroscope autour du point d'équilibre ($\omega_1 = \Omega$, $\theta_2 = 0$, $\theta_3 = 0$ et $\theta_4 = 0$), sont données par :

$$\begin{aligned}
 \dot{\omega}_2 &= \frac{J_D \Omega}{I_C + I_D} \omega_4 + \frac{1}{I_C + I_D} T_2 \\
 \dot{\omega}_3 &= -\frac{1}{J_B + J_C} T_1 \\
 \dot{\omega}_4 &= -\frac{J_D \Omega}{I_D + K_A + K_B + K_C} \omega_2
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

avec des moments d'inertie : $K_A = 0.067 \text{ kgm}^2$, $I_B = 0.012 \text{ kgm}^2$, $J_B = 0.018 \text{ kgm}^2$, $K_B = 0.030 \text{ kgm}^2$, $I_C = 0.0092 \text{ kgm}^2$, $J_C = 0.023 \text{ kgm}^2$, $K_C = 0.022 \text{ kgm}^2$, $I_D = 0.015 \text{ kgm}^2$, $J_D = 0.027 \text{ kgm}^2$.

Les restrictions sur les actionneurs sont :

$$\begin{aligned}
 |T_1| &\leq 0.2 \text{ Nm} \\
 |T_2| &\leq 3.0 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

et les restrictions sur les angles sont :

$$\begin{aligned}
 |\theta_2| &\leq 20^\circ \\
 |\theta_3| &\leq 20^\circ \\
 |\theta_4| &\leq 20^\circ
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

2.2.3 Préparation : Représentation d'état

A partir des équations différentielles non linéaires du gyroscope (équations (2.1)), et en considérant la vitesse de rotation $\Omega = 42 \text{ rad/s}$, écrire la représentation d'état **linéaire** pour l'état x défini comme suit :

$$x := \begin{bmatrix} \theta_3 \\ \theta_4 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} \tag{2.3}$$

Prendre comme entrées les couples moteur T_1 et T_2 et comme sorties mesurées les angles θ_3 et θ_4 .

2.3 Simulations

2.3.1 Analyse du système

- Déterminer les pôles et zéros du système et étudier la stabilité du système en boucle ouverte.

2. Faire une analyse fréquentielle du système en boucle ouverte (utiliser **bodemag**).
3. Faire un test temporel en boucle ouverte en prenant comme conditions initiales $[0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$ (utiliser **initial**). Observer le phénomène de *Nutation*¹ et calculer sa fréquence. Conclure.
4. Analyser la commandabilité et l'observabilité du système.

2.3.2 Commande par retour d'état

La commande par retour d'état $u = -Kx + gr$ abordée dans cette partie a pour objectif d'asservir le système en respectant les contraintes sur les actionneurs ainsi que les contraintes sur les angles. Dans cette partie, l'état x est supposé disponible. Le gain K du retour d'état est obtenu à partir de la solution d'un problème d'optimisation du type *Régulateur Linéaire Quadratique* (LQR). Le critère à minimiser dans le cas étudié est :

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt$$

avec Q et R des matrices définies positives. On rappelle que les matrices Q et R déterminent l'importance relative accordée à chacune des variables.

Le gain matriciel g est prévu pour compenser le gain statique du système lorsque la consigne $r = \begin{bmatrix} r_{\theta_3} \\ r_{\theta_4} \end{bmatrix}$ est appliquée. La commande optimale sera synthétisée avec une matrice de pondération $Q = C^T C$ privilégiant les sorties du système à commander.

1. Déterminer la matrice R permettant le respect des contraintes sur les actionneurs. En deduire le gain K .
2. Calculer le gain matriciel g assurant l'asservissement sur θ_3 et θ_4 .
3. Calculer les pôles du système en boucle fermée.
4. Faire des simulations temporelles et fréquentielles du système en boucle fermée. Analyser les performances obtenues (utiliser **initial**, **bodemag**, puis Simulink).

2.3.3 Observateur d'état

Les mesures disponibles pour réaliser la commande par retour d'état sont θ_3 et θ_4 . Un observateur d'état doit donc être construit afin d'obtenir une estimation \hat{x} de l'état du système :

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + L(y - C\hat{x}) \quad (2.4)$$

Le gain L de l'observateur (2.4) est obtenu à partir de la solution d'un problème d'optimisation du type *filtre de Kalman* (problème dual LQR).

