

Simulation distribuée d'un système embarqué sur la plate-forme PRISE

Spécifications

Thomas AUGÉ, Yannick BISIAUX, Eddy BITAR, Vincent GARBI, Vincent LECRUBIER



GLOSSAIRE.....	3
I Objectif.....	4
II Vue générale.....	4
III Description des fédérés.....	5
1 Le fédéré pilote.....	5
2 Le fédéré commandes de vol.....	6
3 Le fédéré actuateur.....	6
4 Le fédéré dynamique du vol.....	7
5 Le fédéré environnement.....	7
IV Le modèle objet de l'avion.....	8
1 Le fédéré pilote.....	8
2 Le fédéré commandes de vol.....	9
3 Le fédéré actuateur.....	9

GLOSSAIRE

ETDMIA	Département de Mathématiques Informatique, Automatique
FMS	Flight Manager System
HLA	High Level Architecture
IHM	Interface Homme-Machine
LIA	Laboratoire Informatique et Automatique
PFD	Primary Flight Display
PRISE	Plate-forme pour l'enseignement et la Recherche en Ingénierie des Systèmes Embarqués

I Objectif

L'objectif de ce projet est de développer les bases d'une simulation distribuée représentant les principaux éléments constitutifs du vol d'un avion. A terme, elle devrait permettre de faire voler plusieurs avions simulés en patrouille ou d'inclure des équipements avioniques réels.

Cette simulation a pour vocation d'être exécutée sur la plate-forme PRISE (Plate-forme pour l'enseignement et la Recherche en Ingénierie des Systèmes Embarqués) de l'ETDMIA (ex-LIA) et de s'appuyer sur la norme HLA (High Level Architecture) pour le dialogue des différents éléments de la simulation entre eux.

II Vue générale

Afin de pouvoir obtenir une simulation intéressante du vol d'un avion, il nous semble approprié de calquer notre architecture logicielle sur celle de la boucle de commande d'un avion. Le schéma ci-dessous représente cette architecture générale.

