

TP1 : Appontage automatique d'un avion de chasse

Introduction

Un appontage est l'action d'atterrir sur une plateforme. Pour notre sujet, nous nous intéressons aux avions de chasse qui atterrissent sur un porte avion car c'est la catégorie d'avion qui enregistre le plus d'échec pour cette manœuvre. C'est une action délicate en raison des conditions dans lesquelles elle est exécutée : visibilité pour le pilote, mouvement de la masse d'air autour du porte avion, mouvement du porte avion fortement dépendant de l'amplitude et de la houle, ...

On considère que l'orientation d'un avion en vol est déterminée par 3 axes fixes :

- Axe 1. L'axe **longitudinale**, dont la rotation correspond au **roulis**. On le définit par Ψ
- Axe 2. L'axe **vertical**, pour mesurer le **lacet**. On le définit par θ
- Axe 3. L'axe **latéral**, pour mesure le **tangage**. On le définit par φ

La manœuvre d'appontage se déroule en 3 phases :

Phase 1. Le pilote place l'appareil en position d'approche. Il manœuvre pour atteindre 3 objectifs :

- Objectif 1. Aligner l'axe longitudinale de l'avion à l'axe d'appontage
- Objectif 2. Ramener les paramètres de navigation à une configuration initiale
- Objectif 3. Enclencher le pilote d'appontage automatique

Phase 2. Lancer l'algorithme à bord du porte avion qui va générer en temps réel la trajectoire d'appontage. Il transmet aussi les paramètres suivants :

Paramètre 1 : $V\Psi$ qui est la vitesse de l'avion suivant l'axe longitudinale de l'avion

Paramètre 2 : Ψ qui est l'angle d'inclinaison de l'axe longitudinale de l'avion vers le porte avion

Phase 3. Fin de manœuvre d'appontage. Les paramètres de l'avion sont ramenés à la configuration suivante :

- $\Psi = 0$
- $\theta = \theta_0$
- $\varphi = 0$
- $V\Psi = 0$

Cela signifie que l'avion apponte et finit par s'immobiliser sur la piste le long de l'axe d'appontage.

Le but de ce projet est de développer une application qui permet d'automatiser la manœuvre d'appontage d'un avion de chasse sur un porte avion.

Question I

Nous avons recours à un développement basé sur une méthode formelle telle que la méthode B car les méthodes formelles permettent d'obtenir une très forte assurance de l'absence de bug dans les logiciels, c'est pourquoi elles sont utilisées pour les logiciels critiques. L'application pour automatiser la manœuvre d'appontage d'un avion de chasse sur un porte avion est une application critique qui requière 0 bug car une simple erreur pourrait avoir des conséquences catastrophiques. Elles permettent aussi de donner une spécification détaillée du système à développer, qui nous permettra de vérifier si la réalisation final est conforme à ce qui était demandé au départ.

Question II

Question 1 : Analyse du système d'appontage

Le système est organisé autour des systèmes suivants :

