GIMBLESS

Nacelle à main 3 axes brushless

ACTIVITES PEDAGOGIQUES CPGE

Travaux pratiques Gimbless

1ère année

TP1.1 Analyse de l'architecture et vérification des performances en mode stabilisation

- ✓ Analyse de l'architecture, identification des constituants
- ✓ Analyse des modes de fonctionnement
- ✓ Vérification des performances en modes stabilisation

TP1.2 Modélisation, identification et validation de l'asservissement en stabilisation

- ✓ Analyse de l'architecture de l'asservissement
- ✓ Modélisation et identification de l'actionneur
- ✓ Modélisation, identification et validation du modèle de l'asservissement

TP1.3 Analyse des performances cinématiques et de la chaîne de mesure

- ✓ Schéma cinématique
- ✓ Relations angles AHRS et ligne de visée
- ✓ Détermination des angles à partir du AHRS

TP1.4 Analyse de l'équilibrage statique

- ✓ Mise en évidence de l'intérêt de l'équilibrage statique
- ✓ Condition d'équilibrage statique
- ✓ Mise en évidence de la procédure d'équilibrage

2ème année

TP2.1 Analyse de l'architecture et performances du mode suivi

- ✓ Analyse de l'architecture de l'asservissement
- ✓ Modélisation, identification et validation du modèle de l'asservissement
- ✓ Influence et réglage du filtre passe bas

TP2.2 Synthèse de la correction en mode stabilisation

- ✓ Analyse de l'architecture de l'asservissement
- ✓ Modélisation, identification et validation du modèle de l'asservissement
- ✓ Synthèse de la correction

TP2.3 Modélisation dynamique de la chaîne d'énergie et validation de la motorisation

- ✓ Analyse et commande de la machine synchrone
- ✓ Modélisation et identification de son comportement dynamique
- ✓ Validation de la motorisation

TP 1.1
ANALYSE DE L'ARCHITECTURE ET VERIFICATION DES PERFORMANCES EN MODE STABILISATION

COMPETENCES VISEES

- Décrire le besoin.
- Identifier et caractériser les fonctions, qualifier et quantifier les exigences (critère, niveau)
- Analyser les architectures fonctionnelle et structurelle
- Repérer et identifier les constituants de la chaine d'énergie
- Repérer et identifier les constituants de la chaine d'information
- Repérer les constituants dédiés aux fonctions d'un système
- Identifier la structure d'un système asservi : chaine directe, capteur, commande, consigne, comparateur, correcteur
- Identifier les liens entre la chaine d'énergie et la chaine d'information
- Mettre en évidence l'influence des paramètres sur les performances du système

PRE-REQUIS

- Langage SysML : exigences ; cas d'utilisation ; définition des blocs ; blocs internes ; séquences.
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaîne fonctionnelle ; système asservi ; consigne et réponse ; chaine d'information et d'énergie.
- Cahier des charges fonctionnel : performances.

SITUATION DANS LE PROGRESSION

Premier année – Premier semestre

MATERIEL MIS EN ŒUVRE

- Nacelle gyrostabilisée Gimbless
- Interface Homme / Machine Gimbless (IHM)
- Environnement Multimédia Pédagogique (EMP)

PRESENTATION DU SYSTEME

Le système étudié est une nacelle gyrostabilisée.

Ce dispositif permet la prise de vue en mouvement à l'aide d'un appareil photo ou d'une caméra. Il permet de conserver l'orientation de l'objectif indépendemment des mouvements du caméraman. Cette technologie remplace avantageusement les anciennes « Steadycam » lourdes et encombrantes ; elle est également utilisée pour la gyrostabilisation caméras équipant les drones.

Le modèle étudié permet la stabilisation spatiale suivant 3 axes : roulis, tangage et lacet. Il est également possible de piloter manuellement les mouvements de l'appareil à l'aide d'un joystick tout en conservant une stabilisation de l'image garantissant la qualité des prises de vues.

Le système du laboratoire est équipé d'un appareil factice possédant les mêmes caractérisitques inertielles qu'un appareil réflex professionnel. En utilisation réel, le caméraman dispose d'un retour d'image sur un écran déporté lui permettant ainsi un contrôle total du cadrage.

La gyrostabilisation est assurée à l'aide de 3 moteurs brushless pilotés par une carte de commande spécifiques conçue par la société NAVEOL, entreprise française spécialisée dans le secteur.

La description SysML du système est proposée dans le dossier ressource.

OBJECTIFS DU TP

Ce TP vise à :

- ✓ Prendre en main le système afin de mettre en évidence les principales fonctionnalités
- ✓ Analyser les exigences
- ✓ Comprendre la structure des asservissements
- ✓ Analyser

I- PRISE EN MAIN ET ANALYSE DES MODES DE FONCTIONNEMENT

Objectif : Il s'agit dans cette partie de découvrir les principales fonctionnalités du système et d'analyser les cas d'utilisation et les exigences dans les différents modes de fonctionnement.

Dans tout le TP, on utilise les dénominations « lacet », « tangage » et « roulis » pour définir les mouvements de la nacelle par rapport au sol ainsi que les mouvements de l'appareil par rapport à la nacelle. La figure 1 illustre ces 3 axes :

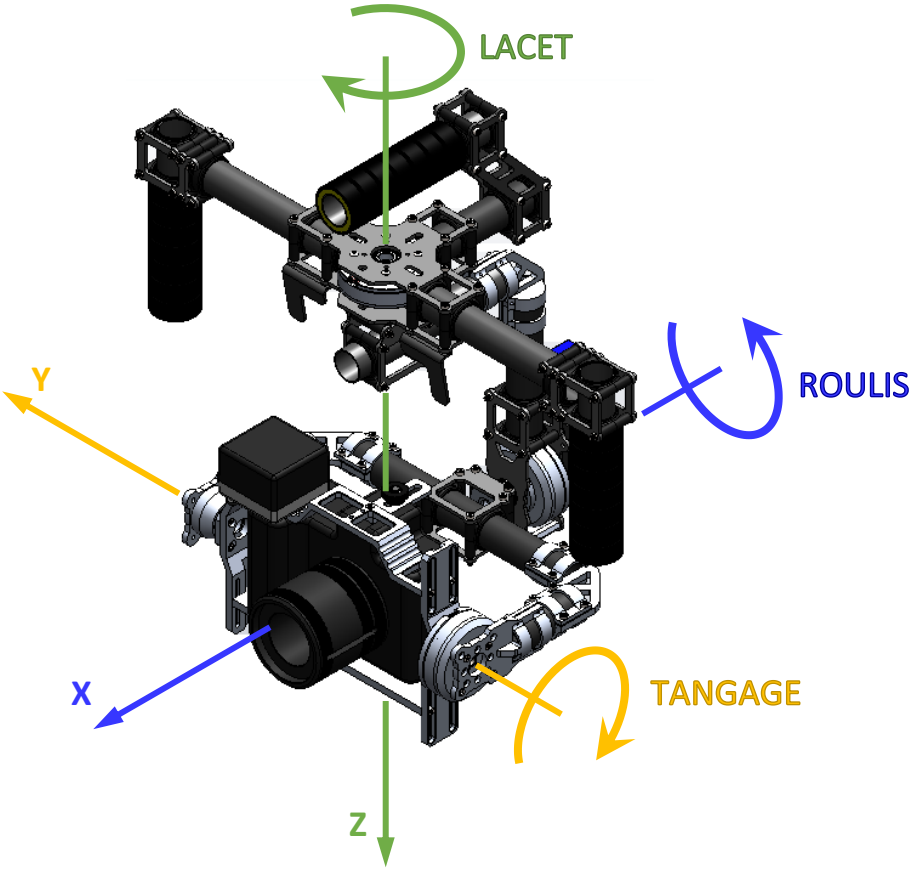


Figure 1 : appellation des axes de rotations

I.1 PRISE EN MAIN

Activité 1 Mise en marche la nacelle

- Sur l'ordinateur, lancer l'application « Gimbless – EMP » .
- Cliquer sur LE CONTEXTE et visualiser quelques secondes de la vidéo « Nacelle à main ».
- Revenir au menu principal et cliquer sur UTILISATION .
- Choisir MISE SOUS TENSION et suivre la procédure indiquée.
- Cliquer alors sur et suivre la procédure d'activation du mode « Stabilisation ».
- Prendre en main la nacelle comme illustré sur la vidéo et tester le fonctionnement en mode stabilisation en réalisant des mouvements autour des 3 axes (voir figure 1).

Remarque importante : en l'absence de commande, on observe une dérive (un décalage) progressive de l'axe de lacet. Cela est dû à la technologie utilisée pour la mesure de l'assiette de l'appareil qui est très sensible aux perturbations électromagnétiques. En utilisation réelle, le caméraman dispose d'un écran de contrôle de l'image et corrige l'axe de lacet à l'aide du joystick.

Activité 2 Sélection des modes

- Cliquer à nouveau sur et prendre connaissance des procédures de pilotage des angles et d'utilisation du mode « Suivi ».
- Tester ces modes de pilotage puis désactiver la nacelle par un appui long sur le joystick (> 2 s).
- Reposer la nacelle sur son support.

Précaution d'emploi : Après chaque protocole expérimental, la nacelle devra être désactivée (appui long sur la joystick) et reposée sur son support afin de ne pas l'endommager et d'économiser la batterie.

I.2 ANALYSE DES MODES DE FONCTIONNEMENT

Activité 3 Analyse du mode « Stabilisation »

- En s'appuyant sur les manipulations réalisées en activité 1, indiquer quels axes sont pilotés en mode « Stabilisation »
- Quelle est (quels sont) la (les) consigne(s) dans ce mode ?

Activité 4 Analyse du mode « Suivi »

- En s'appuyant sur les manipulations réalisées en activité 2, indiquer quels axes sont pilotés en mode « Suivi »
- Quelle est (quels sont) la (les) consigne(s) dans ce mode ?

La nacelle démarre toujours en mode « Stabilisation ». En cliquant 2 fois sur le joystick, on peut passer au mode « Suivi » (voir activité 2). En cliquant 3 fois, on peut activer un dernier mode : le mode « Fixe ».

Activité 5 Validation des exigences

- Tester le mode fixe.
- Conclure qualitativement sur le respect des exigences associées aux modes automatiques.

II- ANALYSE DE L'ARCHITECTURE DE LA COMMANDE EN MODE STABILISATION

Objectif : Il s'agit dans cette partie d'identifier les composants constituant les chaînes fonctionnelles assurant la stabilisation et d'en faire une représentation.

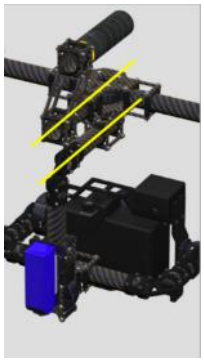
II.1 MISE EN ŒUVRE DE L'INTERFACE HOMME MACHINE (IHM)

Afin de comprendre la structure de l'asservissement retenu, on se propose d'utiliser l'interface de commande et d'acquisition de la Gimbless.

Activité 6 Mise en service de l'IHM

- Sur l'ordinateur, lancer l'application « Interface Gimbless » .
- La nacelle sur son support, cliquer sur Connexion 0 1, valider le port COM et cliquer sur CONNEXION.
- Suivre les consignes à l'écran et valider à chaque étape en cliquant sur OK.

Aligner l'axe de lacet avec la poignée avant la connexion



Comme observé lors de la prise en main, les perturbations électromagnétiques ont tendances à faire dériver les mesures effectuées par le module AHRS. Ne pas hésiter à refaire un alignement régulier de ce module si le fonctionnement semble non conforme : Aligner AHRS. Il faudra alors que la nacelle soit immobile pendant l'alignement du module et l'axe de lacet soit aligné avec celui de la poignée supérieure (voir ci-contre).

Activité 7 Informations disponibles et alignement

- Les moteurs de la Gimbless étant coupés, et la nacelle étant toujours sur son support, manipuler successivement à la main l'appareil photo factice suivant les 3 axes et observer les informations affichées à l'écran.
- Observer la « dérive » de l'angle de lacet dû aux perturbations électromagnétiques.
- Qu'impose cette dérive à l'utilisateur lors qu'on se place dans le cas d'utilisation « Stabiliser la prise de photo ou de vidéo en mouvement » ?
- Cliquer sur

et observer la conséquence sur l'angle de lacet.
- Tourner l'axe de lacet d'une vingtaine de degrés et cliquer à nouveau sur

. Qu'observe-t-on et que peut-on en conclure sur la mesure de l'angle de lacet ?

Activité 8 Mode « Stabilisation »

- Aligner l'axe de lacet sur la poignée supérieure et cliquer sur

.
- Vérifier que le mode 1 (Stabilisation) est actif :

.
- Mettre en marche les moteurs

.
- Prendre en main la nacelle hors de son support et effectuer quelques mouvements suivant les 3 axes. Observer les évolutions des grandeurs affichées sur l'interface.
- Identifier alors la consigne de l'asservissement de l'axe de tangage et l'élément permettant de mesurer sa réponse.
- Couper les moteurs

.

II.2 ARCHITECTURE DE LA CHAINE FONCTIONNELLE RELATIVE A L'AXE DE TANGAGE

La nacelle Gimbless est composée de 3 chaînes fonctionnelles quasi-identiques (voir synoptiques sur l'interface homme machine). On se propose dans la suite de ce TP de réduire l'analyse à une seule chaîne, celle relative à **l'axe de tangage**.

On rappelle que la description de la nacelle au langage SysML est fournie dans le dossier ressources.

Activité 9 Identification des composants

- A partir de la description SysML et en particulier des diagrammes de définition des blocs et de blocs internes, repérer les différents constituants et les localiser sur le système.

Activité 10 Chaîne fonctionnelle associée à l'axe de tangage

- A l'aide du diagramme de blocs internes, compléter le schéma du document réponse fourni en fin de sujet en indiquant les composants remplissant les différentes fonctions génériques des chaînes d'information et d'énergie de la chaîne fonctionnelle associée à l'axe de tangage.
- On précisera et complètera la nature des informations et énergies échangées.

III-ANALYSE DES PERFORMANCES DE L'AXE DE TANGAGE EN MODE STABILISATION

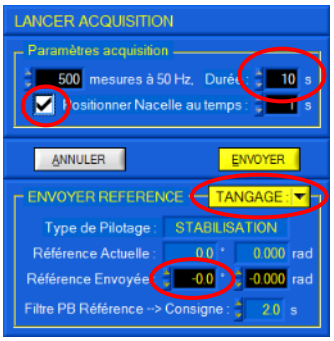
Objectif : Il s'agit dans cette partie de mettre en œuvre la nacelle afin de vérifier les performances attendues de l'axe de tangage en mode stabilisation.

