



Matlab Simulink – Projet 1



Par BEAUCLAIR Adrien & CHENNAOUI Rayan

Table des matières

Table des matières	2
I – INTRODUCTION	3
II – PROJET	4
Mise en situation de l'étude.....	4
Equations de modélisation des différents constituants	5
Etude n°1.....	6
Etude n°2.....	11
III – CONCLUSION.....	13

I – INTRODUCTION

Dans le cadre de notre formation en deuxième année de cycle préparatoire à l'IPSA, nous réalisons un projet intitulé "Asservissement d'une servocommande de gouverne de profondeur de l'Airbus A380" dans le cours d'automatique (AU221). L'objectif est de modéliser, simuler et optimiser le comportement d'un actionneur hydraulique utilisé pour contrôler les gouvernes de profondeur de l'Airbus A380.

L'Airbus A380 utilise des gouvernes de profondeur pour contrôler l'assiette de l'avion. Ce projet se concentre sur l'asservissement de la position angulaire de ces gouvernes, en utilisant un vérin hydraulique piloté par un système de commande. La première partie du projet consiste à modéliser les composants du système sans les effets aérodynamiques, à construire des schémas-blocs et à simuler le comportement du système avec Matlab Simulink.

La deuxième partie intègre les effets aérodynamiques, ce qui permet de raffiner le modèle et d'obtenir une simulation plus réaliste. Ce projet nous permet de développer des compétences en modélisation et simulation de systèmes dynamiques, appliquant des concepts théoriques d'automatique à un cas concret de l'industrie aéronautique.

II – PROJET

Mise en situation de l'étude

Présentation de l'Airbus A380 et des gouvernes de profondeur

L'Airbus A380 est l'un des plus grands avions de ligne au monde, capable de transporter plus de 500 passagers. Les gouvernes de profondeur, situées à l'arrière de l'avion, sont des surfaces de contrôle aérodynamiques essentielles pour gérer l'angle de tangage de l'avion, assurant ainsi sa stabilité et sa manœuvrabilité.

Description du système d'asservissement et de ses composants

Le système d'asservissement des gouvernes de profondeur de l'Airbus A380 utilise un vérin hydraulique pour contrôler le mouvement des gouvernes. Ce vérin est commandé par un servo-distributeur, lui-même réglé par un amplificateur électronique différentiel. L'ensemble du système est supervisé par un ordinateur de commande de vol qui traite les consignes de position fournies par le pilote via un joystick. Les principaux composants du système incluent :

- **Vérin hydraulique** : Actionne la rotation des gouvernes de profondeur.
- **Servo-distributeur** : Régule le débit d'huile hydraulique vers le vérin.
- **Amplificateur électronique différentiel** : Ajuste le courant envoyé au servo-distributeur en fonction des consignes et du retour du capteur de position.
- **Capteur de position** : Mesure la position angulaire des gouvernes et fournit un retour d'information à l'ordinateur de commande.

Principe de l'asservissement de position angulaire

L'asservissement de position angulaire contrôle la position des gouvernes de profondeur en fonction des consignes du pilote. La consigne de position angulaire, convertie en tension électrique, est comparée à la tension de retour du capteur de position. L'amplificateur électronique différentiel génère un courant proportionnel envoyé au servo-distributeur, régulant ainsi le débit d'huile vers le vérin. Cela provoque le déplacement linéaire de la tige du vérin, entraînant la rotation des gouvernes de profondeur. Le système doit répondre rapidement et précisément aux commandes tout en compensant les forces aérodynamiques et autres perturbations pour assurer une trajectoire de vol stable et sécurisée.

Equations de modélisation des différents constituants

Amplificateur électronique différentiel

L'amplificateur électronique différentiel compare la consigne de tension $uc(t)$ avec la tension de retour $us(t)$ provenant du capteur de position. L'équation modélisant cet amplificateur est la suivante :

$$uc(t) = \frac{i(t)}{K_a} + us(t) \quad (1)$$

où $K_a = 0,5$ est le gain de l'amplificateur (en A/V).