- **A MODIFIER**
- Système **Pilote**
 - Représente le système de contrôle automatique de l'appontage.
 - Etat :
 - Sous-système **Contexte**
 - Sous-système **Appontage**
 - Fonction :
 - **EnclenchementPilote(Contexte, Appontage)** : Vérifie que le contexte et l'appontage est optimal pour enclencher le pilote automatique et démarrer la manœuvre. Retourne 0 si tout est optimal, sinon -1.
- Sous-système **Contexte**
 - Définit le contexte de fonctionnement global du système.
 - Etat :
 - Axe longitudinal : **roulis**
 - Axe vertical : **lacet**
 - Axe latéral : **tangage**
 - Vitesse de l'avion : **vitesse**
 - Variable annexe pour les mises à jour des variables : **varAnnexe**
 - Fonctions :
 - **Initialisation(roulis, lacet, tangage)** : initialisation du système applique 0 à tout les paramètres. Ne retourne rien.
 - **MajRoulis(varAnnexe)** : fonction appelée par d'autres sous-système pour mettre à jour la variable roulis de Contexte qui prend la valeur de varAnnexe. Ne retourne rien.
 - **MajLacet(varAnnexe)** : fonction appelée par d'autres sous-système pour mettre à jour la variable lacet de Contexte qui prend la valeur de varAnnexe. Ne retourne rien.
 - **MajTangage(varAnnexe)** : fonction appelée par d'autres sous-système pour mettre à jour la variable tangage de Contexte qui prend la valeur de varAnnexe. Ne retourne rien.
 - **MajVitesse(varAnnexe)** : fonction appelée par d'autres sous-système pour mettre à jour la variable vitesse de Contexte qui prend la valeur de varAnnexe. Ne retourne rien.
- **A MODIFIER**
- Sous-système **Appontage**
 - Système opérationnel chargé de coordonner le maintien de l'avion dans le plan d'approche et la trajectoire de descente de l'avion dans ce plan.
 - Etat :
 - Sous-système **PlanApproche**
 - Sous-système **Trajectoire**
 - Fonction :

- **Appontage(PlanApproche, Trajectoire)** : permet de coordonner la trajectoire avec le plan d'approche. Les paramètres seront égaux lorsque l'avion sera posé. Retourne 0 si la manœuvre s'est bien passée, sinon -1.
- **A MODIFIER**
- Sous-système **PlanApproche**
 - Garantit le maintien de l'avion dans le plan d'approche.
 - Etat :
 - Sous-système **RegulateurPlan** avec :
 - * Fonction pour corriger le lacet : **CorrLacet(lacet)**
 - * Fonction pour corriger le roulis : **CorrRoulis(roulis)**
 - Sous-système **CapteurPlan** avec :
 - * Axe longitudinal actuel : **roulisC**
 - * Axe vertical actuel : **lacetC**
 - Fonction :
 -
- Sous-système **CapteurPlan**
 - Récupère les données réelles fournies par les capteurs du roulis et du lacet de l'avion.
 - Etat :
 - Sous-système **CapteurLacet** avec :
 - * Axe vertical mesuré par le capteur : **lacetC**
 - Sous-système **CapteurRoulis** avec :
 - * Axe longitudinal mesuré par le capteur : **roulisC**
 - Sous-système **Contexte** avec :
 - * Fonction mise à jour de roulis : **MajRoulis(varAnnexe)**
 - * Fonction mise à jour de lacet : **MajLacet(varAnnexe)**
 - Fonctions :
 - **RecupRoulis(roulisC)** : récupère le roulis calculé par le capteur pour mettre à jour le roulis de l'avion : **MajRoulis(roulisC)**. Retourne roulisC.
 - **RecupLacet(lacetC)** : récupère le lacet calculé par le capteur pour mettre à jour le lacet de l'avion : **MajLacet(lacetC)**. Retourne lacetC.
- Sous-système **CapteurRoulis**
 - Mesure le roulis de l'avion.
 - Etat :
 - Axe longitudinal mesuré par le capteur : **roulisC**
 - Sous-système **BASIC_IO** avec :
 - * Entrées du simulateur : **simulateurE**
 - Fonction :
 - **MesureRoulis(simulateurE, roulisC)** : mesure le roulis réel de l'avion avec BASIC_IO qui récupère la donnée en entrée (simulateurE) et la met dans roulisC. Retourne roulisC.
- Sous-système **CapteurLacet**
 - Mesure le lacet de l'avion.