1. Nutation : oscillation persistante de deux corps du gyroscope due à la présence des pôles dans l'axe imaginaire.

De manière duale au réglage du gain du retour d'état, des matrices de pondérations définies positives W et V sont utilisées pour effectuer le réglage du gain L . Le système considéré est le système perturbé :

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu + Bw \\ y &= Cx + v\end{aligned}\tag{2.5}$$

dans lequel v représente le bruit de mesure et w une perturbation en entrée.

Le critère à minimiser dans ce cas est :

$$J = \int_0^\infty (e_w^T W e_w + e_v^T V e_v) dt$$

dans lequel e_w est l'erreur d'estimation en l'absence de bruit ($v = 0$) et e_v est l'erreur d'estimation en l'absence de perturbation en entrée ($w = 0$).

Le choix des matrices de pondérations permet d'obtenir un observateur d'état faisant un compromis entre la qualité des capteurs (bruit lié aux capteurs, biais de mesure, etc.) et la qualité des actionneurs (perturbations d'entrée, frottement, etc.).

1. Construire un observateur d'état permettant d'estimer l'état complet \hat{x} .
2. Faire des simulations temporelles et fréquentielles de l'observateur seul (sans la commande). Analyser les performances obtenues (utiliser **initial** avec $\hat{x}(0) = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$, puis Simulink).

Compléter le fichier gyroscope_simu.slx avec la commande et l'observateur. Tester les performances en asservissement et en régulation.

2.3.4 Analyse de robustesse

Analyser l'impact d'une variation de la vitesse Ω (entre 30 et 50 rad/s) sur la **sortie** du système en boucle fermée avec observateur. Pour cela construire le système étendu en boucle fermée en prenant comme états $[x \ \hat{x}]$, comme entrée la consigne r et en sortie $y = Cx$ (utiliser **step**, **bodemag** et **ureal**).

Attention, il y a encore du travail dans la page suivante : commande avec action intégrale

2.4 Expérimentation

2.4.1 Commande par retour d'état avec observateur

1. Initialiser le gyroscope avec les conditions initiales suivantes :

$$\begin{aligned}\dot{\theta}_1(0) &= \Omega \\ \theta_2(0) &= 0 \\ \theta_3(0) &= 0 \\ \theta_4(0) &= 0\end{aligned}\tag{2.6}$$

Pour cela, utiliser les freins sur les axes 3 et 4 pour assurer $\theta_3(0) = 0$ et $\theta_4(0) = 0$ et lancer le fichier *Simulink* (*gyroscope_temps_reel.mdl*). Ce fichier permet de

démarrer l'asservissement sur ω_1 pour garantir que $\omega_1 \approx \Omega$ ($\Omega = 42$ rad/s). Cet asservissement met environ 10 secondes à s'établir. A $t = 15$ secondes, enlever les freins sur les axes 3 et 4 ce qui permettra d'activer la commande optimale calculée et de faire un test en **asservissement**. Lors de cette procédure **demandez de l'aide à votre enseignant**.

2. Faire le tests en **régulation** de la commande complète (retour d'état et observateur) sur le procédé réel.
3. Analyser la **robustesse** du système pour différentes valeurs de Ω (comprises entre 30 et 50 rad/s).

2.4.2 Commande par retour d'état avec action intégrale

1. Répétez la synthèse du correcteur en ajoutant cette fois-ci une action intégrale sur l'erreur de suivi $r - y$.
2. Tester votre commande en asservissement et en régulation.
3. Faire l'analyse de la robustesse du système étendu pour différentes valeurs de Ω .

Créer un fichier gyroscope_int_simu.slx avec la commande (avec action intégrale) et l'observateur. Tester les performances en asservissement et en régulation.
Conclure.

Notation

Chaque manipulation donne lieu à un compte-rendu par groupe à rendre en fin de séance, et qui fera l'objet d'une note qui prend en compte la préparation (contrôlée en début de séance), la participation des étudiants au déroulement du TP, les résultats obtenus et leurs interprétations. La moyenne des 2 notes obtenues (une par TP) constituera la note finale associée à ce cycle d'enseignement.

En cas d'absence prévisible **et préalablement justifiée par la Direction des études** lors d'une séance, les étudiants doivent impérativement prévenir l'enseignant qui les encadre. **Les absences injustifiées donnent lieu à un zéro pour la séance concernée, sans aucune possibilité de rattrapage.** De plus, tout retard non justifié à une séance entraînera la pondération de la note obtenue par l'étudiant à cette séance par un coefficient égal au prorata de la présence de l'étudiant durant la séance.