Servo-distributeur

Le servo-distributeur régule le débit d'huile en fonction du courant $i(t)$ injecté. L'équation de modélisation du servo-distributeur est donnée par :

$$i(t) \cdot K_d = T \cdot \frac{dq(t)}{dt} + q(t) \quad (2)$$

où $K_d = 2$ est le gain du servo-distributeur, et $T = 0,2$ est la constante de temps.

Débit dans le vérin

Le débit $q(t)$ dans le vérin, sous l'hypothèse d'un fluide incompressible, est lié à la vitesse de déplacement de la tige du vérin $dx(t)$ par :

$$q(t) = S \cdot \frac{dx(t)}{dt} \quad (3)$$

où S est la section du piston, déterminée par le diamètre $D = 80 \text{ mm}$.

Capteur de position

Le capteur de position fournit une tension $us(t)$ proportionnelle à la position $x(t)$ de la tige du vérin. L'équation de modélisation est :

$$us(t) = K_c \cdot x(t) \quad (4)$$

où K_c est le gain du capteur, .

Ces équations permettent de modéliser les différents constituants du système d'asservissement de la servocommande de gouverne de profondeur de l'Airbus A380. Elles seront utilisées pour construire les schémas-blocs nécessaires à la simulation du système dans Matlab Simulink.

Etude n°1

Question 1

Pour chaque équation de modélisation des éléments de la servocommande du vérin hydraulique, **rechercher** l'expression du bloc Laplace correspondant. **Construire** le schéma blocs de l'asservissement correspondant à la sortie $x(t)$ en fonction de l'entrée $u_c(t)$.

Première équation

Afin d'obtenir l'équivalent de Laplace, il faudra suivre les étapes que nous avons défini lors du cours, en sachant que dans le monde temporel, $\frac{du(t)}{dt}$ devient $p \cdot U(p)$, et $i(t) = \frac{cdu_c(t)}{dt}$.

Tout d'abord, nous avons l'équation $u_c(t) = \frac{i(t)}{K_a} + u_s(t)$, où l'entrée est $u_c(t) - u_s(t)$ et la sortie est $i(t)$:

$$\begin{aligned} u_c(t) &= \frac{i(t)}{K_a} + u_{s(t)} \\ \Leftrightarrow p * U_c(p) &= \frac{I(t)}{K_a} + p * U_s(p) \end{aligned}$$

Finalement,

$$\frac{I(p)}{U_c(p) - U_s(p)} = 0,5p$$

Deuxième équation

Pour cette équation, l'entrée est $i(t)$ et la sortie est $q(t)$, de plus nous avons les transformations suivantes :

$$q(t) \rightarrow Q(p) ; \quad \frac{dq(t)}{dt} \rightarrow p * Q(p) ; \quad i(t) \rightarrow I(p)$$

Ainsi la seconde équation devient :

$$\begin{aligned} i(t) \cdot K_d &= T \cdot \frac{dq(t)}{dt} + q(t) \\ \Leftrightarrow I(p) \cdot K_d &= T \cdot p \cdot Q(p) + Q(p) \\ \Leftrightarrow I(p) \cdot K_d &= Q(p)(T * p + 1) \\ \Leftrightarrow \frac{Q(p)}{I(p)} &= \frac{K_d}{Tp + 1} \end{aligned}$$

Finalement :

$$\frac{Q(p)}{I(p)} = \frac{2}{0,2p + 1}$$

Troisième équation

Pour cette équation, l'entrée est $q(t)$ et la sortie est $x(t)$. Nous avons les transformations suivantes :

$$\frac{dx(t)}{dt} \rightarrow p * X(p)$$

Appliquons cette transformation :

$$\begin{aligned} q(t) &= S \cdot \frac{dx(t)}{dt} \\ \Leftrightarrow Q(p) &= S \cdot p \cdot X(p) \\ \Leftrightarrow \frac{X(p)}{Q(p)} &= \frac{1}{S \cdot p} \end{aligned}$$