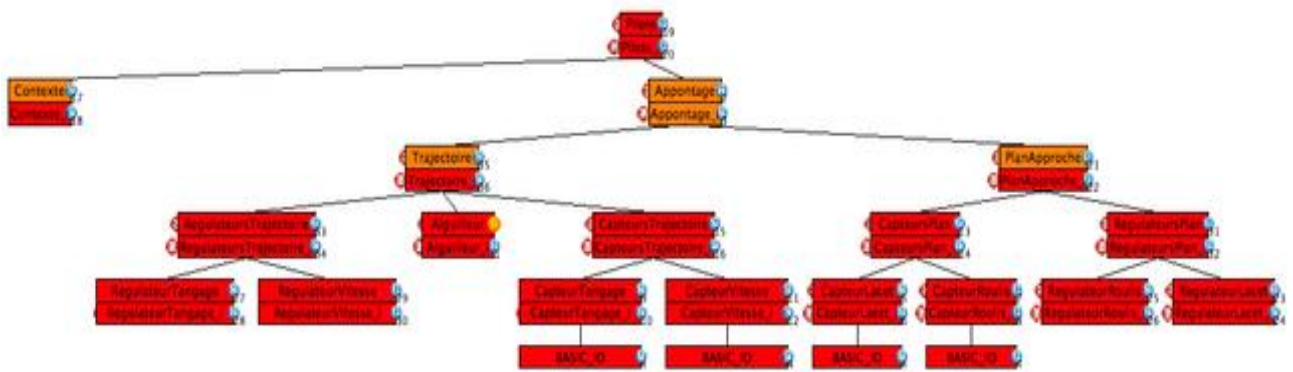
- Etat :
 - Axe vertical mesuré par le capteur : **lacetC**
 - Sous-système **BASIC_IO** avec :
 - * Entrées du simulateur : **simulateurE**
 - Fonction :
 - **MesureLacet(simulateurE, lacetC)** : mesure le lacet réel de l'avion avec BASIC_IO qui récupère la donnée en entrée (simulateurE) et la met dans lacetC. Retourne lacetC.
- Sous-système **RegulateurPlan**
 - Corrige en temps réel les paramètres (lacet-roulis) de sorte à maintenir l'avion dans le plan d'approche
 - Etat :
 - Sous-système **RegulateurLacet** avec :
 - * Différence entre le lacet réel et le lacet nécessaire : **diffL**
 - Sous-système **RegulateurRoulis** avec :
 - * Différence entre le roulis réel et le roulis nécessaire : **diffR**
 - Sous-système **Contexte** avec :
 - * Axe vertical actuel : **lacet**
 - * Axe longitudinal actuel : **roulis**
 - Fonctions :
 - **CorrLacet(lacet)** : Retourne (lacet + diffL).
 - **CorrRoulis(roulis)** : Retourne (roulis + diffR).
- **A MODIFIER**
- Sous-système **RegulateurRoulis**
 - Corrige le paramètre roulis de sorte que l'avion soit maintenu dans le plan d'approche
 - Etat :
 - Sous-système **Contexte** avec :
 - * Axe longitudinal actuel : **roulis**
 - Différence entre le roulis réel et le roulis nécessaire : **diffR**
 - Plan d'appontage, axe horizontal du porte-avion : **planAppontage**
 - Fonction :
 - **DegreAppontageRoulis(roulis, planAppontage, diffR)** : Calcule la valeur que doit avoir le roulis pour que le degré d'appontage entre l'avion et le plan d'appontage soit égale à 3. D'après nos recherches le degré d'appontage idéal est de 3°. Mesure la différence entre cette valeur du roulis et celle actuelle (roulis). Retourne diffR.
- **A MODIFIER**
- Sous-système **RegulateurLacet**
 - Corrige le paramètre lacet de sorte que l'avion soit maintenu dans le plan d'approche
 - Etat :
 - Sous-système **Contexte** avec :
 - * Axe vertical actuel: **lacet**
 - Différence entre le lacet réel et le lacet nécessaire : **diffL**
 - Plan d'appontage, axe horizontal du porte-avion : **planAppontage**