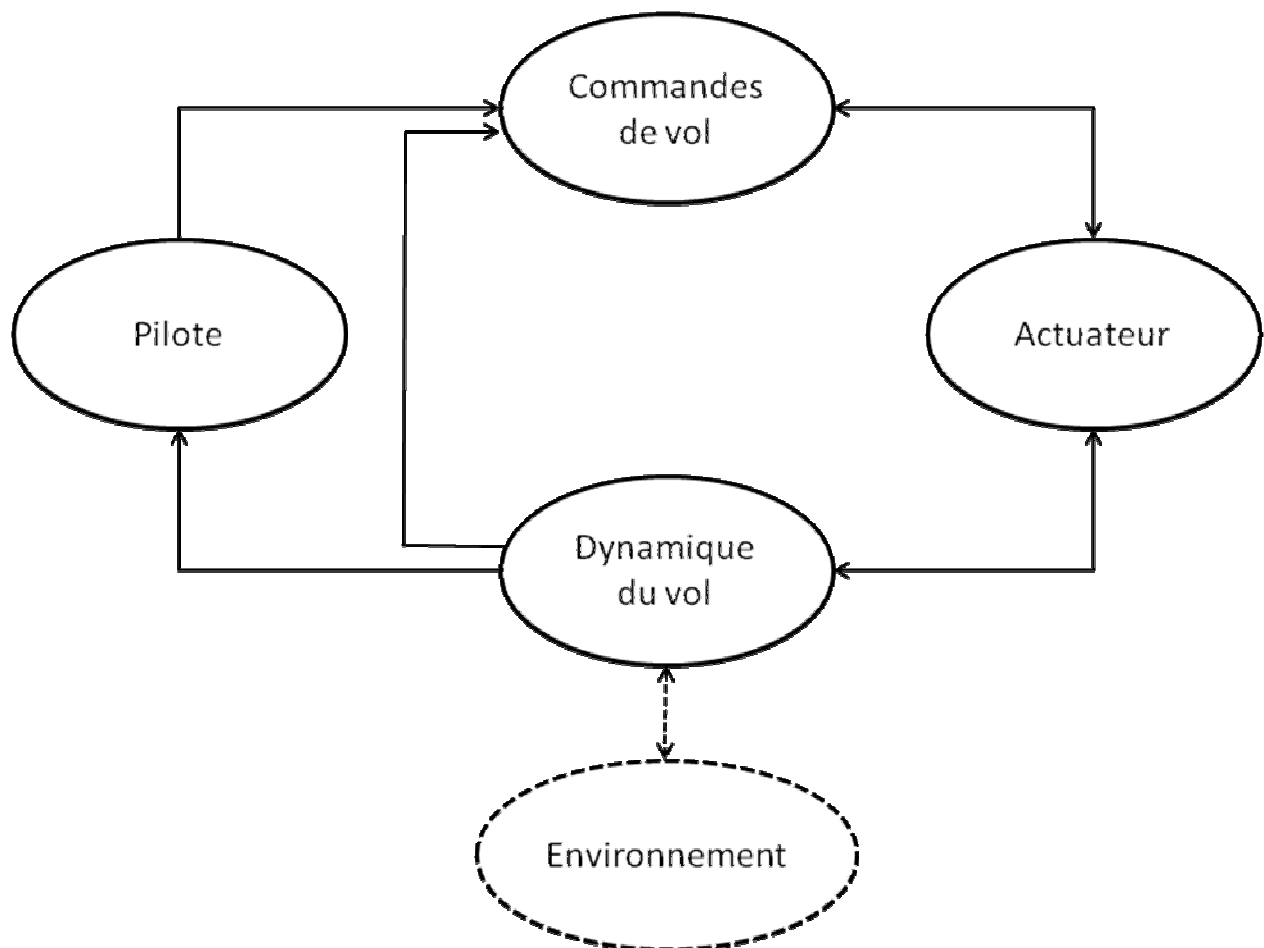


Figure 1 : Boucle de simulation

En partant du principe d'une exécution distribuée de cette simulation s'appuyant sur la norme HLA, chaque élément de la figure ci-dessus constituerait un fédéré d'une fédération HLA.

Le pilote représente l'élément logiciel affichant les informations utiles au pilote et récupérant les ordres du pilote. Ces ordres sont ensuite traités par les commandes de vol pour les transformer en ordres pour les différents actuateurs de l'avion. Les actuateurs (surfaces de contrôle, moteurs, ...)

produisent un effet mécanique. Cet effet impacte la dynamique de vol, ce qui fait évoluer la situation de l'avion. Une partie de cette évolution est retournée au pilote et aux commandes de vol pour pouvoir élaborer leurs ordres suivants respectifs.

La dynamique de vol d'un avion est impactée par son environnement aérodynamique. La force et la direction du vent, par exemple, joue sur la dynamique de l'avion. Réciproquement, la dynamique du vol est impactée par l'environnement aérodynamique. Cette simulation de l'environnement devrait donc permettre à terme de simuler de manière plus réaliste un vol en formation.

Cela constituerait une valeur ajoutée par rapport au simple mode multi-joueurs d'un simulateur de vol commercial. En effet, dans un tel mode, le seul retour donné au pilote est celui de la position des autres avions. La seule interaction possible est le crash en cas de collision des avions.

De manière générale, nous nous proposons d'effectuer l'implémentation générale de la simulation en se concentrant uniquement sur les modes longitudinaux. Cette seule implémentation devrait suffire pour pouvoir monter une démonstration de l'intérêt de cette simulation distribuée. De plus, elle n'empêche pas une extension facile aux modes latéraux.

III Description des fédérés

1 Le fédéré pilote

Le fédéré pilote est l'IHM (Interface Homme-Machine) entre le pilote humain et la simulation. Ce fédéré a deux objectifs principaux. Il doit permettre d'une part de récupérer les ordres du pilote (position du manche, position du palonnier, commande des gaz, ...). D'autre part, il doit offrir un retour visuel au pilote sur la situation de son avion.

Implémentation basique : Elle consiste à récupérer les informations données par le pilote via un joystick. Le retour visuel proposé au pilote consiste en une représentation sommaire de cockpit, éventuellement synthétisé dans un PFD (Primary Flight Display) de style Airbus.