Or on sait que le diamètre du piston est $R = 40\text{mm}$, ainsi :

$$S = \pi * R^2$$

Finalement :

$$\begin{aligned} \frac{X(p)}{Q(p)} &= \frac{1}{(\pi * R^2) \cdot p} = \frac{1}{(\pi * (40 * 10^{-3})^2) \cdot p} \\ \Leftrightarrow \frac{X(p)}{Q(p)} &= \frac{1}{\pi * 1,6 * 10^{-3} p} \end{aligned}$$

Quatrième équation

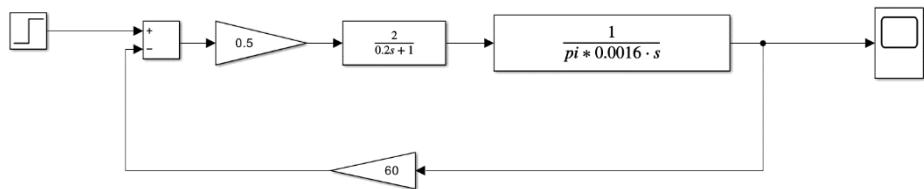
Pour cette équation, l'entrée est $x(t)$ et la sortie est $u_s(t)$, ainsi :

$$\begin{aligned} u_s(t) &= K_c \cdot x(t) \\ \Leftrightarrow p * U_s(p) &= K_c \cdot X(p) \\ \Leftrightarrow \frac{X(p)}{U_s(p)} &= \frac{K_c}{p} \end{aligned}$$

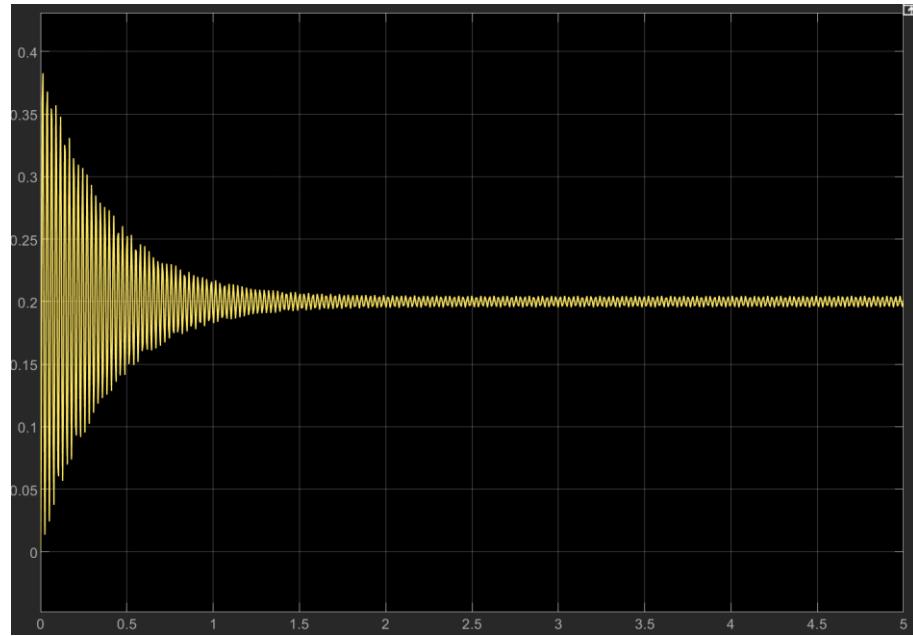
Finalement :

$$\frac{X(p)}{U_s(p)} = \frac{60}{p}$$

Désormais, nous pouvons construire le schéma blocs de l'asservissement grâce aux fonctions que nous avons trouvé précédemment :