III.1 ANALYSE DE LA REPONSE A UNE PERTURBATION EN TANGAGE

Afin de garantir la qualité des mesures, les acquisitions seront réalisées avec la nacelle sur son support. On se propose dans cette configuration de provoquer un mouvement des poignées d'environ 45° suivant l'axe de tangage et d'analyser les réactions de la Gimbless.

Activité 11 Préparation de l'acquisition

- Cliquer sur l'icône « Acquisition » .
- Cliquer sur « Paramètres d'affichage » .
- Cliquer sur « Charger configurations » , puis choisir le fichier « Performances tangage.gblaff ».
- Cliquer sur « Quitter » .
- Cliquer sur « Lancer acquisition » .
- Régler les paramètres indiqués ci-contre :
  - ✓ durée d'acquisition sur 10 s ;
  - ✓ case « Positionner Nacelle au temps 1 s » cochée ;
  - ✓ axe de tangage sélectionné ;
  - ✓ « Référence Envoyée » à 0°.

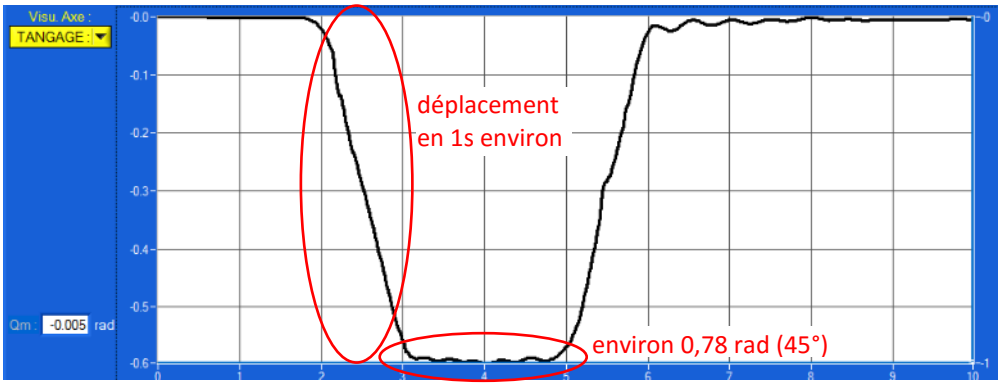


L'interface est prête pour l'acquisition.

En cliquant sur ENVOYER, l'acquisition commence après validation de la mise en marche des moteurs. Un alignement du module AHRS est alors systématiquement réalisé. **Ne pas toucher la nacelle pendant l'alignement (4s)**. La référence (consigne à 0° dans le cas de notre étude) est envoyée 1s après la fin de l'alignement. Il faudra donc **attendre au moins 1s supplémentaire** avant de solliciter la nacelle.

Activité 12 Acquisition avec une perturbation en tangage

- Cliquer sur ENVOYER et valider la mise en puissance des moteurs QUI.
- Ne pas toucher à la nacelle pendant l'alignement du module AHRS (4s environ).
- Attendre encore 1s environ et solliciter les poignées afin de tourner le sous ensemble poignée de 45° environ en 1s. Conserver cette inclinaison pendant 2s environ puis ramener les poignées en position initiale.
- A l'affichage du message de fin d'acquisition, cliquer sur QUI pour couper la puissance des moteurs.
- Sur les courbes qui s'affichent, le tracé **Θ_m** représente l'angle relatif du stator et du rotor du moteur de l'axe de tangage. Avec les réglages par défaut de l'asservissement, il est directement représentatif de la perturbation appliquée. Si l'acquisition a été correctement réalisée, le tracé soit ressemblé à celui de la courbe ci-dessous sur lequel les autres grandeurs ont été retirées :



Activité 13 Analyse des performances de l'axe de tangage

- Vérifier que l'acquisition réalisée correspond bien au tracé donné ci-dessus. Si nécessaire, refaire l'acquisition.
- A partir des courbes affichées, analyser les performances en précision de l'axe de tangage vis-à-vis des exigences figurant au cahier des charges (voir diagramme des exigences).
- Refaire l'essai en réduisant le temps de déplacement de 0° à 45° à 0,5s.
- Conclure sur l'écart entre les performances attendues et les performances mesurées.

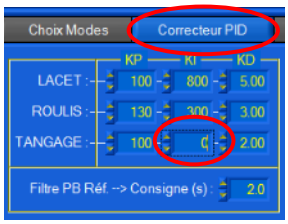
III.2 INFLUENCE DES PARAMETRES DE L'ASSERVISSEMENT

L'asservissement utilise une correction de type PID : Proportionnelle, Intégrale et Dérivée. La structure de cette correction sera étudiée plus tard dans l'année. On se propose en première approche d'analyser l'influence de ces actions sur le comportement et les performances de l'asservissement.

L'interface est prête pour l'acquisition.

Avec les réglages proposés ci-après, la détermination de Θ_m n'est plus correcte et la courbe affichée pour cette variable n'est plus représentative des mouvements réels des poignées.

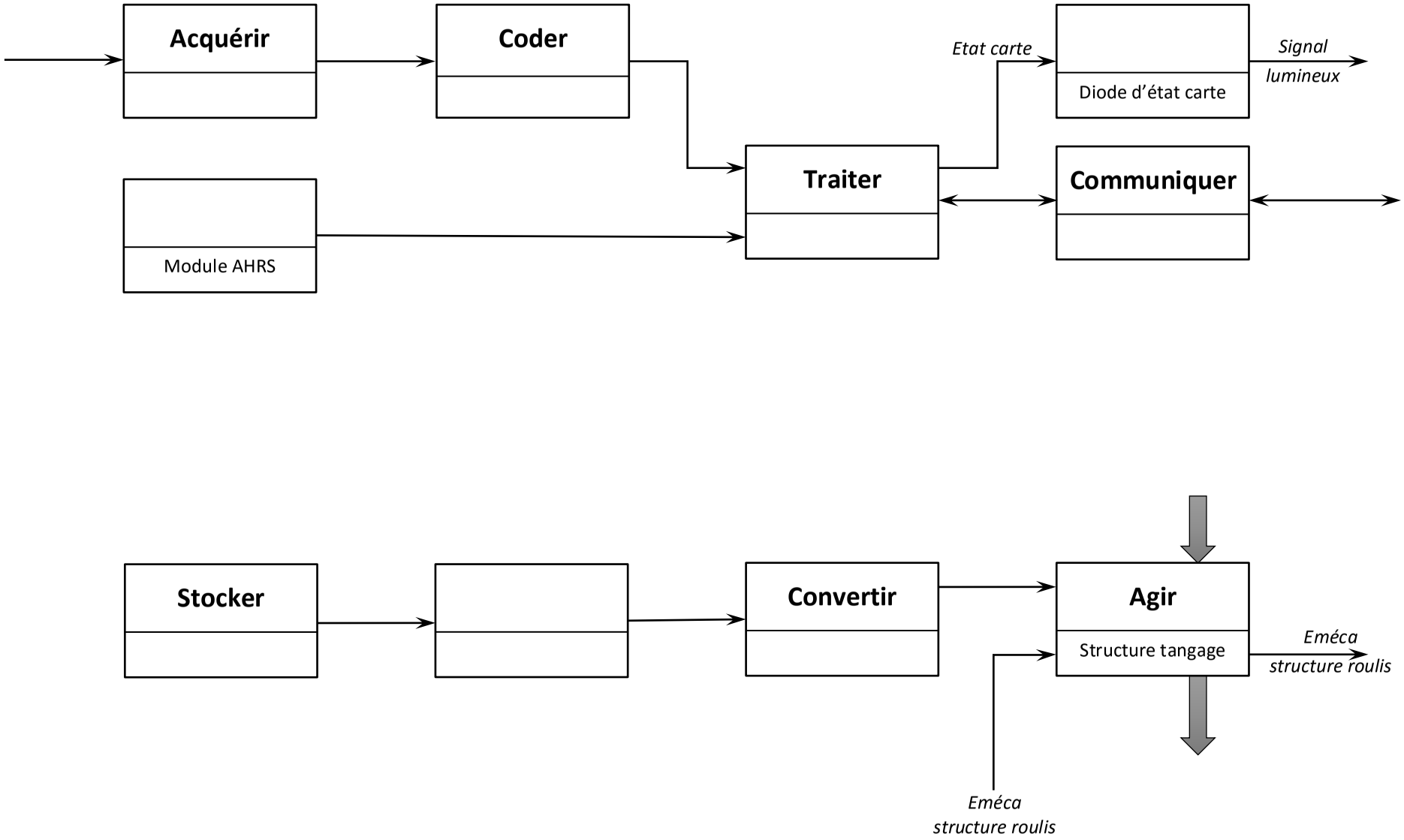
Activité 14 Influence de la correction intégrale



- Cliquer sur « Paramétrer axes nacelle » .
- Sélectionner « Correcteur PID » et régler comme indiqué ci-contre la correction intégrale KI de l'axe de tangage sur 0.
- Sauvegarder les paramètres en cliquant sur « Ecrire paramètres dans Gimbless » . Quitter .
- Lancer une acquisition dans les mêmes conditions qu'en activité 13.
- Analyser les tracés et conclure sur la validation des performances.
- Quel est l'influence de la correction intégrale sur le comportement de la nacelle ?

Activité 15 Influence de la correction dérivée

- Retourner dans les réglages de l'axe .
- Remmettre le gain KI à 800 et annuler le gain KD 0. On désactive ainsi la correction dérivée.
- Lancer une acquisition dans les mêmes conditions qu'en activité 13.
- Analyser les tracés et conclure sur la validation des performances.
- Quel est l'influence de la correction dérivée sur le comportement de la nacelle ?


Acquérir
Coder
Etat carte
Signal lumineux
Diode d'état carte
Traiter
Communiquer
Module AHRS
Stocker
Convertir
Agir
Structure tangage
Eméca structure roulis
Eméca structure roulis

TP 1.2

MODELISATION, IDENTIFICATION ET VALIDATION DE L'ASSERVISSEMENT EN STABILISATION

COMPETENCES VISEES

- Analyser les architectures fonctionnelle et structurelle
- Identifier et décrire la chaine d'information et la chaine d'énergie du système
- Analyser ou établir le schéma-bloc du système
- Renseigner les paramètres caractéristiques d'un modèle de comportement
- Identifier les paramètres caractéristiques d'un modèle du deuxième ordre à partir de sa réponse indicielle

PRE-REQUIS

- Langage SysML : exigences ; cas d'utilisation ; définition des blocs ; blocs internes ; séquences.
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaîne fonctionnelle ; système asservi ; consigne et réponse ; chaine d'information et d'énergie.
- Cahier des charges fonctionnel : performances.
- Schéma-bloc : fonction de transfert en chaine directe, fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée
- Modèles de comportement
- Réponses temporelle et fréquentielle : systèmes du 2e ordre
- Identification temporelle d'un modèle de comportement

SITUATION DANS LE PROGRESSION

Premier année – Premier semestre

MATERIEL MIS EN ŒUVRE

- Nacelle gyrostabilisée Gimbless
- Interface Homme / Machine Gimbless (IHM)
- Environnement Multimédia Pédagogique (EMP)

PRESENTATION DU SYSTEME

Le système étudié est une nacelle gyrostabilisée.

Ce dispositif permet la prise de vue en mouvement à l'aide d'un appareil photo ou d'une caméra. Il permet de conserver l'orientation de l'objectif indépendemment des mouvements du caméraman. Cette technologie remplace avantageusement les anciennes « Steadycam » lourdes et encombrantes ; elle est également utilisée pour la gyrostabilisation caméras équipant les drones.

Le modèle étudié permet la stabilisation spatiale suivant 3 axes : roulis, tangage et lacet. Il est également possible de piloter manuellement les mouvements de l'appareil à l'aide d'un joystick tout en conservant une stabilisation de l'image garantissant la qualité des prises de vues.

Le système du laboratoire est équipé d'un appareil factice possédant les mêmes caractérisitques inertielles qu'un appareil réflex professionnel. En utilisation réel, le caméraman dispose d'un retour d'image sur un écran déporté lui permettant ainsi un contrôle total du cadrage.

La gyrostabilisation est assurée à l'aide de 3 moteurs brushless pilotés par une carte de commande spécifiques conçue par la NAVEOL, entreprise française spécialisée dans le secteur.

La description SysML du système est proposée dans le dossier ressource.

OBJECTIFS DU TP

Ce TP vise à :

- ✓ Prendre en main le système afin de mettre en évidence les principales fonctionnalités
- ✓ Analyser les exigences
- ✓ Analyser la chaîne fonctionnelle et validation la structure d'un modèle sous forme de schéma bloc
- ✓ Mettre en évidence l'intérêt du réglage du correcteur de la boucle de stabilisation en tangage
- ✓ Proposer et Identifier un modèle de comportement du moteur brushless
- ✓ Identifier les limites de ce modèle
- ✓ Analyse et valider la structure d'un modèle de connaissance pour le moteur brushless
- ✓ Valider ce modèle
- ✓ Valider les performances de l'asservissement de stabilisation en tangage

I- PRISE EN MAIN ET ANALYSE DES PERFORMANCES EN MODE STABILISATION

Objectif : Il s'agit dans cette partie de découvrir les principales fonctionnalités du système et d'analyser les performances en mode stabilisation.