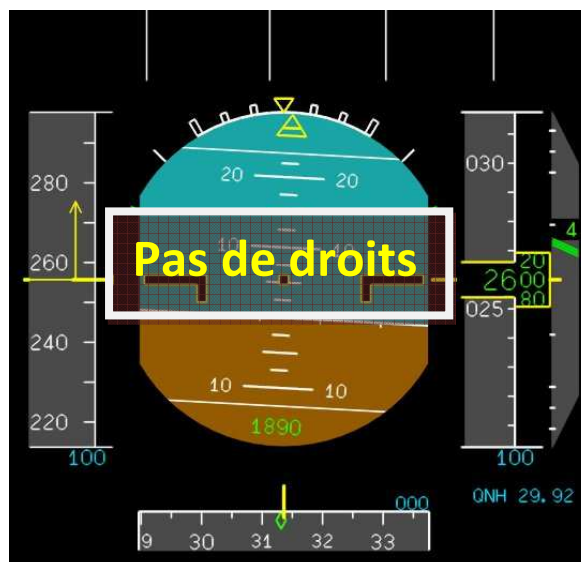


Figure 2 : Exemple de PFD

Implémentation avancée : Elle consiste à brancher le visuel d'un simulateur commercial à la simulation HLA. Cela permettrait d'avoir un cockpit simulé plus convivial ainsi qu'une visualisation

extérieure plus attractive. Cette visualisation extérieure sera sûrement nécessaire pour pouvoir faire du vol en patrouille.

Evolution possible : On pourrait rajouter des éléments d'interface du cockpit non présents dans les simulateurs commerciaux. Un avertisseur de cisaillement de vent pourrait par exemple constituer un plus pour un vol en patrouille. On pourrait également intercaler entre le fédéré pilote et le fédéré commande de vol un fédéré pilote automatique et/ou un fédéré FMS (Flight Manager System).

2 Le fédéré commandes de vol

Le fédéré commande de vol simule l'élément logiciel ou matériel (câbles, tringles, ...) d'un avion permettant de transformer et de transmettre les ordres du pilote aux actionneurs de l'avion.

Implémentation basique : Une loi directe peut dans un premier temps modéliser les commandes de vol. La sortie est directement proportionnelle à l'ordre du pilote. C'est ce que l'on retrouverait sur certains avions sans commandes de vol électriques.

Implémentation avancée : Elle pourrait consister en une implémentation semblable aux commandes de vol Airbus. Le pilote contrôle un facteur de charge en longitudinal, un taux de roulis en latéral et un angle de dérapage en lacet.

Evolution possible : On pourrait à terme imaginer insérer un calculateur réel de commandes de vol dans la boucle.

3 Le fédéré actionneur

Le fédéré actionneur simule la transformation d'une commande des commandes de vol en action physique sur l'avion. Il y a différents types d'actionneur : des surfaces de contrôles (ailerons, spoilers, volets, ...) et les moteurs.

Implémentation basique : Une loi directe peut dans un premier temps modéliser la réponse des actionneurs. On peut considérer que l'angle de braquage d'une surface est proportionnel à la longueur de sortie du vérin et que la poussée des réacteurs est proportionnelle à la commande des gaz.

Implémentation avancée : On peut dans un second temps prendre en compte le schéma mécanique pour lier le déplacement du vérin à l'angle de braquage des surfaces. On peut également prendre en compte la dynamique des actionneurs. Une interface graphique pourrait également permettre de déclencher une défaillance sur un actionneur.

Evolution possible : On pourrait à terme imaginer insérer un actionneur réel dans la boucle. Cependant une telle insertion poserait des problèmes en termes de sûreté de la commande envoyée pour ne pas endommager l'actionneur et en termes de réaction de l'actionneur à l'environnement : les forces aérodynamiques exercées sur une surface dépendent de la vitesse et de la pression.