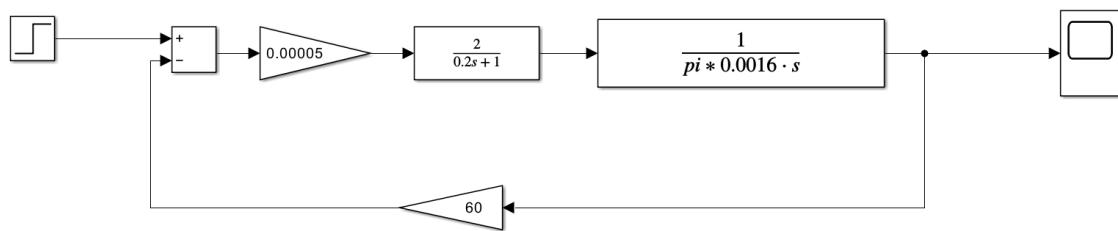
En paramétrant correctement l'axe des abscisses, nous obtenons le graphique suivant :



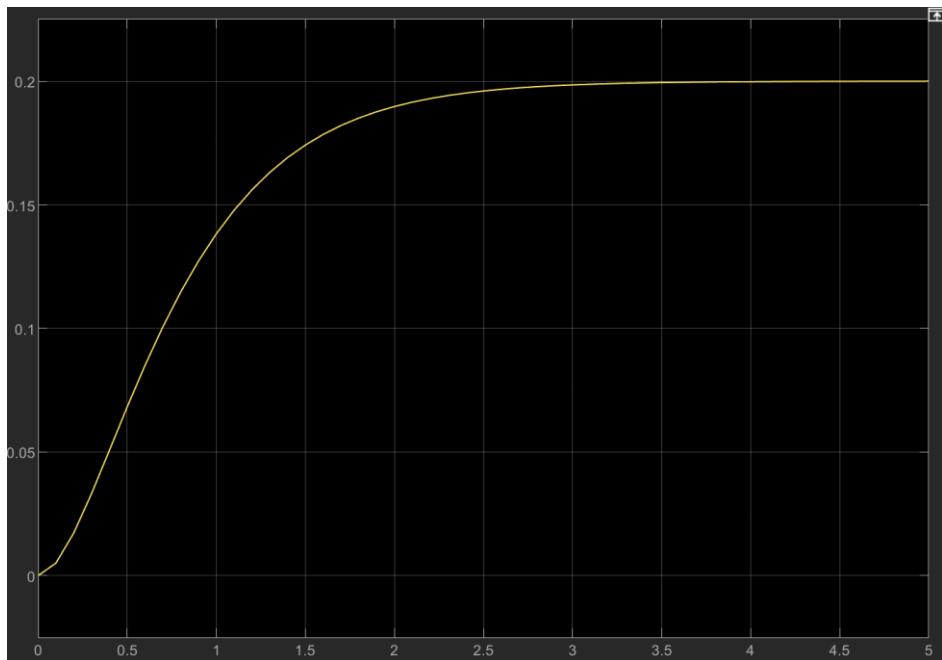
Question 2

Construire le schéma blocs de l'asservissement sur Matlab Simulink et paramétrier les blocs. Simuler le comportement pour une tension d'entrée de type échelon dans la plage 0 à 12V. Optimiser les valeurs de K_a et K_d qui répondent au cahier des charges de déplacement maximal de 200 mm sans oscillation. Sous Excel, et à l'aide d'une courbe de nuage de points, rechercher l'équation de la valeur finale en fonction de la valeur de tension de l'échelon comprise entre 0 et 12V.