Dans tout le TP, on utilise les dénominations « lacet », « tangage » et « roulis » pour définir les mouvements de la nacelle par rapport au sol ainsi que les mouvements de l'appareil par rapport à la nacelle. La figure 1 illustre ces 3 axes :

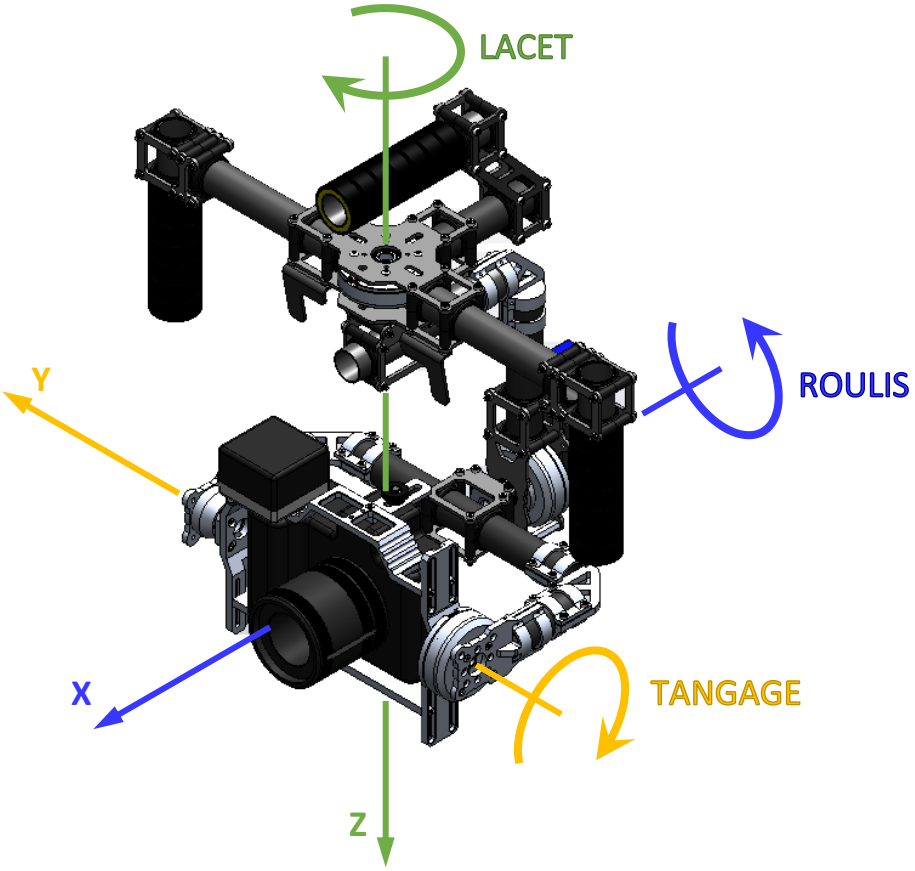


Figure 1 : appellation des axes de rotations

I.1 PRISE EN MAIN

Activité 1 Mise en marche la nacelle

- Sur l'ordinateur, lancer l'application « Gimbless – EMP » .
- Cliquer sur LE CONTEXTE et visualiser quelques secondes de la vidéo « Nacelle à main ».
- Revenir au menu principal et cliquer sur UTILISATION .
- Choisir MISE SOUS TENSION et suivre la procédure indiquée.
- Cliquer alors sur et suivre la procédure d'activation du mode « Stabilisation ».
- Prendre en main la nacelle comme illustré sur la vidéo et tester le fonctionnement en mode stabilisation en réalisant des mouvements autour des 3 axes (voir figure 1).

Remarque importante : en l'absence de commande, on observe une dérive (un décalage) progressive de l'axe de lacet. Cela est dû à la technologie utilisée pour la mesure de l'assiette de l'appareil qui est très sensible aux perturbations électromagnétiques. En utilisation réelle, le caméraman dispose d'un écran de contrôle de l'image et corrige l'axe de lacet à l'aide du joystick.

Activité 2 Sélection des modes

- Cliquer à nouveau sur et prendre connaissance des procédures de pilotage des angles et d'utilisation du mode « Suivi ».
- Tester ces modes de pilotage puis désactiver la nacelle par un appui long sur le joystick (> 2 s).
- Reposer la nacelle sur son support.

Précaution d'emploi : Après chaque protocole expérimental, la nacelle devra être désactivée (appui long sur la joystick) et reposée sur son support afin de ne pas l'endommager et d'économiser la batterie.

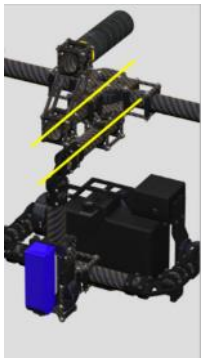
I.2 MISE EN ŒUVRE DE L'INTERFACE HOMME MACHINE (IHM)

Afin de comprendre la structure de l'asservissement retenu, on se propose d'utiliser l'interface de commande et d'acquisition de la Gimbless.

Activité 3 Mise en oeuvre de l'IHM

- Sur l'ordinateur, lancer l'application « Interface Gimbless ».
- La nacelle sur son support, cliquer sur Connexion 0 1, valider le port COM et cliquer sur CONNEXION.
- Suivre les consignes à l'écran et valider à chaque étape en cliquant sur OK.

Aligner l'axe de lacet avec la poignée avant la connexion



Comme observé lors de la prise en main, les perturbations électromagnétiques ont tendances à faire dériver les mesures effectuées par le module AHRS. Ne pas hésiter à refaire un alignement régulier de ce module si le fonctionnement semble non conforme : Aligner AHRS. Il faudra alors que la nacelle soit immobile pendant l'alignement du module et l'axe de lacet soit aligné avec celui de la poignée supérieure (voir ci-contre).

- Aligner l'axe de lacet sur la poignée supérieure et cliquer sur Aligner AHRS.
- Vérifier que le mode 1 (Stabilisation) est actif : Mode 1 Actif.
- Mettre en marche les moteurs Moteurs 0 1.
- Prendre en main la nacelle hors de son support et effectuer quelques mouvements suivant les 3 axes. Observer les évolutions des grandeurs affichées sur l'interface.
- Couper les moteurs Moteurs 0 1.

Les 3 axes de la nacelle possédant une structure de commande identique, on se propose dans la suite du TP de réduire l'étude à l'axe de tangage.

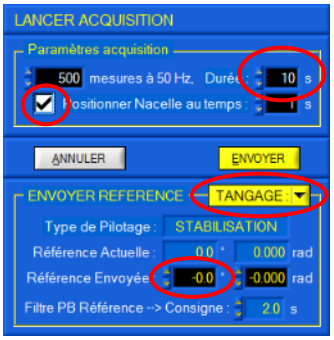
I.3 ANALYSE DE LA REPONSE A UNE PERTURBATION EN TANGAGE

Afin de garantir la qualité des mesures, les acquisitions seront réalisées avec la nacelle sur son support. On se propose dans cette configuration de provoquer un mouvement des poignées d'environ 45° suivant l'axe de tangage et d'analyser les réactions de la Gimbless.

Activité 4 Préparation de l'acquisition

- Cliquer sur l'icône « Acquisition ».
- Cliquer sur « Paramètres d'affichage ».
- Cliquer sur « Charger configurations », puis choisir le fichier « Performances tangage.gblaff ».

- Cliquer sur « Quitter » .
- Cliquer sur « Lancer acquisition » .
- Régler les paramètres indiqués ci-contre :
  - ✓ durée d'acquisition sur 10 s ;
  - ✓ case « Positionner Nacelle au temps 1 s » cochée ;
  - ✓ axe de tangage sélectionné ;
  - ✓ « Référence Envoyée » à 0°.

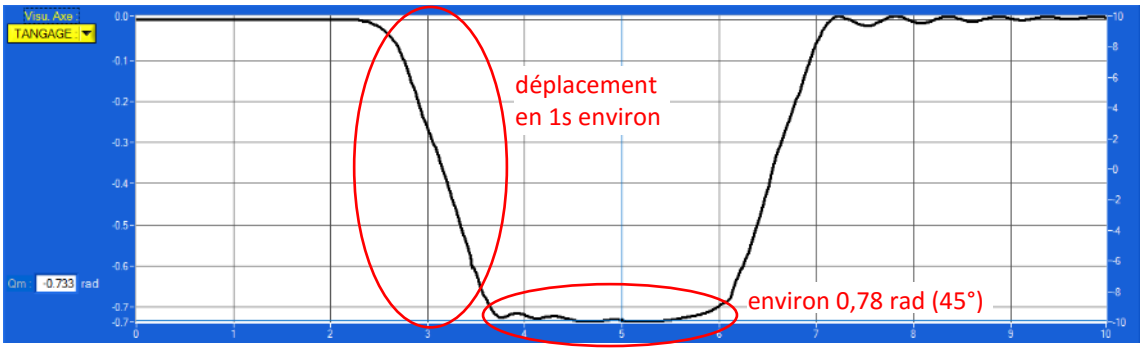


L'interface est prête pour l'acquisition.

En cliquant sur ENVOYER, l'acquisition commence après validation de la mise en marche des moteurs. Un alignement du module AHRS est alors systématiquement réalisé. **Ne pas toucher la nacelle pendant l'alignement (4s)**. La référence (consigne à 0° dans le cas de notre étude) est envoyée 1s après la fin de l'alignement. Il faudra donc **attendre au moins 1s supplémentaire** avant de solliciter la nacelle.

Activité 5 Acquisition avec une perturbation en tangage

- Cliquer sur ENVOYER et valider la mise en puissance des moteurs QUI.
- Ne pas toucher à la nacelle pendant l'alignement du module AHRS (4s environ).
- Attendre encore 3s environ et solliciter les poignées afin de tourner le sous ensemble poignée de 45° en 1s environ. Conserver cette inclinaison pendant 2s environ puis ramener les poignées en position initiale.
- A l'affichage du message de fin d'acquisition, cliquer sur QUI pour couper la puissance des moteurs.
- Sur les courbes qui s'affichent, le tracé Θ_m représente l'angle relatif du stator et du rotor du moteur de l'axe de tangage. Avec les réglages par défaut de l'asservissement, il est directement représentatif de la perturbation appliquée. Si l'acquisition a été correctement réalisée, le tracé doit ressembler à celui de la courbe ci-dessous sur laquelle les autres grandeurs ont été retirées :



Activité 6 Analyse des performances de l'axe de tangage

- Vérifier que l'acquisition réalisée correspond bien au tracé donné ci-dessus. Si nécessaire, refaire l'acquisition.
- A partir des courbes affichées, analyser les performances en précision de l'axe de tangage vis-à-vis des exigences figurant au cahier des charges (voir diagramme des exigences).
- Conclure sur l'écart entre les performances attendues et les performances mesurées.

.

Dans la suite de ce TP, on se propose de mettre en place un modèle pour l'asservissement en stabilisation afin d'affiner les réglages de correction et d'analyse l'influence du type d'appareil sur le comportement de la nacelle.

II- ANALYSE DE LA STRUCTURE DE L'ASSERVISSEMENT ET MODELISATION PAR SCHEMA-BLOC

Objectif : Il s'agit dans cette partie d'analyser la structure de la chaîne de commande et de mettre en place un modèle sous la forme d'un schéma bloc.

Hypothèses : Dans l'ensemble de cette partie, on considèrera exclusivement des sollicitations en **tangage** de la nacelle. Les axes de roulis et de de lacet sont supposés immobiles pour l'ensemble de l'étude proposée. Par ailleurs on suppose que le joystick est non sollicité, la consigne de position est donc nulle à chaque instant.

III.1 ARCHITECTURE DE LA CHAINE FONCTIONNELLE RELATIVE A L'AXE DE TANGAGE

La description de la nacelle au langage SysML est fournie dans le dossier ressources.

Activité 7 Identification des composants

- A partir de la description SysML et en particulier des diagrammes de définition des blocs et de blocs internes, repérer les différents constituants et les localiser sur le système.
- A l'aide du diagramme de blocs internes, compléter le schéma du document réponse en indiquant les composants remplissant les différentes fonctions génériques des chaînes d'information et d'énergie de la chaîne fonctionnelle associée à l'axe de tangage.

On donne en annexe 1 un schéma-bloc représentant le principe de la commande asservie en tangage. Les différentes notations sont précisées sur ce document.

Activité 8 Analyse et validation de la structure du schéma-bloc

- Sur le système repérer le module AHRS ? Quelle(s) grandeur(s) mesure-t-il ?
- Justifier la structure du modèle proposé en annexe 1. Expliquer notamment le rôle du comparateur de droite.

III.2 STRUCTURE ET MODELISATION DU CORRECTEUR

Le correcteur utilisé pour l'asservissement est de type PID (Proportionnel, Intégral et Dérivé).

Il permet de définir la commande du moteur brushless $c_{mT}(t)$ à partir de l'écart $\varepsilon(t)$ mesuré entre la consigne filtrée et la mesure faite par le module AHRS selon la relation suivante :

$$\boxed{c_{mT}(t) = KP.\varepsilon(t) + KI.\int_0^t \varepsilon(t).dt + KD.\frac{d\varepsilon(t)}{dt}}$$

où KP, KI et KD sont 3 constantes positives réglables

On modélise le module AHRS par un gain unitaire et on suppose que $\theta_{Tr/Rg}(t) = 0$ (consigne de position nulle).

Activité 9 Modélisation du correcteur

- Par application de la transformation de Laplace à l'équation ci-dessus, exprimer $C_{mT}(p)$ en fonction de $\varepsilon(p)$.
- A partir de l'annexe 1, exprimer $\varepsilon(p)$ en fonction de $\Theta_{T/Rg}(p)$.
- Justifier alors que le schéma-bloc présenté en annexe 2 est bien équivalent à celui de l'annexe 1.
- Donner deux raisons qui justifient le choix de ce schéma plutôt que celui proposé en annexe 1.

III-IDENTIFICATION DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE DU MOTEUR BRUSHLESS ET DE L'AXE

Objectif : Il s'agit dans cette partie de proposer un modèle dynamique du moteur brushless et de l'axe de tangage par identification de sa réponse temporelle.

IV.1 INTRODUCTION AU MOTEUR BRUSHLESS

Le correcteur utilisé pour l'asservissement est de type PID (Proportionnel, Intégral et Dérivé).

Activité 10 Le moteur brushless

- Sur l'ordinateur, relancer si nécessaire l'application « Gimbless – EMP » .
- Cliquer sur EN SAVOIR PLUS puis sélectionner Moteur Brushless.
- Visualiser les animations proposées qui permettent de découvrir et de comprendre le fonctionnement d'un moteur brushless.

Pour simplifier, pour piloter un moteur brushless, on commande un angle appelé « angle de phase » qui définit les amplitudes de chacun des 3 signaux sinusoïdaux (voir animation « commande moteur »).

Cet angle est défini modulo 2π entre $-\pi$ et $+\pi$. Il correspond à la grandeur C_{mT} sur le schéma-bloc.

Le moteur possédant 11 paires de pôles magnétiques, lorsque que l'angle de phase passe de $-\pi$ à $+\pi$, l'angle « mécanique » du moteur aura varié de 1/11ème de tour. Pour un angle de phase donné, il y aura donc 11 positions d'équilibres possibles.

IV.2 IDENTIFICATION DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE DU MOTEUR

Il s'agit ici de proposer un modèle comportement pour la chaîne d'énergie composée du moteur brushless, de son pré-actionneur et de la structure de l'axe de tangage.

Pour cela, on se propose de solliciter le moteur en boucle ouverte en agissant directement sur l'angle de phase.

On utilise pour cela le mode 3 de commande de la nacelle dans lequel l'angle de phase est constant et n'est plus fonction de la mesure réalisée par le module AHRS.

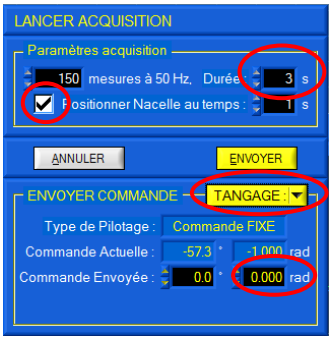
Activité 11 Préparation de la mesure : utilisation du mode 3

- Dans l'application « Interface Gimbless » , la nacelle étant sur son support, cliquer sur Aligner AHRS.
- Vérifier que le mode 1 (Stabilisation) est actif : Mode 1 Actif.
- Mettre en marche les moteurs Moteurs 0 1.
- Attendre que la nacelle se stabilise et choisir à présent le mode 3 (fixe) : Mode 3 Actif .
- La nacelle toujours sur son support, manipuler à la main l'appareil pour « sentir » les différentes positions d'équilibres possibles.
- Après la manipulation, repositionner l'appareil à l'horizontal.