- Fonction :
 - **ParallèleAppontageLacet(lacet, planAppontage, diffL)** : Calcule la valeur que doit avoir le lacet pour que l'avion soit parallèle avec le plan d'appontage. Mesure la différence entre cette valeur du lacet et celle actuelle (lacet). Retourne diffL.
- Sous-système **Trajectoire**
 - Contrôle la trajectoire de descente de l'avion maintenu dans le plan d'approche
 - Etat :
 - Sous-système **Aiguilleur** avec :
 - * Vitesse de l'avion à avoir : **AiguilVitesse**
 - * Axe latéral à avoir : **AiguilTangage**
 - Sous-système **CapteurTrajectoire** avec :
 - * Axe latéral en temps réel : **tangageC**
 - * Vitesse de l'avion en temps réelle : **vitesseC**
 - Sous-système **RegulateurTrajectoire** avec :
 - * Fonction pour corriger la vitesse : **CorrVitesse(vitesse)**
 - * Fonction pour corriger le tangage : **CorrTangage(tangage)**
 - Fonctions :
 - **ControleTrajectoireVitesse(AiguilVitesse, vitesseC)** : Vérifie si la vitesse mesurée par le capteur (vitesseC) est égale à la vitesse calculée par l'aiguilleur (AiguilVitesse). Si ce n'est pas le cas, appel de la fonction : **CorrVitesse(vitesseC)**. Sinon ne retourne rien.
 - **ControleTrajectoireTangage(AiguilTangage, tangageC)** : Vérifie si le tangage mesuré par le capteur (tangageC) est égal au tangage calculé par l'aiguilleur (AiguilTangage). Si ce n'est pas le cas, appel de la fonction : **CorrTangage(tangageC)**. Sinon ne retourne rien.
- Sous-système **Aiguilleur**
 - Reçoit les données réelles sur les paramètres vitesse et tangage de l'avion et retourne les données pour corriger en temps réel la trajectoire d'appontage.
 - Etat :
 - Vitesse de l'avion à avoir: **AiguilVitesse**
 - Axe latéral à avoir : **AiguilTangage**
 - Sous-système **CapteurVitesse** avec :
 - * Vitesse de l'avion mesurée par le capteur : **vitesseC**
 - Sous-système **CapteurTangage** avec :
 - * Axe latéral mesuré par le capteur : **tangageC**
 - Fonctions :
 - **MesureVitesse(AiguilVitesse, vitesseC)** : Calcul la vitesse nécessaire à l'avion pour continuer la manœuvre d'appontage grâce à vitesseC. Met la valeur calculée dans AiguilVitesse. Retourne AiguilVitesse.
 - **MesureTangage(AiguilTangage, tangageC)** : Calcul le tangage nécessaire à l'avion pour continuer la manœuvre d'appontage grâce à tangageC. Met la valeur calculée dans AiguilTangage. Retourne AiguilTangage.
- Sous-système **BASIC_IO**
 - Gère les entrées/sorties du simulateur.