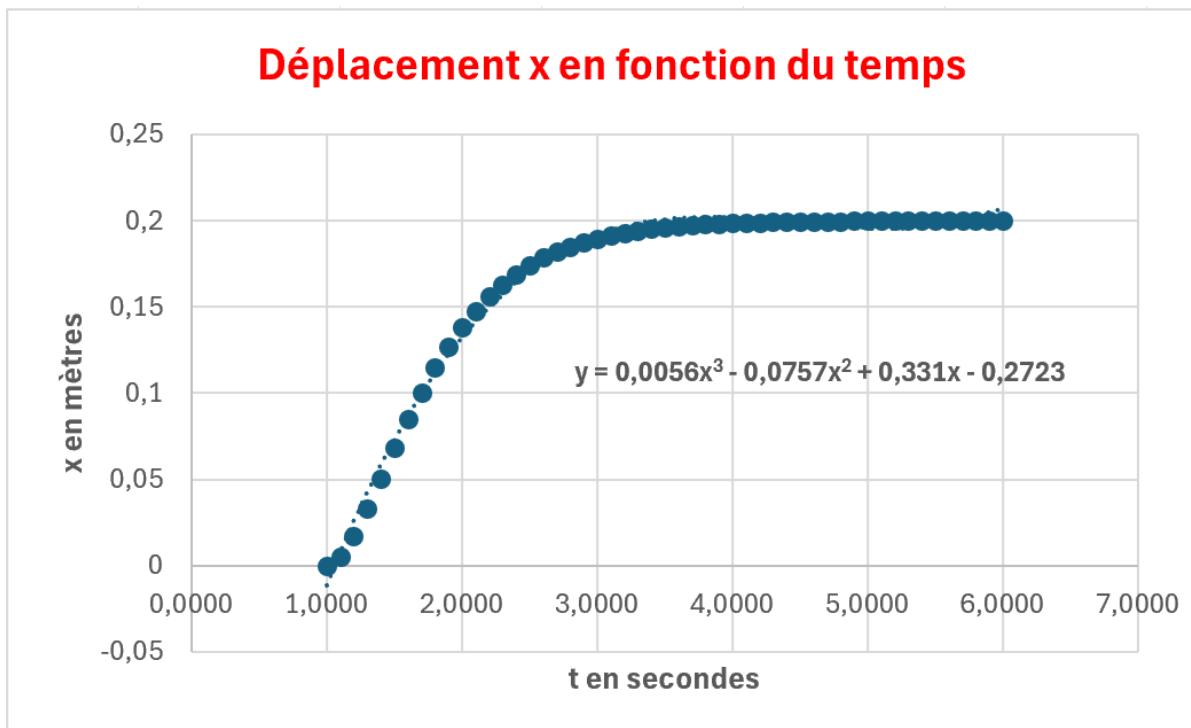
Voici le bloc adapté en ayant changé la valeur de $K_a = 0,00005$ et $K_d = 2$:



Nous avons finalement ce graphique grâce au « scope » :



En récupérant les données du graphique, on exporte les données sur Excel et on obtient un graphique représentant le déplacement en fonction du temps :



Question 3

Modéliser la courbe de réponse obtenue par deux fonctions de transfert du premier ordre en cascade. Rechercher la valeur de K , le gain statique, et les valeurs des constantes de temps électrique et hydraulique, respectivement, T_e et T_h . Simuler cette fonction de transfert sous Simulink et programmer cette fonction de transfert avec le langage Matlab.

Dans le système étudié on a :