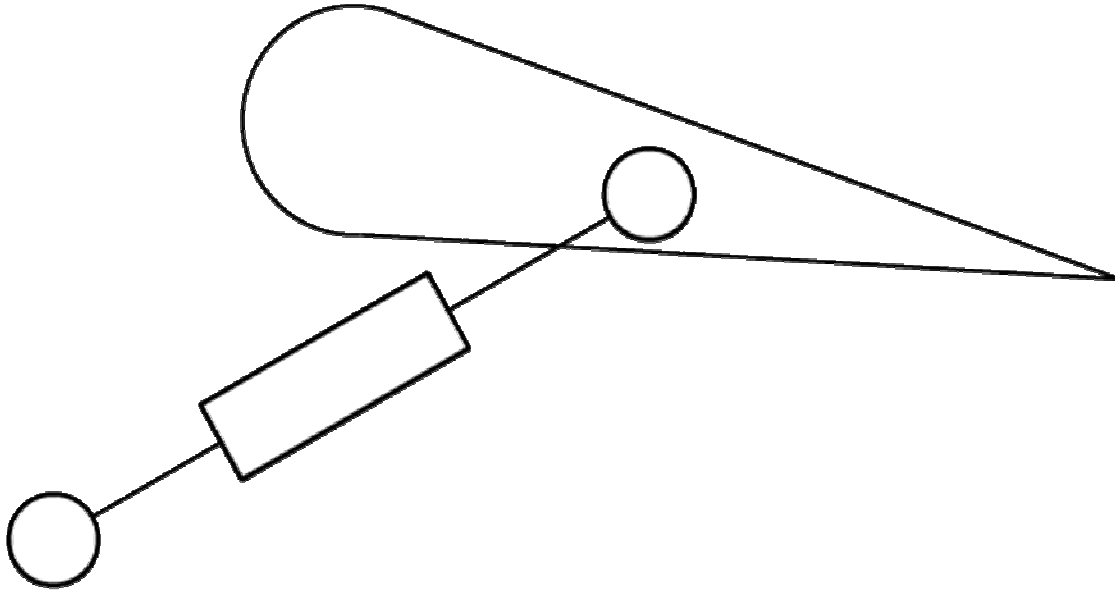


Figure 3 : Modèle d'actuateur

4 Le fédéré dynamique du vol

Le fédéré dynamique du vol a pour but de modéliser l'évolution du vecteur des paramètres de l'avion. Cette évolution dépend des conditions environnementales et des résultats fournis par les actuateurs en termes d'angle de braquage et de poussée des réacteurs.

Implémentation basique : On peut adopter une modélisation simple : la portance est proportionnelle à l'incidence, la vitesse de tangage proportionnelle à l'angle de braquage des ailerons.

Implémentation avancée : On peut implémenter les équations générales de la dynamique du vol décrites dans le polycopié de mécanique du vol de Jean-Luc Boiffier.

Evolution possible : On pourrait prendre en compte les données de l'environnement pour impacter le modèle de dynamique du vol. On pourrait imaginer une prise en compte des turbulences et des variations locales d'incidence.

5 Le fédéré environnement

Le fédéré environnement a pour but de modéliser les interactions aérodynamiques entre un avion et son environnement. L'exemple le plus flagrant est celui des turbulences de sillage. Un avion produit, en se déplaçant dans l'air, des vortex qui peuvent interférer dans le vol d'un autre avion.

Implémentation basique : Le vent est caractérisé par une vitesse et une direction unique.

Implémentation avancée : Le passage d'un avion crée une zone où l'air devient turbulent, avec éventuellement des changements locaux de la vitesse de l'air.

Evolution possible : On peut imaginer recréer les tourbillons de bout d'aile créés par un avion. Les vitesses verticales opposées du vent dans ce tourbillon pouvant retourner un avion plus petit arrivant ensuite.



Figure 4 : Tourbillons de sillage

IV Le modèle objet de l'avion

1 Le fédéré pilote

Le fédéré pilote est chargé de transmettre les ordres reçus par le pilote aux commandes de vol. Ces ordres sont donnés par un joystick et éventuellement des pédales ou un palonnier. On s'attend à recevoir quatre ordres différents.

L'ordre en tangage sert à contrôler l'avion sur son axe de tangage. Il va d'un ordre à piquer au maximum (-1) à un ordre à cabrer au maximum (1).

L'ordre en roulis sert à contrôler l'avion sur son axe de roulis. Il va d'un ordre à s'incliner sur la gauche au maximum (-1) à un ordre à s'incliner sur la droite au maximum (1).