- Etat :
 - Entrées du simulateur : [simulateurE](#)
 - Sorties du simulateur : [simulateurS](#)
 - Fonctions :
 - **RecepDonnée(simulateurE)** : récupère une donnée en entrée du simulateur et la met dans simulateurE. Retourne simulateurE.
 - **EnvoiDonnée(simulateurS)** : envoie la donnée contenue dans simulateurS par la sortie du simulateur. Retourne simulateurS.
- Sous-système **CapteurTrajectoire**
 - Récupère les données réelles sur la vitesse et le tangage de l'avion.
 - Etat :
 - Sous-système [CapteurVitesse](#) avec :
 - * Vitesse de l'avion mesurée par le capteur : [vitesseC](#)
 - Sous-système [CapteurTangage](#) avec :
 - * Axe latéral mesuré par le capteur : [tangageC](#)
 - Sous-système [Contexte](#) avec :
 - * Fonction mise à jour de vitesse : **MajVitesse(varAnnexe)**
 - * Fonctions mise à jour de tangage : **MajTangage(varAnnexe)**
 - Fonctions :
 - **RecupVitesse(vitesseC)** : récupère la vitesse calculée par le capteur pour mettre à jour la vitesse de l'avion : **MajVitesse(vitesseC)**. Retourne vitesseC.
 - **RecupTangage(tangageC)** : récupère le tangage mesuré par le capteur pour mettre à jour le tangage de l'avion : **MajTangage(tangageC)**. Retourne tangageC.
- Sous-système **CapteurVitesse**
 - Mesure la vitesse réelle de l'avion.
 - Etat :
 - Vitesse de l'avion mesuré par le capteur : [vitesseC](#)
 - Sous-système [BASIC_IO](#) avec :
 - * Entrées du simulateur : [simulateurE](#)
 - Fonction :
 - **VitesseReelle(simulateurE, vitesseC)** : mesure la vitesse réel de l'avion avec BASIC_IO qui récupère la donnée en entrée (simulateurE) et la met dans vitesseC. Retourne vitesseC.
- Sous-système **CapteurTangage**
 - Mesure l'angle de tangage réel de l'avion.
 - Etat :
 - Axe latéral de l'avion mesuré par le capteur : [tangageC](#)
 - Sous-système [BASIC_IO](#) avec :
 - * Entrées du simulateur : [simulateurE](#)
 - Fonction :

- **TangageReel(simulateurE, tangageC)** : mesure le tangage réel de l'avion avec BASIC_IO qui récupère la donnée en entrée (simulateurE) et la met dans tangageC. Retourne tangageC.
- Sous-système **RegulateurTrajectoire**
 - Commande les régulateurs de vitesse et de tangage afin de corriger la trajectoire de l'avion.
 - Etat :
 - Sous-système **Contexte** avec :
 - * Vitesse actuelle de l'avion : **vitesse**
 - * Axe latéral actuel : **tangage**
 - Sous-système **RegulateurVitesse** avec :
 - * Différence entre la vitesse réelle et la vitesse nécessaire : **diffV**
 - Sous-système **RegulateurTangage** avec :
 - * Différence entre le tangage réel et le tangage nécessaire : **diffT**
 - Fonctions :
 - **CorrVitesse(vitesse)** : Retourne (vitesse + diffV).
 - **CorrTangage(tangage)** : Retourne (tangage + diffT).
- Sous-système **RegulateurVitesse**
 - Corrige la vitesse de l'avion en appliquant la consigne de l'aiguilleur automatique.
 - Etat :
 - Sous-système **Contexte** avec :
 - * Vitesse actuelle de l'avion : **vitesse**
 - Sous-système **Aiguilleur** avec :
 - * Vitesse de l'avion mesurer par l'aiguilleur : **AguilVitesse**
 - Différence entre la vitesse réelle et la vitesse nécessaire : **diffV**
 - Fonction :
 - **DiffVitesse(AguilVitesse, vitesse, diffV)** : Mesure la différence entre la vitesse réelle (vitesse) et la vitesse nécessaire (AguilVitesse). Retourne diffV.
- Sous-système **RegulateurTangage**
 - Corrige le tangage de l'avion en appliquant la consigne de l'aiguilleur automatique.
 - Etat :
 - Sous-système **Contexte** avec :
 - * Axe latéral actuel : **tangage**
 - Sous-système **Aiguilleur** avec :
 - * Axe latéral mesurer par l'aiguilleur : **AguilTangage**
 - Différence entre le tangage réel et le tangage nécessaire : **diffT**
 - Fonction :
 - **DiffTangage(AguilTangage, tangage, diffT)** : Mesure la différence entre le tangage réel (tangage) et le tangage nécessaire (AguilTangage). Retourne diffT.

Question 2 : Modélisation en B du système



Question 3 : Validation du modèle précédent

Question 4 : Génération du code source C++ du logiciel qui contrôle l'appontage