$$u_c(t) = K * x(t)$$

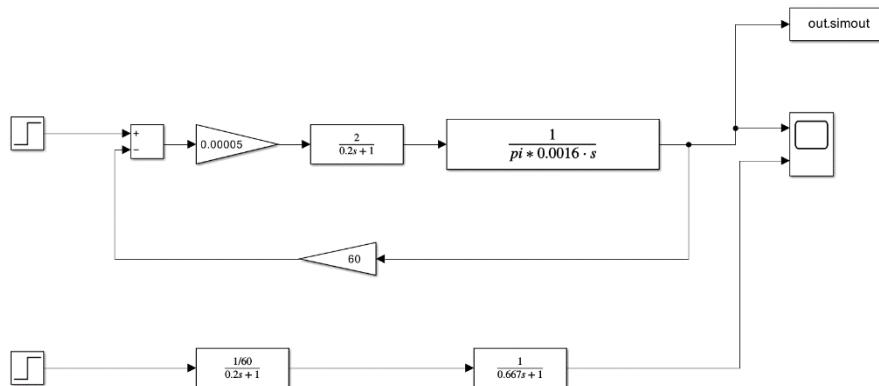
Pour $u_c(t) = 0$ on a $x(t) = 0$ et pour $u_c(t) = 12 V$, $x(t) = 0,2m$; on en déduit la valeur du gain statique $K = \frac{1}{60}$.

Pour un déplacement premier ordre on prendre 95% de la valeur maximale, or notre valeur maximale est ici 2, or $2 * 0,95 = 1,9$. Ainsi, on souhaite trouver T_h , pour se faire nous divisons par 3 cette valeur :

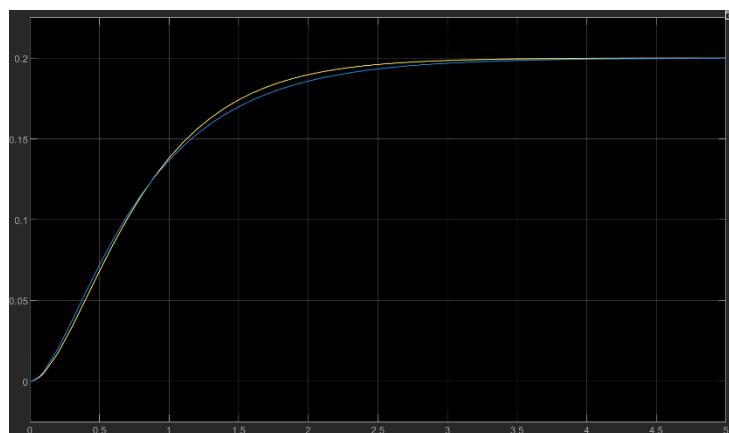
$$T_h = 0,3 * 2 = 0,667$$

Enfin, nous souhaitons trouver T_e afin que la seconde courbe de modélisation épouse la première. Nous trouvons $T_e = 0,2$.

On peut alors implémenter ces valeurs dans nos fonctions de transfert sur Simulink :



À l'aide du scope, on obtient le graphique suivant où la seconde courbe épouse bien la première :



Etude n°2

Question 4

De la même façon que dans la partie 1, on passe par Laplace afin de trouver nos nouveaux blocs d'asservissement :

Pour la première équation, on a :

$$\begin{aligned} Q(p) &= S * p * X(p) + \frac{V}{2\beta} * p * P(p) \\ Q(p) - S * p * X(p) &= \frac{V}{2\beta} * p * P(p) \\ P(p) &= \frac{2\beta}{V} * Q(p) - \frac{2\beta * S * p}{V} * X(p) \end{aligned}$$

Où $V = 200 * 10^{-3} * S = 200 * 10^{-3} * \pi * (40 * 10^{-3})^2 = 200 * 10^{-3} * \pi * 40 * 10^{-6}$

Ainsi : $V = \pi * 8 * 10^{-6}$

Et : $S = \pi * 40 * 10^{-6}$

$$P(p) = \frac{16 * 10^8}{\pi * 8 * 10^{-6}} * Q(p) - \frac{16 * 10^8 * \pi * 40 * 10^{-6} * p}{\pi * 8 * 10^{-6}} * X(p)$$

On obtient alors 2 blocs où :

$$\begin{aligned} \frac{P(p)}{Q(p)} &= \frac{16 * 10^8}{\pi * 8 * 10^{-6}} \\ \frac{P(p)}{Q(p)} &= \frac{16 * 10^8 * \pi * 40 * 10^{-6} * p}{\pi * 8 * 10^{-6}} \end{aligned}$$