Activité 12 Réponse temporelle à un échelon de phase

- Cliquer sur l'icône « Acquisition » .
- Cliquer sur « Paramètres d'affichage » .

- Cliquer sur « Charger configurations » , puis choisir le fichier « Identification tangage.gblaff ».
- Cliquer sur « Quitter » .
- Cliquer sur « Lancer acquisition » .
- Régler les paramètres indiqués ci-contre :
  - ✓ durée d'acquisition sur 3 s ;
  - ✓ case « Positionner Nacelle au temps 1 s » cochée ;
  - ✓ axe de tangage sélectionné ;
  - ✓ « Commande envoyée » à 0 rad.



- Cliquer sur ENVOYER. Cette première manipulation permet de caler à 0 l'angle de phase.
- A l'affichage du message de fin d'acquisition, cliquer sur NON.
- Recommencer avec une commande de –1 rad. Arrêter les moteurs en fin d'acquisition.

Activité 13 Modèle de comportement de la chaîne d'énergie

- En analysant la réponse obtenue, justifier qu'il est envisageable de modéliser ce comportement par un modèle d'ordre 2 fondamental de la forme $M_{T\Theta}(p)=\dfrac{\Theta_{T/P}(p)}{C_{mT}(p)}=\dfrac{K_T}{1+\dfrac{2.\xi_T}{\omega_{0T}}.p+\dfrac{p^2}{\omega_{0T}^2}}$.
- A partir du tracé obtenu, déterminer les paramètres caractéristiques de cette fonction de transfert. On considèrera ici que la commande est un échelon unitaire **positif**.
- Quelle relation peut-on écrire entre $M_{T\Theta}(p)$ et $M_{T\Omega}(p)$ (voir annexe 2) ?

IV-VALIDATION DU MODELE DE L'ASSERVISSEMENT EN STABILISATION

Objectif : Il s'agit dans cette partie de vérifier la validité du modèle construit pour l'asservissement en stabilisation.

IV.1 PERFORMANCES SIMULEES

Activité 14 Analyse de la modélisation sous Scilab

- Lancer le logiciel Scilab, lancer le module Xcos en cliquant sur puis ouvrir le fichier « Boucle tangage – Brushless simplifié.zcos ».
- Analyser ce modèle et le comparer à celui de l'annexe 2.
- Faire un clic droit sur la zone de travail, puis choisir « Modifier le contexte » et compéter les valeurs manquantes du modèle.
- Donner la forme de la perturbation en tangage imposée (vitesse de tangage des poignées).

Activité 15 Performances simulées et validation du modèle

- Lancer une simulation en cliquant sur .
- Analyser le tracé obtenu et le comparer à celui de l'activité 5.
- Conclure sur la qualité du modèle.

IV.2 MODELE DE CONNAISSANCE DU MOTEUR BRUSHLESS

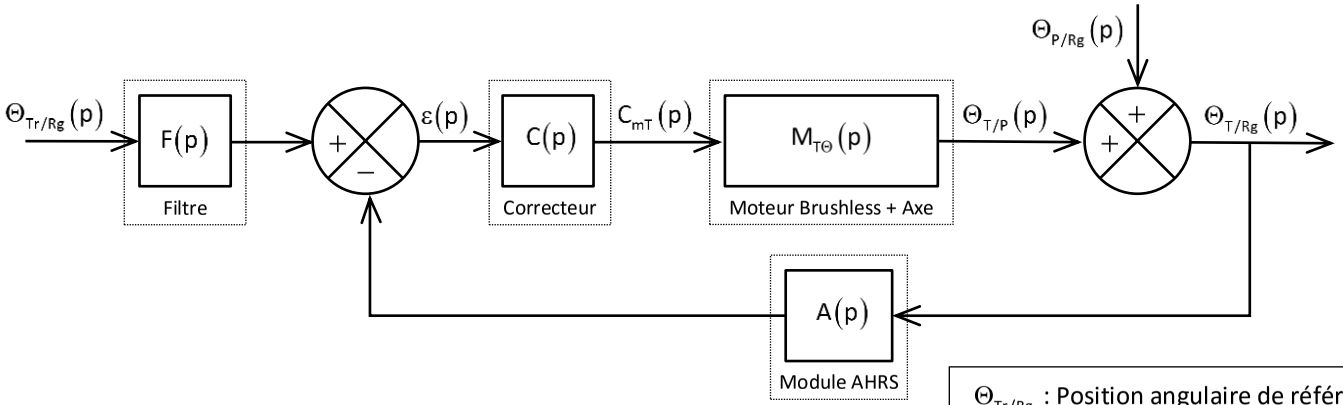
Afin d'affiner les résultats de la simulation, on se propose de travailler sur un modèle plus élaboré du moteur brushless.

Dans ce modèle, on traduit la « physique » du composant : le moteur brushless engendre un couple moteur qui est fonction de l'écart entre l'angle de phase et « l'angle électrique » correspondant au 11ème de l'angle mécanique du rotor.

Activité 16 Performances du nouveau modèle

- Sous Xcos, ouvrir le fichier « Boucle tangage – Brushless complet.zcos ».
- Analyser ce modèle.
- Lancer la simulation et comparer le résultat à celui obtenu avec le précédent modèle ainsi qu'à celui de l'activité 5.
- Conclure sur la qualité de ce nouveau modèle.

Annexe 1 : principe de la commande asservie en stabilisation de l'axe de tangage (ni roulis, ni lacet)



Notations

$\Theta_{Tr/Rg}$: Position angulaire de référence par rapport au Galiléen (consigne nulle ici)

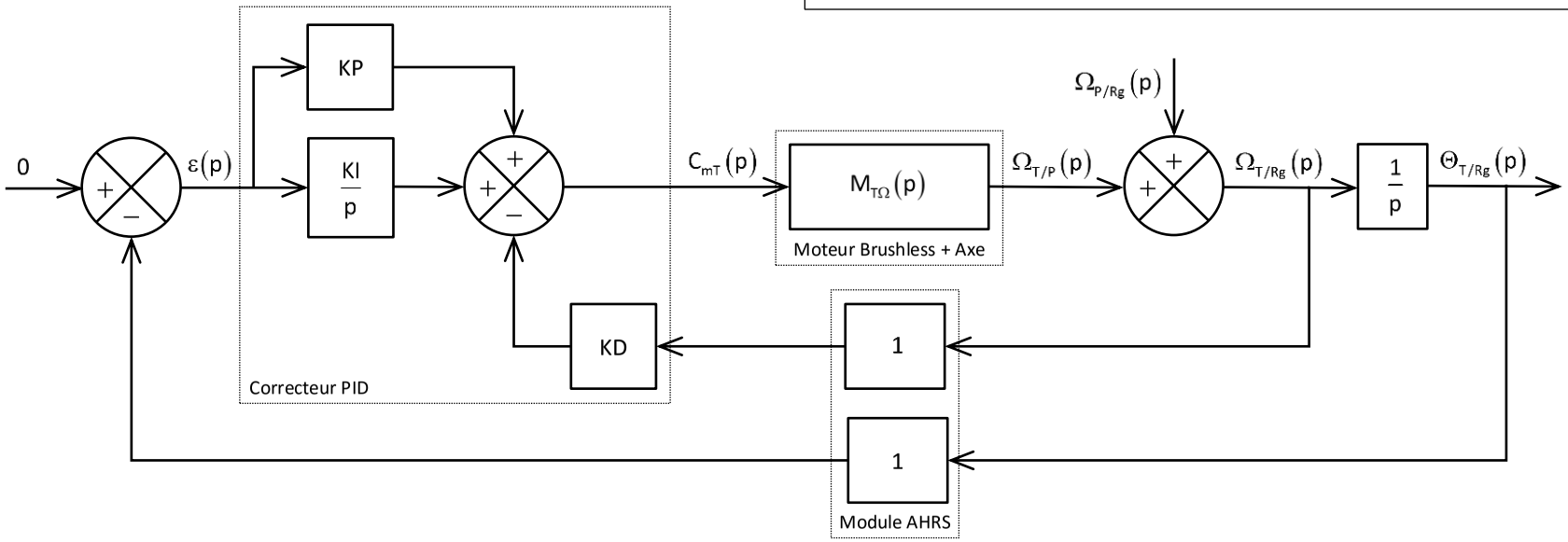
$\Theta_{T/P}$, $\Omega_{T/P}$: Position, vitesse angulaire de l'appareil par rapport à l'ensemble "poignées"

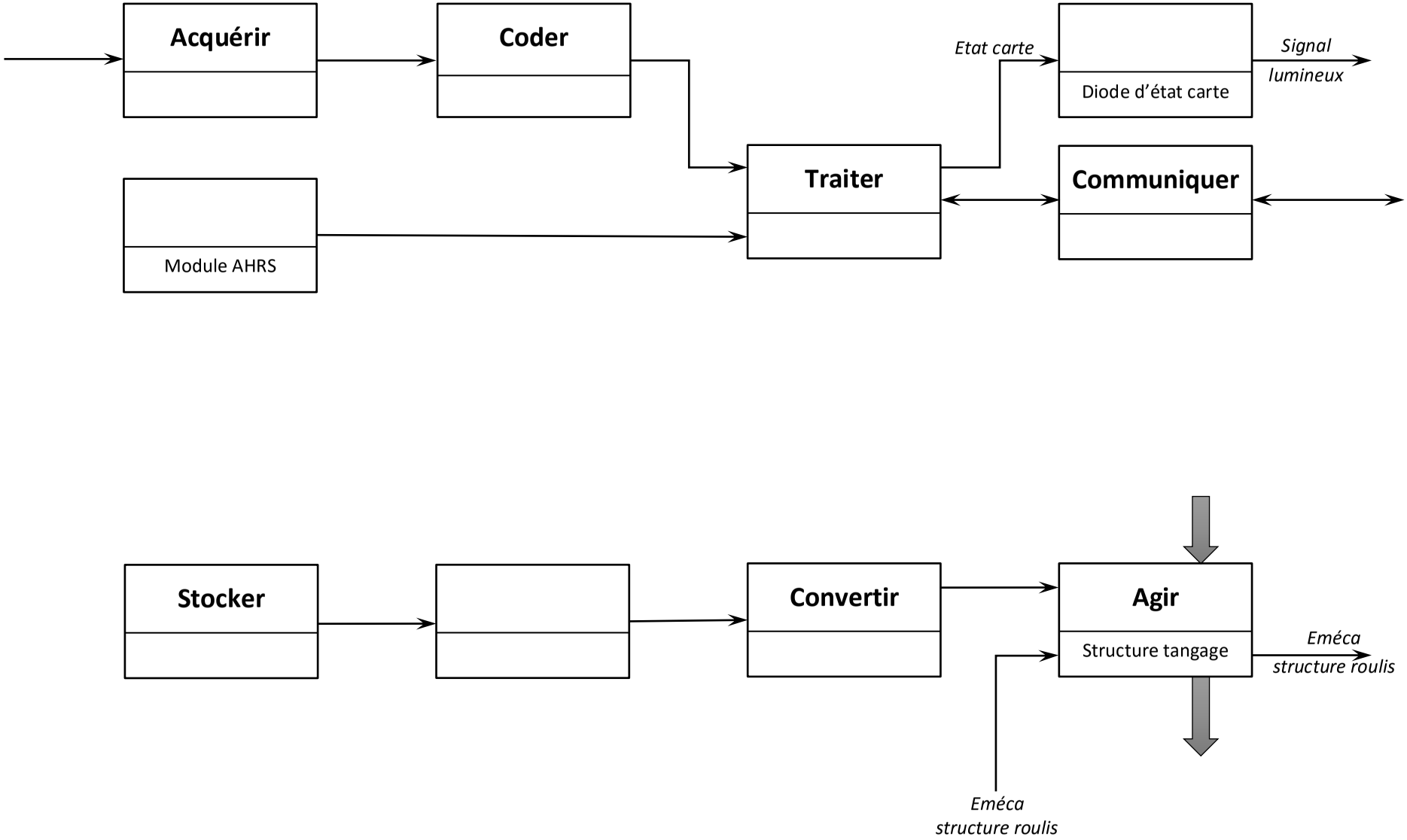
$\Theta_{P/Rg}$, $\Omega_{P/Rg}$: Position, vitesse angulaire de l'ensemble "poignées" par rapport au Galiléen

$\Theta_{T/Rg}$, $\Omega_{T/Rg}$: Position, vitesse angulaire de l'appareil par rapport au Galiléen

C_{mT} : Commande (phase) du moteur brushless

Annexe 2 : schéma bloc de la commande effective en stabilisation de l'axe de tangage (ni roulis, ni lacet)




Acquérir
Coder
Etat carte
Signal lumineux
Diode d'état carte
Traiter
Communiquer
Module AHRS
Stocker
Convertir
Agir
Structure tangage
Eméca structure roulis
Eméca structure roulis

TP 1.3

ANALYSE DES PERFORMANCES CINEMATIQUES DE LA CHAINE DE MESURE

COMPETENCES VISEES

- Analyser les architectures fonctionnelle et structurelle
- Modéliser le comportement cinématique
- Paramétrer les mouvements d'un solide indéformable
- Analyser la chaîne de mesure
- Justifier et mettre en œuvre une chaîne d'acquisition
- Traiter et exploiter les données de mesure
- Mettre en œuvre un filtrage numérique
- Compléter et mettre en œuvre un programme Python

PRE-REQUIS

- Langage SysML : exigences ; cas d'utilisation ; définition des blocs ; blocs internes ; séquences.
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaîne fonctionnelle ; système asservi ; consigne et réponse ; chaine d'information et d'énergie.
- Cahier des charges fonctionnel : performances.
- Modélisation cinématique : schématisation et paramétrage
- Notions de filtrage : passe-bas et passe-haut du premier ordre
- Langage Python : structures algorithmiques élémentaires, manipulations des listes, fonctions, module numpy, intégration par la méthode des rectangles, tracé de courbes par module pyplot.matplotlib.

SITUATION DANS LE PROGRESSION

Première année – Second semestre

MATERIEL MIS EN ŒUVRE

- Nacelle gyrostabilisée Gimbless
- Interface Homme / Machine Gimbless (IHM)
- Environnement Multimédia Pédagogique (EMP)

PRESENTATION DU SYSTEME

Le système étudié est une nacelle gyrostabilisée.

Ce dispositif permet la prise de vue en mouvement à l'aide d'un appareil photo ou d'une caméra. Il permet de conserver l'orientation de l'objectif indépendemment des mouvements du caméraman. Cette technologie remplace avantageusement les anciennes « Steadycam » lourdes et encombrantes ; elle est également utilisée pour la gyrostabilisation caméras équipant les drones.