L'ordre en lacet sert à contrôler l'avion sur son axe de lacet. Il va d'un ordre à tourner à gauche au maximum (-1) à un ordre à tourner à droite au maximum (1). Cet ordre peut servir pour la commande de lacet, au contrôle du dérapage, en vol ou au contrôle de la roulette avant au sol.

L'ordre des gaz sert à contrôler la poussée des réacteurs. Il va d'un ordre à mettre les réacteurs au ralenti (0) à un ordre à mettre les réacteurs à leur maximum de poussée (1).

Type de donnée	Nom de l'attribut	Type	Cardinalité	Unité	Plage
Ordre_Joystick	Tangage	float	1	N/A	[-1, 1]
	Roulis	float	1	N/A	[-1, 1]
	Lacet	float	1	N/A	[-1, 1]
	Gaz	float	1	N/A	[0, 1]

Tableau 1 : Ordre du pilote

2 Le fédéré commandes de vol

Le fédéré commandes de vol est chargé de créer les commandes qui seront distribués à chaque actuateur.

Il y a deux ordres pour la profondeur, une pour chaque gouverne de profondeur de l'avion. Cet ordre va d'un repli complet du vérin (0) à son déploiement complet (1).

Il y a deux ordres pour les réacteurs, un pour chaque réacteur de l'avion. Cet ordre va du régime ralenti dur réacteur (0) à son régime de poussé maximum (1).

Type de donnée	Nom de l'attribut	Type	Cardinalité	Unité	Plage
Commandes_Vol	ProfondeurG	float	1	N/A	[0, 1]
	ProfondeurD	float	1	N/A	[0, 1]
	ReacteurG	float	1	N/A	[0, 1]
	ReacteurD	float	1	N/A	[0, 1]

Tableau 2 : Commandes de vol

3 Le fédéré actuateur

Le fédéré actuateur transforme les commandes qu'il reçoit en action physique. Cette action est de type angle de braquage (en radians) pour les gouvernes de profondeur et de type poussée (en N) pour les réacteurs.

Type de donnée	Nom de l'attribut	Type	Cardinalité	Unité	Plage
Angle_Braquage	ProfondeurG	float	1	rad	N/A
	ProfondeurD	float	1	rad	N/A
Poussee	ReacteurG	float	1	N	N/A
	ReacteurD	float	1	N	N/A

Tableau 3 : Sorties actuateurs

4 Le fédéré dynamique du vol

Le fédéré dynamique du vol transforme les actions des actuateurs en effet dynamiques sur l'avion. Le fédéré peut alors mettre à jour la situation de l'avion. Cette situation est décrite par plusieurs éléments :

- La position de l'avion peut-être représentée par sa latitude, sa longitude et son altitude. Même si la latitude et la longitude s'expriment habituellement en degrés, minutes, secondes, on peut également l'exprimer en degré décimal avec 4 décimales.

- L'orientation de l'avion peut être représentée par 3 angles : Θ pour le tangage, Φ pour le roulis et Ψ pour le cap.

- La vitesse de l'avion peut-être représentée par sa vitesse et sa vitesse verticale. Bien qu'habituellement ces vitesses soient données respectivement en nœuds et en pieds par minute, on les exprimera en mètres par seconde. De plus, pour repérer la direction de la vitesse de l'avion, on a besoin de connaître les deux angles aérodynamiques α et β , respectivement pour l'incidence et le dérapage.

Type de donnée	Nom de l'attribut	Type	Cardinalité	Unité	Plage
Position	Latitude	float	1	degrés	[-90, 90]
	Longitude	float	1	degrés] -180, 180]
	Altitude	float	1	m	N/A
Orientation	Theta	float	1	rad	$[-\Pi/2, \Pi/2]$
	Phi	float	1	rad	$] -\Pi, \Pi]$
	Psi	float	1	degrés	$[0, 360[$
Vitesse	Module	float	1	m/s	N/A
	Verticale	float	1	m/s	N/A
	Alpha	float	1	rad	N/A
	Beta	float	1	rad	N/A

Tableau 4 : Paramètres de la dynamique du vol