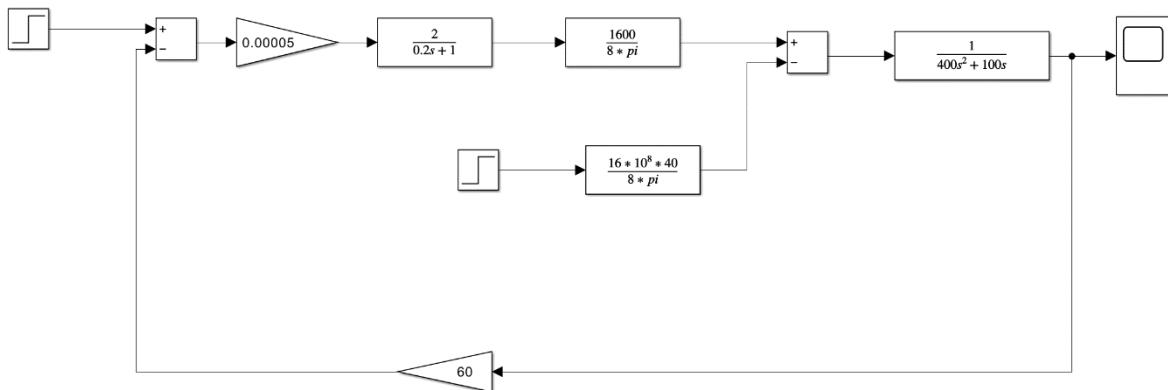
Pour la deuxième équation, on a :

$$\begin{aligned} F(p) &= S * P(p) \\ \Leftrightarrow \frac{F(p)}{P(p)} &= S = \pi * (10^{-3})^2 = \pi * 40 * 10^{-6} \end{aligned}$$

Pour la troisième équation, on a :

$$\begin{aligned}
 F(p) - F_r(p) - b * p * X(p) &= m * p^2 * X(p) \\
 \Leftrightarrow F(p) - F_r(p) &= X(p)(b * p + m * p^2) \\
 \Leftrightarrow \frac{X(p)}{F(p) - F_r(p)} &= \frac{1}{(b * p + m * p^2)} \\
 \Leftrightarrow \frac{X(p)}{F(p) - F_r(p)} &= \frac{1}{(100 * p + 400 * p^2)} \\
 \Leftrightarrow X(p) &= F(p) \frac{1}{(100 * p + 400 * p^2)} - F_r(p) \frac{1}{(100 * p + 400 * p^2)}
 \end{aligned}$$

Voici les blocs d'asservissement complétés :



III – CONCLUSION

Le projet "Asservissement d'une servocommande de gouverne de profondeur de l'Airbus A380" nous a permis d'appliquer concrètement les principes de l'automatique appris en cours. À travers la modélisation et la simulation des systèmes d'asservissement à l'aide de Matlab et Simulink, nous avons exploré les défis et les solutions associés au contrôle précis des gouvernes de profondeur de l'Airbus A380.

Dans la première phase, nous avons modélisé le système sans tenir compte des effets aérodynamiques, ce qui nous a permis de comprendre les fondamentaux de l'asservissement et d'optimiser les paramètres pour un fonctionnement stable et précis. La deuxième phase a introduit la complexité supplémentaire des forces aérodynamiques, nécessitant un raffinement de notre modèle pour simuler des conditions de vol plus réalistes.

Ce projet nous a offert une expérience pratique précieuse en ingénierie des systèmes de contrôle, en renforçant notre capacité à analyser, simuler et optimiser des systèmes dynamiques complexes. Ces compétences sont essentielles pour notre future carrière d'ingénieurs, particulièrement dans le domaine de l'aérospatiale, où la précision et la fiabilité des systèmes de commande sont cruciales.