Le modèle étudié permet la stabilisation spatiale suivant 3 axes : roulis, tangage et lacet. Il est également possible de piloter manuellement les mouvements de l'appareil à l'aide d'un joystick tout en conservant une stabilisation de l'image garantissant la qualité des prises de vues.

Le système du laboratoire est équipé d'un appareil factice possédant les mêmes caractérisitques inertielles qu'un appareil réflex professionnel. En utilisation réel, le caméraman dispose d'un retour d'image sur un écran déporté lui permettant ainsi un contrôle total du cadrage.

La gyrostabilisation est assurée à l'aide de 3 moteurs brushless pilotés par une carte de commande spécifiques conçue par la NAVEOL, entreprise française spécialisée dans le secteur.

La description SysML du système est proposée dans le dossier ressource.

OBJECTIFS DU TP

Ce TP vise à :

- ✓ Prendre en main le système afin de mettre en évidence les principales fonctionnalités
- ✓ Analyser la chaîne d'acquisition
- ✓ Proposer une modélisation cinématique
- ✓ Analyser le paramétrage de la position de la nacelle
- ✓ Mettre en œuvre un programme Python de récupération des données mesurées
- ✓ Proposer et mettre en œuvre un traitement des données brutes afin de déterminer la position de la nacelle
- ✓ Analyser l'écart entre les performances de la chaîne d'acquisition constructeur et celles du programme Pyhton

I- PRISE EN MAIN ET ANALYSE DE LA CHAINE D'ACQUISITION

Objectif : Il s'agit dans cette partie de découvrir les principales fonctionnalités du système

Dans tout le TP, on utilise les dénominations « lacet », « tangage » et « roulis » pour définir les mouvements de la nacelle par rapport au sol ainsi que les mouvements de l'appareil par rapport à la nacelle. La figure 1 illustre ces 3 axes :

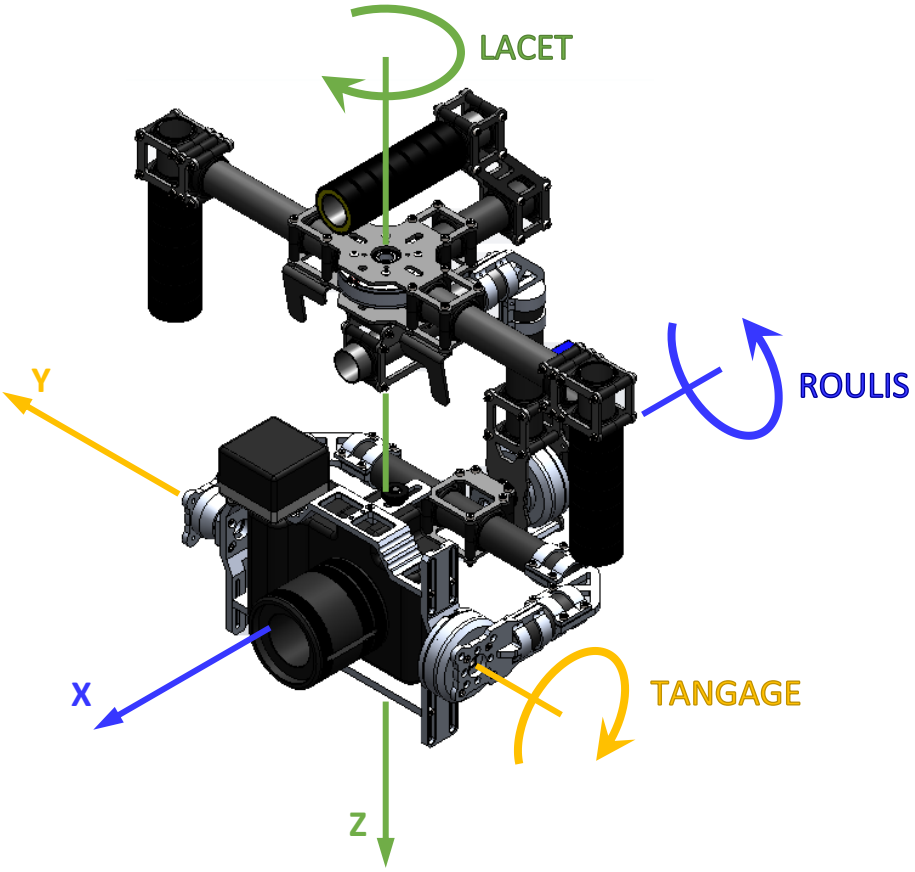


Figure 1 : appellation des axes de rotations

I.1 PRISE EN MAIN

Activité 1 Mise en marche la nacelle

- Sur l'ordinateur, lancer l'application « Gimbless – EMP » .
- Cliquer sur LE CONTEXTE et visualiser quelques secondes de la vidéo « Nacelle à main ».
- Revenir au menu principal et cliquer sur UTILISATION .
- Choisir MISE SOUS TENSION et suivre la procédure indiquée.
- Cliquer alors sur et suivre la procédure d'activation du mode « Stabilisation ».
- Prendre en main la nacelle comme illustré sur la vidéo et tester le fonctionnement en mode stabilisation en réalisant des mouvements autour des 3 axes (voir figure 1).
- Reposer la nacelle sur son support puis maintenir appuyé le joystick jusqu'à extinction des moteurs.

Remarque importante : en l'absence de commande, on observe une dérive (un décalage) progressive de l'axe de lacet. Cela est dû à la technologie utilisée pour la mesure. En utilisation réelle, le caméraman dispose d'un écran de contrôle de l'image et corrige l'axe de lacet à l'aide du joystick.

I.2 ANALYSE DE LA CHAINE D'ACQUISITION

La description de la nacelle au langage SysML est fournie dans le dossier ressources.

L'orientation des axes de la nacelle est appelée « attitude ». Pour mesurer cette attitude, le constructeur a choisi d'utiliser un capteur appelé module AHRS pour « Attitude and Heading Reference System ».

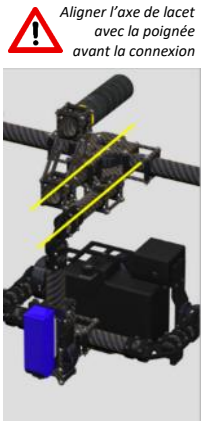
Activité 2 Identification du capteur AHRS

- A l'aide de description SysML, et notamment des diagrammes de blocs internes de la nacelle, repérer le module AHRS sur le système.
- A l'aide de l'application « Gimbless – EMP » , rechercher et visualiser la documentation technique relative à ce capteur.
- Quelles sont les grandeurs mesurées par le capteur AHRS ?

I.3 MISE EN ŒUVRE DE L'INTERFACE HOMME MACHINE (IHM) – GRANDEURS MESUREES

L'interface de commande et d'acquisition de la Gimbless permet de visualiser et de récupérer les signaux mesurés par le module AHRS.

Activité 3 Mise en œuvre de l'IHM



- Sur l'ordinateur, lancer l'application « Interface Gimbless » .
- La nacelle sur son support, cliquer sur Connexion 0 1, valider le port COM et cliquer sur CONNEXION .
- Suivre les consignes à l'écran et valider à chaque étape en cliquant sur OK.
- Aligner l'axe de lacet sur la poignée supérieure (voir illustration ci-contre) et cliquer sur Aligner AHRS.
- La nacelle étant toujours sur son support, manipuler directement l'appareil factice et observer à l'écran la variation des angles d'attitude : tangage, roulis et lacet.

Les données d'attitude ne sont pas directement mesurées par le module AHRS. Elles sont déduites de grandeurs physiques brutes à l'aide d'un algorithme propriétaire et confidentiel du constructeur de la carte NAV-STAB.

Activité 4 Données brutes mesurées par le module

- Cliquer sur « Paramètres d'affichage » .
- Cliquer sur « Charger configurations » , puis choisir le fichier « Visualisation AHRS.gblaff ».
- Cliquer sur « Quitter » .
- Cliquer sur « Visualisation dynamique » .
- Manipuler l'appareil factice et observer la variation des grandeurs affichées. A quoi correspondent-elles ?
- Cliquer à nouveau sur « Paramètres d'affichage » .
- Décocher les variables Gx, Gy et Gz. Puis cocher les variables Ax, Ay, Az.
- Manipuler à nouveau l'appareil factice et observer la variation des grandeurs affichées. A quoi correspondent-elles ?

II- MODELISATION CINEMATIQUE – PARAMETRAGE DE LA POSITION DE LA NACELLE

Objectif : Il s'agit dans cette partie d'analyser la structure cinématique de la nacelle, d'identifier le paramétrage proposé et de montrer comment l'attitude peut être déduite des données mesurées.

II.1 SCHEMATISATION CINEMATIQUE DE LA NACELLE

On donne en fin de sujet un document réponse présentant une schématisation cinématique incomplète.

Activité 5 Identification des composants

- A partir de l'analyse des degrés de libertés de la nacelle, compléter le document réponse par les symboles des liaisons normalisées manquantes.

Le paramétrage retenu est indiqué sur le document réponse.

Activité 6 Analyse du paramétrage

- A partir de la définition des angles proposée sur le document réponse, tracer les figures planes de changement de bases relatives à chacune des rotations.

II.2 RELATIONS MESURES GYROMETRE / ANGLES D'ATTITUDE

Il s'agit ici de montrer qu'il est possible de retrouver les angles d'attitude à partir des mesures fournies par le gyromètre contenu dans le module AHRS.

Pour simplifier les développements, on considèrera dans cette partie que **l'angle de lacet est constant** et que le **sous-ensemble POIGNEE est immobile** par rapport au référentiel galiléen associé à la Terre. On ne considère donc que des mouvements des axes de tangage et de roulis.

On note : $\vec{\Omega}(T/R_g) = \vec{\Omega}(T/P) = \dot{\theta}_L.\vec{z}_L + \dot{\theta}_R.\vec{x}_R + \dot{\theta}_T.\vec{y}_T = \dot{\theta}_R.\vec{x}_R + \dot{\theta}_T.\vec{y}_T$ avec ici $\dot{\theta}_L = 0$

Le gyromètre mesure $\boxed{\vec{\Omega}(T/R_g) = \Omega_x.\vec{x}_T + \Omega_y.\vec{y}_T + \Omega_z.\vec{z}_T}$ avec $\Omega_x = Gx$, $\Omega_y = Gy$ et $\Omega_z = Gz$ (notations IHM).

Activité 7 Relations gyromètre/attitude

- Exprimer $\vec{\Omega}(T/P)$ en fonction de $\dot{\theta}_R$, $\dot{\theta}_T$ et θ_T en projection dans la base $(\vec{x}_T, \vec{y}_T, \vec{z}_T)$.
- En déduire comment retrouver les angles θ_R et θ_T à partir de Ω_x, Ω_y et Ω_z.

II.3 RELATIONS MESURES ACCELEROMETRE / ANGLES D'ATTITUDE

Il s'agit ici de montrer qu'il est possible de retrouver les angles d'attitude à partir des mesures fournies par l'accéléromètre contenu dans le module AHRS.

On se propose ici d'illustrer le principe retenu pour le traitement des données. On se placera donc dans un premier temps à l'équilibre dans une position quelconque. Le traitement précis des données en mouvement est trop complexe pour pouvoir être étudié dans le cadre de ce TP.

Un accéléromètre est en réalité un capteur d'effort : il mesure l'action mécanique exercée par le support sur lequel il est fixé (ici le sous-ensemble TANGAGE) et dont on souhaite connaitre l'accélération. En assimilant le module AHRS à un point matériel **G** et masse **m**, la relation fondamentale de la dynamique permet d'écrire :

$$\underbrace{m.g.\vec{z}_g}_{\text{Action de pesanteur}} + \underbrace{\vec{R}(T \rightarrow AHRS)}_{\text{Action mécanique (force) exercée par le support sur le module}} = m.\underbrace{\vec{\Gamma}(G/R_g)}_{\text{accélération du module par rapport au galiléen}} \quad \text{avec } \vec{z}_g \text{ vertical descendant.}$$

Le capteur mesure donc directement $\vec{R}(T \rightarrow AHRS) = m.\left(\vec{\Gamma}(G/R_g) - g.\vec{z}_g\right)$.

Connaissant **m**, il permet donc d'obtenir $\boxed{\vec{\Gamma}(G/R_g) - g.\vec{z}_g = A_x.\vec{x}_T + A_Y.\vec{y}_T + A_Z.\vec{z}_T}$

A l'équilibre, il mesure donc $\underline{-g.\vec{z}_g = A_x.\vec{x}_T + A_Y.\vec{y}_T + A_Z.\vec{z}_T}$

Activité 8 Relations accéléromètre/attitude

- En considérant $\vec{z}_g = \vec{z}_P$, exprimer A_X, A_Y et A_Z en fonction de g, θ_R et θ_T.
- En déduire comment retrouver les angles θ_R et θ_T à partir de A_X, A_Y et A_Z.

III-TRAITEMENT NUMERIQUE DES DONNEES DU MODULE AHRS

Objectif : Il s'agit dans cette partie de mettre en œuvre un programme Python permettant de récupérer les données d'acquisition du module AHRS et d'en déduire par traitement numérique l'angle de tangage.

Pour simplifier l'étude, on se propose de limiter le traitement des données à la détermination de l'angle de tangage. **Les axes de roulis et de lacet sont fixes** dans cette partie. Par ailleurs, le sous-ensemble POIGNEE est toujours sur son support et immobile par rapport au galiléen avec $\vec{z}_g = \vec{z}_P$.

Dans ces conditions, la partie précédente permet d'aboutir à : $\boxed{\theta_T = \int_0^t \Omega_Y.dt}$ et $\boxed{\theta_T = -\arctan\left(\frac{A_X}{A_Z}\right)}$.

III.1 RECUPERATION DES DONNEES DU MODULE AHRS

Il s'agit ici de mettre œuvre la procédure permettant de sauvegarder une mesure faite avec l'interface Gimbless, puis de récupérer et traiter les données à l'aide d'un script Python.

Activité 9 Acquisition des données AHRS

- Cliquer sur l'icône « Acquisition » .
- Cliquer sur « Paramètres d'affichage » .
- Cliquer sur « Charger configurations » , puis choisir le fichier « Mesures tangage.gblaff ».
- Cliquer sur « Quitter » .
- Cliquer sur « Lancer acquisition » .
- Régler les paramètres indiqués ci-contre :
  - ✓ durée d'acquisition sur 10 s ;
  - ✓ case « Positionner Nacelle au temps 1 s » décochée.

- Positionner l'appareil factice avec des angles de tangage, roulis et lacet proches de zéro.
- Cliquer sur ENVOYER, attendre 1 s, puis faire bouger à la main l'appareil factice selon l'axe de tangage uniquement en maintenant les axes de roulis et de lacet les plus immobiles possible.
- Cliquer alors sur « sauver » puis enregistrer le fichier sous le nom « activite_9 ». Noter le répertoire de sauvegarde.

Lors de la sauvegarde, l'interface Gimbless génère deux fichiers : un fichier *.gblacq spécifique à l'interface ; et un fichier *.csv contenant l'ensemble des données mesurées au format csv.

Le script Python « Mesures AHRS.py » permet la récupération des données du fichier csv. Il crée 10 listes contentant les grandeurs suivantes :

Nom de la liste	Variable mesurée ou calculée	Unité
T	Temps	s
Wx	**Ωx** : vitesse angulaire autour de l'axe de roulis **mesurée** par le gyromètre	rad/s
Wy	**Ωy** : vitesse angulaire autour de l'axe de tangage **mesurée** par le gyromètre	rad/s
Wz	**Ωz** : vitesse angulaire autour de l'axe de lacet **mesurée** par le gyromètre	rad/s
Ax	**Ax** : accélération suivant l'axe de roulis **mesurée** par l'accéléromètre	m/s^2
Ay	**Ay** : accélération suivant l'axe de tangage **mesurée** par le l'accéléromètre	m/s^2
Az	**Ay** : accélération suivant l'axe de lacet **mesurée** par le l'accéléromètre	m/s^2
QxNAV	θ_R : position angulaire autour de l'axe de roulis **calculée** par la carte Nav-Stab	rad
QyNAV	θ_T : position angulaire autour de l'axe de tangage **calculée** par la carte Nav-Stab	rad
QzNAV	θ_L : position angulaire autour de l'axe de lacet **calculée** par la carte Nav-Stab	rad

Activité 10 Récupération des données avec Python

- Lancer un éditeur Python et ouvrir le fichier « Traitement AHRS.py ».
- Modifier en ligne 7 le nom du répertoire de sauvegarde « rep_travail » utilisé en activité 9.
- Modifier en ligne 8 le nom du fichier de sauvegarde « nom_fichier = 'activite_9.csv' ».
- Exécuter le script et contrôler dans la console le contenu des listes.
- Dans la zone à compléter <u>## Tracés</u>, écrire des lignes de codes permettant de tracer les courbes représentant les évolutions temporelles de Ax, Az, Ωy et θ_T.
- Contrôler ces tracés avec ceux obtenus avec l'interface Gimbless.

III.2 TRAITEMENT DES DONNEES MESUREES

On rappelle que si les axes de roulis et de tangage sont fixes, alors : $\boxed{\theta_T = \int_0^t \Omega_Y.dt}$ et $\boxed{\theta_T = -\arctan\left(\frac{A_X}{A_Z}\right)}$.

Il est donc possible théoriquement de retrouver l'angle de tangage à partir de la vitesse angulaire Ω_Y **ou** à partir des accélérations A_X et A_Z.

Activité 11 Acquisition statique

- Positionner à la main l'appareil factice avec des angles de roulis et de lacet nuls et un angle de tangage quelconque mais non nul.
- En reprenant le protocole de l'activité 9, faire une acquisition de 10 s en laissant l'appareil immobile dans cette position.
- Sauvegarder la mesure sous le nom « activite_11 »

Activité 12 Traitement des données avec Python

- Dans l'éditeur Pyhon, modifier « nom_fichier » pour travailler sur le fichier « activite_11.csv »

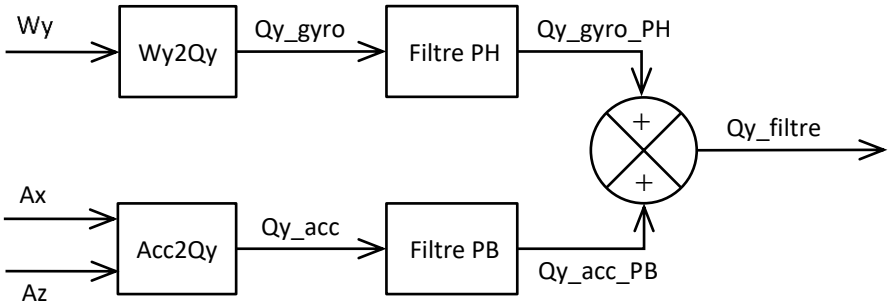
- Dans la zone ## Traitement des données, écrire les deux fonctions suivantes :
  - Une fonction **Wy2Qy** qui reçoit en arguments la liste des temps **T** et la liste des vitesses angulaires **Wy** et qui renvoie une liste des valeurs de l'angle de tangage obtenu par intégration de la vitesse angulaire. Cette liste sera nommée **Qy_gyro** et on utilisera la méthode des rectangles.
  - Une fonction **Acc2Qy** qui reçoit en arguments les listes des accélérations mesurées **Ax** et **Az** et qui renvoie une liste des valeurs de l'angle de tangage obtenu par la fonction arc tangente. Cette liste sera nommée **Qy_acc** et on utilisera la fonction arctan du module numpy.
- Dans la zone ## Tracés, écrire les lignes de codes permettant de tracer sur un même graphe :
  - L'angle de tangage **Qy_gyro** obtenu par la fonction **Wy2Qy**.
  - L'angle de tangage **Qy_acc** obtenue par la fonction **Acc2Qy**.
  - L'angle de tangage **QyNAV** calculé avec l'algorithme de la carte Nav-Stab.
- Exécuter le code pour les mesures de l'activité 11, puis pour celles de l'activité 9.
- Commenter les écarts obtenus vis-à-vis des performances attendues en mode stabilisation.

III.3 FILTRAGE DES DONNEES MESUREES

Les résultats précédents montrent que la mesure obtenue par l'accéléromètre est fortement bruitée mais avec une valeur moyenne qui semble correcte.

La mesure du gyromètre est moins bruitée mais l'intégration de celle-ci donne un signal qui « dérive ». Cette dérive est due au fait que la valeur moyenne de la vitesse n'est pas nulle (même à l'arrêt) en raison du bruit. En intégrant la vitesse, on intègre également le bruit ce qui provoque la dérive du signal. Par ailleurs, la valeur est obtenue à une constante près.

Afin d'obtenir une valeur correcte et exploitable de l'angle de tangage, une solution simple consiste à appliquer un filtre passe-bas à la valeur obtenue par les accélérations (pour filtrer le bruit), et un filtre passe-haut la valeur obtenue par le gyromètre (pour filtrer la dérive). En additionnant les deux signaux filtrés, on profite alors des atouts de chaque capteur et on gomme leurs inconvénients. Le schéma-bloc fonctionnel ci-dessous représente la méthode retenue :



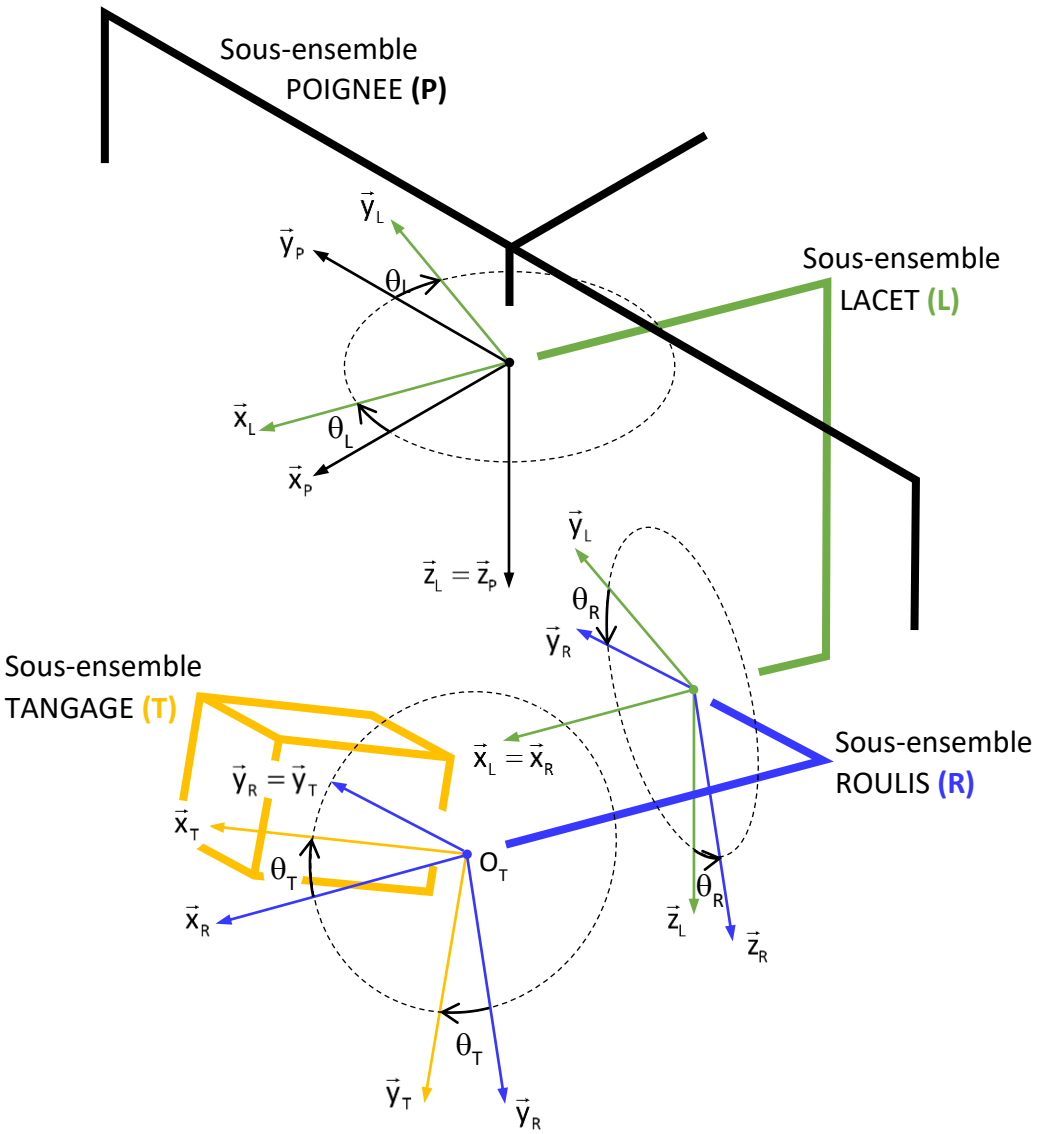
Pour le filtre **passe-haut**, on retient une fonction de transfert de la forme $F_{PH}(p)=\frac{S(p)}{E(p)}=\frac{1+\tau.p}{\tau.p}$ correspondant à la relation différentielle suivante : $\boxed{\tau\frac{ds(t)}{dt}=e(t)+\tau\frac{de(t)}{dt}}$. On prendra $\boxed{\tau=1\ s}$.

Pour le filtre **passe-bas**, on retient une fonction de transfert de la forme $F_{PB}(p)=\frac{S(p)}{E(p)}=\frac{1}{1+\tau.p}$ correspondant à la relation différentielle suivante : $\boxed{s(t)+\tau\frac{ds(t)}{dt}=e(t)}$. On prendra $\boxed{\tau=1\ s}$.

Activité 13 Filtrage des données avec Python

- Dans la zone ## Traitement des données, écrire les deux nouvelles fonctions suivantes :
  - Une fonction **Filtre_PH** qui reçoit en arguments la liste des temps **T**, une liste de données **X** et un flottant **tau** et qui renvoie la liste filtrée **X_PH** selon la relation différentielle définie ci-dessus. On utilisera la méthode d'Euler.
  - Une fonction **Filtre_PB** qui reçoit en arguments la liste des temps **T**, une liste de données **X** et un flottant **tau** et qui renvoie la liste filtrée **X_PB** selon la relation différentielle définie ci-dessus. On utilisera la méthode d'Euler.
- Dans la zone ## Tracés, écrire les lignes de codes permettant de tracer sur un même graphe :
  - L'angle de tangage **Qy_gyro_PH** obtenu par un filtre passe-haut appliqué à **Qy_gyro**.
  - L'angle de tangage **Qy_acc_PB** obtenu par un filtre passe-bas appliqué à **Qy_acc**.
  - L'angle de tangage **Qy_filtre = Qy_gyro_PH + Qy_acc_PB**.
  - L'angle de tangage **QyNAV** calculé avec l'algorithme de la carte Nav-Stab.
- Exécuter le code pour les mesures de l'activité 9, puis pour celles de l'activité 11.
- Commenter les écarts obtenus vis-à-vis des performances attendues en mode stabilisation.

Document réponse



TP 1.4

ANALYSE DE L'EQUILIBRAGE STATIQUE

COMPETENCES VISEES

- Analyser les architectures fonctionnelle et structurelle
- Modéliser le comportement statique d'une chaîne d'énergie
- Identifier les conditions d'équilibrage statique d'un solide
- Caractériser le centre d'inertie d'un solide

PRE-REQUIS

- Langage SysML, Chaînes fonctionnelles, Performances
- Schéma-bloc : fonction de transfert en chaine directe, fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée
- Modélisation des actions mécaniques
- Centre d'inertie
- Principe fondamental de la statique

SITUATION DANS LE PROGRESSION

Première année – Deuxième semestre

MATERIEL MIS EN ŒUVRE

- Nacelle gyrostabilisée Gimbless
- Interface Homme / Machine Gimbless (IHM)
- Environnement Multimédia Pédagogique (EMP)

PRESENTATION DU SYSTEME

Le système étudié est une nacelle gyrostabilisée.

Ce dispositif permet la prise de vue en mouvement à l'aide d'un appareil photo ou d'une caméra. Il permet de conserver l'orientation de l'objectif indépendemment des mouvements du caméraman. Cette technologie remplace avantageusement les anciennes « Steadycam » lourdes et encombrantes ; elle est également utilisée pour la gyrostabilisation caméras équipant les drones.

Le modèle étudié permet la stabilisation spatiale suivant 3 axes : roulis, tangage et lacet. Il est également possible de piloter manuellement les mouvements de l'appareil à l'aide d'un joystick tout en conservant une stabilisation de l'image garantissant la qualité des prises de vues.

Le système du laboratoire est équipé d'un appareil factice possédant les mêmes caractérisitques inertielles qu'un appareil réflex professionnel. En utilisation réel, le caméraman dispose d'un retour d'image sur un écran déporté lui permettant ainsi un contrôle total du cadrage.

La gyrostabilisation est assurée à l'aide de 3 moteurs brushless pilotés par une carte de commande spécifiques conçue par la NAVEOL, entreprise française spécialisée dans le secteur.

La description SysML du système est proposée dans le dossier ressource.

OBJECTIFS DU TP

Ce TP vise à :

- ✓ Prendre en main le système afin de mettre en évidence les principales fonctionnalités
- ✓ Analyser les exigences
- ✓ Vérifier l'équilibrage statique de la nacelle
- ✓ Analyser l'influence de la position de l'objectif
- ✓ Procéder à un équilibrage sur l'axe de tangage
- ✓ Définir une procédure d'équilibrage complète
- ✓ Analyser l'influence sur les performances d'un déséquilibre statique

I- PRISE EN MAIN ET ANALYSE DES PERFORMANCES ATTENDUES EN MODE STABILISATION

Objectif : Il s'agit dans cette partie de découvrir les principales fonctionnalités du système et d'analyser les performances en mode stabilisation.

Dans tout le TP, on utilise les dénominations « lacet », « tangage » et « roulis » pour définir les mouvements de la nacelle par rapport au sol ainsi que les mouvements de l'appareil par rapport à la nacelle. La figure 1 illustre ces 3 axes :

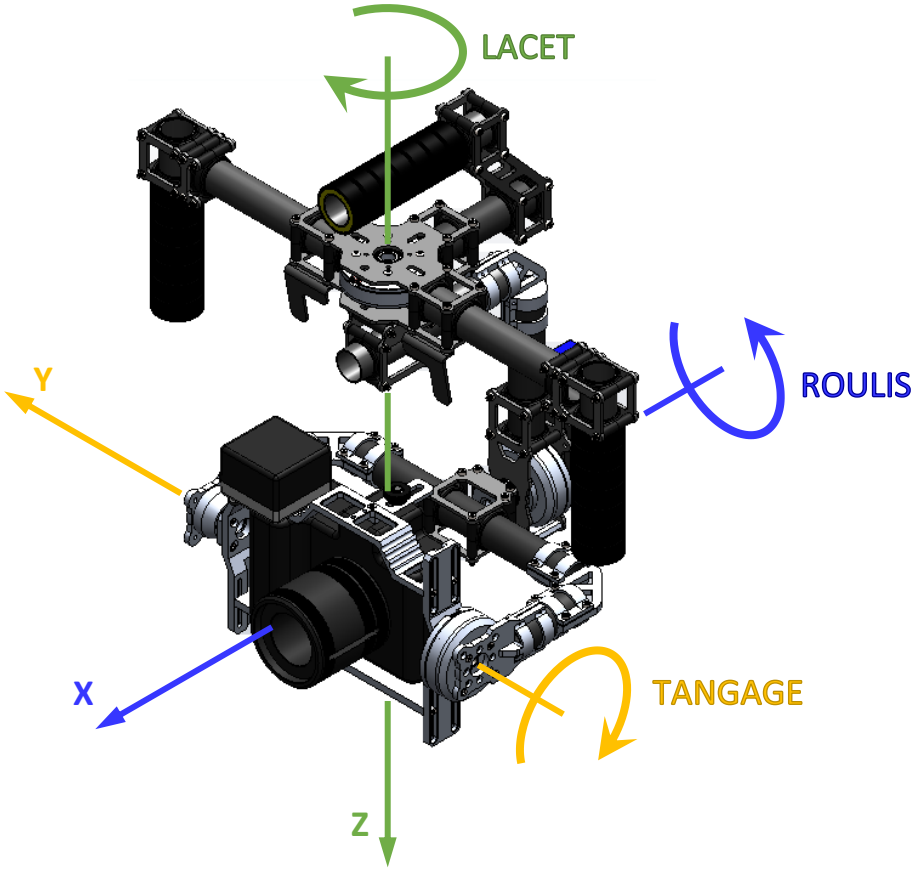


Figure 1 : appellation des axes de rotations

I.1 PRISE EN MAIN

Activité 1 Mise en marche la nacelle

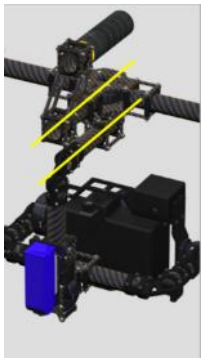
- Sur l'ordinateur, lancer l'application « Gimbless – EMP » .
- Cliquer sur LE CONTEXTE et visualiser quelques secondes de la vidéo « Nacelle à main ».
- Revenir au menu principal et cliquer sur UTILISATION .
- Choisir MISE SOUS TENSION et suivre la procédure indiquée.
- Cliquer alors sur et suivre la procédure d'activation du mode « Stabilisation ».
- Prendre en main la nacelle comme illustré sur la vidéo et tester le fonctionnement en mode stabilisation en réalisant des mouvements autour des 3 axes (voir figure 1).

Remarque importante : en l'absence de commande, on observe une dérive (un décalage) progressive de l'axe de lacet. Cela est dû à la technologie utilisée pour la mesure de l'assiette de l'appareil qui est très sensible aux perturbations électromagnétiques. En utilisation réelle, le caméraman dispose d'un écran de contrôle de l'image et corrige l'axe de lacet à l'aide du joystick.

Activité 2 Mise en œuvre de l'IHM

- Sur l'ordinateur, lancer l'application « Interface Gimbless » .
- La nacelle sur son support, cliquer sur Connexion 0 1, valider le port COM et cliquer sur CONNEXION.
- Suivre les consignes à l'écran et valider à chaque étape en cliquant sur OK.

Aligner l'axe de lacet avec la poignée avant la connexion



Comme observé lors de la prise en main, les perturbations électromagnétiques ont tendances à faire dériver les mesures effectuées par le module AHRS. Ne pas hésiter à refaire un alignement régulier de ce module si le fonctionnement semble non conforme : Aligner AHRS. Il faudra alors que la nacelle soit immobile pendant l'alignement du module et l'axe de lacet soit aligné avec celui de la poignée supérieure (voir ci-contre).

- Aligner l'axe de lacet sur la poignée supérieure et cliquer sur Aligner AHRS.
- Vérifier que le mode 1 (Stabilisation) est actif : Mode 1 Actif et mettre en marche les moteurs Moteurs 0 1.
- Prendre en main la nacelle hors de son support et effectuer quelques mouvements suivant les 3 axes. Observer les évolutions des grandeurs affichées sur l'interface. Couper les moteurs Moteurs 0 1.

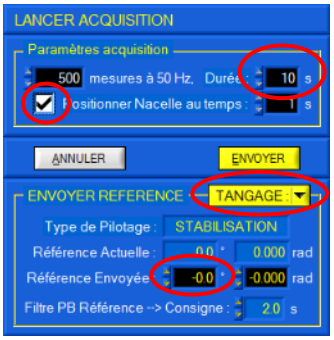
Les 3 axes de la nacelle possédant une structure de commande identique, on se propose dans la suite du TP de réduire l'étude à l'axe de tangage.

I.2 ANALYSE DES PERFORMANCES ATTENDUES EN MODE STABILISATION

Afin de garantir la qualité des mesures, les acquisitions seront réalisées avec la nacelle sur son support. On se propose dans cette configuration de provoquer un mouvement des poignées d'environ 45° suivant l'axe de tangage et d'analyser les réactions de la Gimbless.

Activité 3 Préparation de l'acquisition

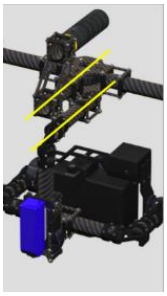
- Dans l'interface « Gimbless », cliquer sur « Paramétrer Axes Nacelle » .
- Dans l'onglet « Correcteur PID », vérifier que le réglage de l'axe de tangage est bien $KP = 100$; $KI = 800$; $KD = 2$. Dans le contraire, faites appel au professeur.
- Dans l'onglet « Choix Modes », vérifier que le mode 4 est bien en « commande fixe » sur l'axe de lacet et en « stabilisation » sur les axes de roulis et de tangage. Dans le contraire, faites appel au professeur.
- Quitter .
- Sélectionner le mode 4 (on fixe ici l'axe de lacet) : Mode 4 Actif
- Cliquer sur l'icône « Acquisition » .
- Cliquer sur « Paramètres d'affichage » .
- Cliquer sur « Charger configurations » , puis choisir le fichier « Performances TP14.gblaff ».
- Cliquer sur « Quitter » .
- Cliquer sur « Lancer acquisition » .



- Régler les paramètres indiqués ci-contre :
  - ✓ durée d'acquisition sur 10 s ;
  - ✓ case « Positionner Nacelle au temps 1 s » cochée ;
  - ✓ axe de tangage sélectionné ;
  - ✓ « Référence Envoyée » à 0°.

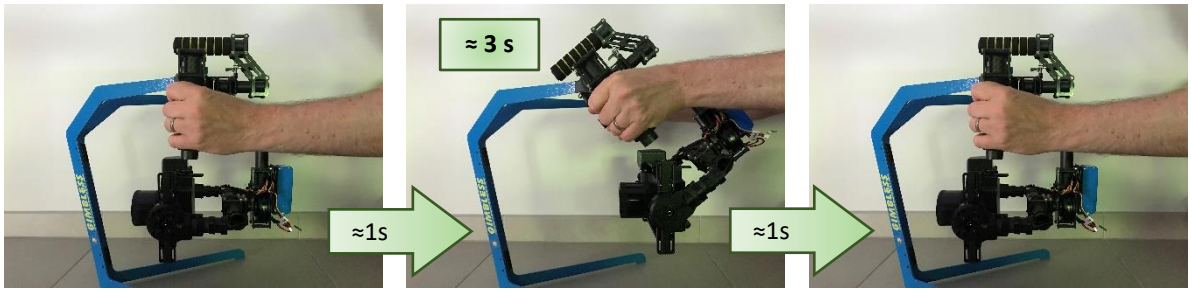
L'interface est prête pour l'acquisition.

En cliquant sur ENVOYER, l'acquisition commence après validation de la mise en marche des moteurs. Un alignement du module AHRS est alors systématiquement réalisé. **Ne pas toucher la nacelle pendant l'alignement (4s)**. La référence (consigne à 0° dans le cas de notre étude) est envoyée 1s après la fin de l'alignement. Il faudra donc **attendre au moins 1s supplémentaire** avant de solliciter la nacelle.



Activité 4 Acquisition avec une perturbation en tangage

- Aligner l'axe de lacet sur les poignées supérieures (voir illustration ci-contre).
- Cliquer sur ENVOYER et valider la mise en puissance des moteurs QUI.
- Ne pas toucher à la nacelle pendant l'alignement du module AHRS (4s environ).
- Attendre encore 3s environ et solliciter les poignées afin de tourner le sous-ensemble poignée de 45° en 1s environ ; conserver cette inclinaison pendant 3s environ puis ramener les poignées en position initiale (voir illustrations ci-dessous).



- A l'affichage du message de fin d'acquisition, cliquer sur QUI pour couper la puissance des moteurs.

Activité 5 Analyse des performances de l'axe de tangage

- A partir des courbes affichées, analyser les performances en précision de l'axe de tangage vis-à-vis des exigences figurant au cahier des charges (voir diagramme des exigences).
- Conclure sur l'écart entre les performances attendues et les performances mesurées.

II- EQUILIBRAGE STATIQUE DE LA NACELLE

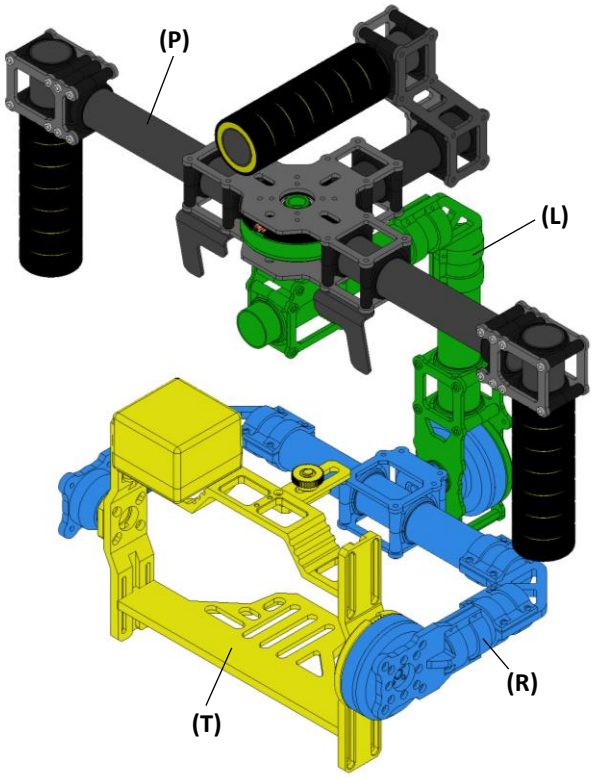
Objectif : Il s'agit dans cette partie de poser la condition d'équilibre statique et de la vérifier. On analysera également l'influence de la position de l'objectif.

Le constructeur préconise que la nacelle soit équilibrée statiquement avant utilisation. La suite du TP se propose de définir la condition d'équilibrage statique ainsi que les moyens permettant de le garantir.

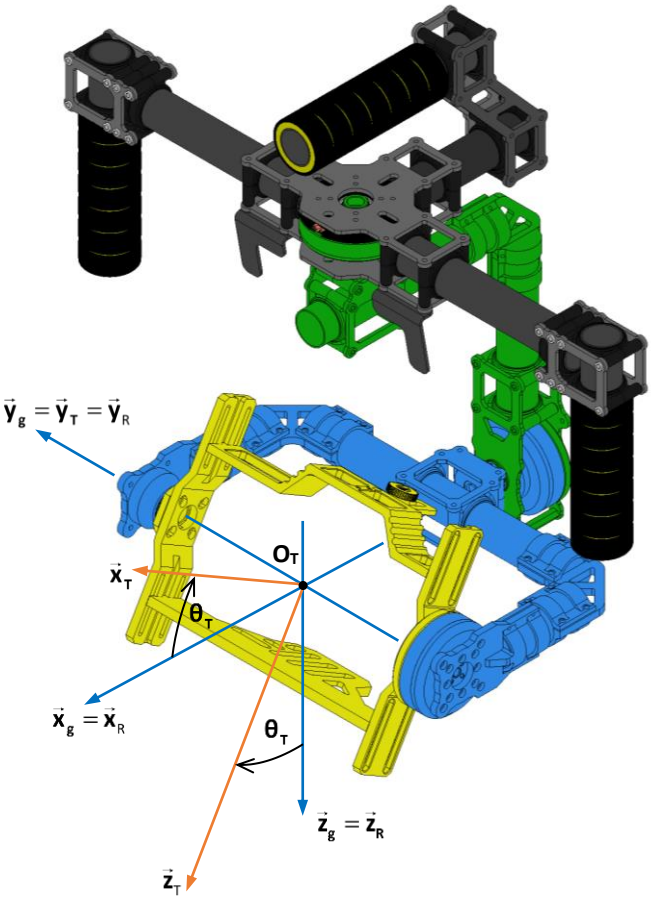
II.1 PARAMETRAGE

Le système Gimbless se compose des éléments suivants illustrés sur la figure ci-dessous :

- Ensemble Poignées (P)
- Ensemble Lacet (L)
- Ensemble Roulis (R)
- Ensemble Tangage (T)

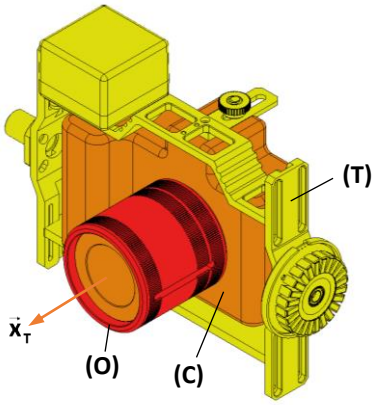


Pour cette partie, on ne considère que le mouvement de tangage. Les poignées et les ensemble lacet et roulis sont supposés fixes par rapport au galiléen. On adopte le paramétrage suivant :



- O_T est le point d'intersection des axes de roulis et de tangage.
- Le repère $(O_T, \vec{x}_R, \vec{y}_R, \vec{z}_R)$ est associé à l'ensemble de roulis (R).
- Le repère $(O_T, \vec{x}_T, \vec{y}_T, \vec{z}_T)$ est associé à l'ensemble de tangage (T) avec $\vec{y}_T = \vec{y}_R$.
- On définit $\theta_T = (\vec{x}_R, \vec{x}_T) = (\vec{z}_R, \vec{z}_T)$ l'angle de tangage.
- On se place dans le cas particulier où les ensembles poignées, lacet et roulis sont fixes par rapport au galiléen et tels que : $(\vec{x}_R, \vec{y}_R, \vec{z}_R) = (\vec{x}_g, \vec{y}_g, \vec{z}_g)$; avec $(\vec{x}_g, \vec{y}_g, \vec{z}_g)$ une base fixe par rapport au galiléen et telle que $\vec{z}_g$ soit vertical descendant.

L'ensemble de tangage supporte la caméra (C) munie de son objectif (O). Voir illustration ci-contre.

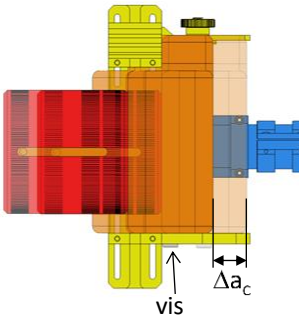


La caméra est fixée sur l'ensemble de tangage à l'aide d'une vis se trouvant sur sa face inférieure. Sa position est réglable suivant la direction $\vec{x}_T$ avant serrage de la vis.

Lors de l'utilisation, l'objectif peut se déplacer par rapport à la caméra suivant la direction $\vec{x}_T$.

On note :

- $\mathbf{m_T}$ la masse de l'ensemble de tangage **(T)** et $\mathbf{G_T}$ son centre d'inertie tel que $\overrightarrow{O_TG_T} = a_T.\vec{x}_T + b_T.\vec{y}_T + c_T.\vec{z}_T$. $\mathbf{a_T}$, $\mathbf{b_T}$ et $\mathbf{c_T}$ sont des constantes.
- $\mathbf{m_C = 1250\,g}$ la masse de la caméra sans objectif **(C)** et $\mathbf{G_C}$ son centre d'inertie tel que $\overrightarrow{O_TG_C} = a_C.\vec{x}_T + b_C.\vec{y}_T + c_C.\vec{z}_T$. $\mathbf{b_C}$ et $\mathbf{c_C}$ sont des constantes. $\mathbf{a_C}$ est ajustable après avoir desserré la vis situé sur la face inférieure.
- $\mathbf{m_O = 190\,g}$ la masse de l'objectif **(O)** et $\mathbf{G_O}$ son centre d'inertie tel que $\overrightarrow{G_CG_O} = a_O.\vec{x}_T + b_O.\vec{y}_T + c_O.\vec{z}_T$. $\mathbf{b_O}$ et $\mathbf{c_O}$ sont des constantes. $\mathbf{a_O}$ est variable en fonction de la position de l'objectif.
- $\mathbf{G_{TCO}}$ le centre d'inertie de l'ensemble $(\Sigma_T) = \{(T),(C),(O)\}$ tel que $\overrightarrow{O_TG_{TCO}} = a_{TCO}.\vec{x}_T + b_{TCO}.\vec{y}_T + c_{TCO}.\vec{z}_T$



II.2 CONDITION D'EQUILIBRAGE STATIQUE

Notion de cours de 2ème année : On dit qu'un solide est équilibré statiquement autour d'un axe s'il peut être en équilibre quelle que soit sa position angulaire autour de cet axe.

Activité 6 Vérification de l'équilibre statique de l'axe de tangage

- L'objectif étant rentré et les moteurs étant coupés, proposer et mettre en œuvre une manipulation simple sur la nacelle pour vérifier l'équilibrage statique de l'ensemble tangage + caméra + objectif. Conclure.
- Sortir l'objectif en dévissant la vis prévue à cet effet. Conclure.

Activité 7 Modélisation – Condition d'équilibrage statique

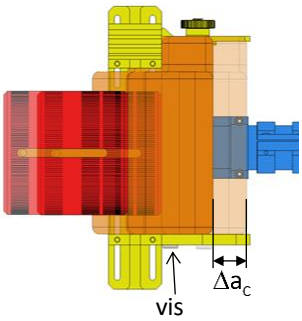
- Exprimer en fonction de a_{CTO}, b_{CTO}, c_{CTO}, m_T, m_C, m_O, g et θ_T le moment de l'action de pesanteur appliquée à l'ensemble $(\Sigma_T) = \{(T),(C),(O)\}$ au point O_T et suivant $\vec{y}_T$: $\vec{M}(O_T \rightarrow pes \rightarrow \Sigma_T).\vec{y}_T$.
- En déduire les conditions sur a_{CTO}, b_{CTO} et c_{CTO} permettant de garantir l'équilibrage statique de l'axe de tangage.
- Traduire ce résultat en une condition géométrique sur G_{CTO}.

II.3 PRISE EN COMPTE DE LA POSITION DE L'OBJECTIF ET EQUILIBRAGE

Activité 8 Influence de la position de l'objectif

- Exprimer les composantes a_{CTO}, b_{CTO} et c_{CTO} en fonction de a_T, b_T, c_T, a_C, b_C, c_C, a_O, b_O, c_O, m_T, m_C et m_O.
- On déplace l'objectif d'une distance Δa_O suivant $\vec{x}_T$. Justifier alors que l'ensemble de tangage ne soit plus équilibré.

Pour rééquilibrer l'axe de tangage objectif sorti, il est possible de déplacer l'ensemble caméra + objectif par rapport à l'ensemble de tangage suivant la direction $\vec{x}_T$.



Activité 9 Equilibrage

- On note Δa_C le déplacement de la caméra suivant la direction $\vec{x}_T$. Déterminer l'expression de Δa_C en fonction de Δa_O et des masses m_C et m_O permettant de rééquilibrer l'axe de tangage lorsque l'objectif est sorti d'une distance Δa_O .
- A l'aide d'un réglet, mesurer la distance Δa_O lorsque l'objectif est totalement sorti. En déduire la valeur numérique de Δa_C nécessaire au rééquilibrage de la nacelle.
- Desserrer légèrement la vis située sous la caméra et régler la nouvelle position de l'ensemble caméra + objectif. Resserrer la vis et tester l'équilibrage. Conclure.

II.4 PROCEDURE D'EQUILIBRAGE COMPLETE

Activité 10 Ordre d'équilibrage

- Sur la nacelle, il est possible d'équilibrer chacun des 3 axes (Lacet, Roulis et Tangage). Le constructeur préconise de régler l'équilibrage dans l'ordre suivant : tangage, roulis puis lacet. Justifier ce choix.

III-INFLUENCE DE L'EQUILIBRAGE SUR LES PERFORMANCES

Objectif : Il s'agit dans cette partie d'analyser l'influence d'un déséquilibre sur les performances du mode stabilisation.

Activité 11 Rééquilibrage objectif rentré

- Rentrer l'objectif et procéder au rééquilibrage de l'axe de tangage.

Activité 12 Performances objectif sorti

- Sortir à nouveau l'objectif (l'axe de tangage n'est plus équilibré).
- Reprendre la procédure des activités 3 et 4 et évaluer les performances de l'asservissement en tangage lorsque la nacelle n'est pas équilibrée.
- Conclure sur les performances en précision.
- Quelle performance sera altérée par le déséquilibre ?

TP 2.1

ANALYSE DE L'ARCHITECTURE ET PERFORMANCES DU MODE SUIVI

COMPETENCES VISEES

- Analyser l'architecture fonctionnelle et structurelle
- Analyser le schéma-bloc du système
- Identifier les conditions de validation d'un modèle
- Evaluer les performances
- Analyser l'influence d'un filtrage sur les performances
- Analyser l'influence des paramètres de correction

PRE-REQUIS

- Langage SysML : exigences ; cas d'utilisation ; définition des blocs ; blocs internes ; séquences.
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaîne fonctionnelle ; système asservi ; consigne et réponse ; chaine d'information et d'énergie.
- Cahier des charges fonctionnel : performances.
- Schéma-bloc : fonction de transfert en chaine directe, fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée
- Notions sur les correcteurs (fonction et typologie)

SITUATION DANS LA PROGRESSION

Deuxième année – Premier semestre

MATERIEL MIS EN ŒUVRE

- Nacelle gyrostabilisée Gimbless
- Interface Homme / Machine Gimbless (IHM)
- Environnement Multimédia Pédagogique (EMP)

PRESENTATION DU SYSTEME

Le système étudié est une nacelle gyrostabilisée.

Ce dispositif permet la prise de vue en mouvement à l'aide d'un appareil photo ou d'une caméra. Il permet de conserver l'orientation de l'objectif indépendemment des mouvements du caméraman. Cette technologie remplace avantageusement les anciennes « Steadycam » lourdes et encombrantes ; elle est également utilisée pour la gyrostabilisation caméras équipant les drones.

Le modèle étudié permet la stabilisation spatiale suivant 3 axes : roulis, tangage et lacet. Il est également possible de piloter manuellement les mouvements de l'appareil à l'aide d'un joystick tout en conservant une stabilisation de l'image garantissant la qualité des prises de vues.

Le système du laboratoire est équipé d'un appareil factice possédant les mêmes caractérisitques inertielles qu'un appareil réflex professionnel. En utilisation réel, le caméraman dispose d'un retour d'image sur un écran déporté lui permettant ainsi un contrôle total du cadrage.

La gyrostabilisation est assurée à l'aide de 3 moteurs brushless pilotés par une carte de commande spécifiques conçue par la NAVEOL, entreprise française spécialisée dans le secteur.

La description SysML du système est proposée dans le dossier ressource.

OBJECTIFS DU TP

Ce TP vise à :

- ✓ Prendre en main le système afin de mettre en évidence les principales fonctionnalités
- ✓ Analyser les exigences
- ✓ Analyser et comparer les structures des asservissements en mode stabilisation et suivi
- ✓ Validation des performances en mode suivi
- ✓ Analyser et valider la structure d'un modèle pour le mode suivi
- ✓ Identifier les conditions de validation du modèle
- ✓ Analyser l'influence du filtrage de la consigne
- ✓ Analyser l'influence des paramètres de correction
- ✓ Validation des performances du modèle.

I- PRISE EN MAIN ET ANALYSE DES PERFORMANCES EN MODE STABILISATION

Objectif : Il s'agit dans cette partie de découvrir les principales fonctionnalités du système et d'analyser les performances en mode stabilisation.

Dans tout le TP, on utilise les dénominations « lacet », « tangage » et « roulis » pour définir les mouvements de la nacelle par rapport au sol ainsi que les mouvements de l'appareil par rapport à la nacelle. La figure 1 illustre ces 3 axes :

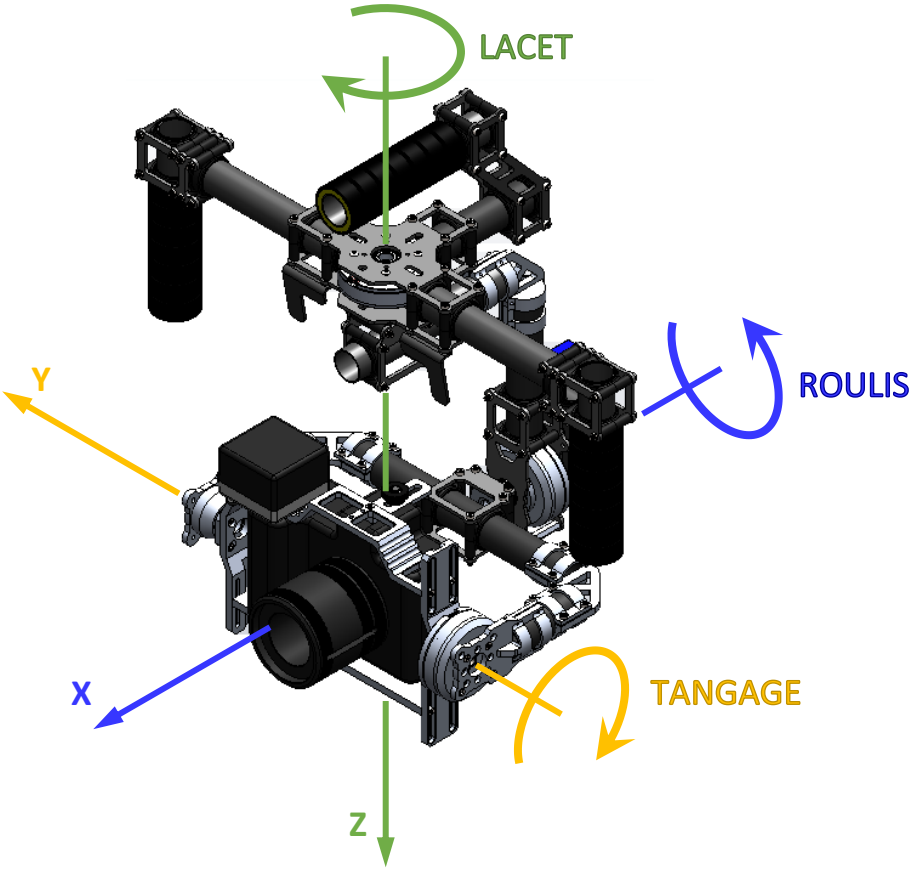


Figure 1 : appellation des axes de rotations

I.1 PRISE EN MAIN

Activité 1 Mise en marche la nacelle

- Sur l'ordinateur, lancer l'application « Gimbless – EMP » .
- Cliquer sur LE CONTEXTE et visualiser quelques secondes de la vidéo « Nacelle à main ».
- Revenir au menu principal et cliquer sur UTILISATION .
- Choisir MISE SOUS TENSION et suivre la procédure indiquée.
- Cliquer alors sur et suivre la procédure d'activation du mode « Stabilisation ».
- Prendre en main la nacelle comme illustré sur la vidéo et tester le fonctionnement en mode stabilisation en réalisant des mouvements autour des 3 axes (voir figure 1).

Remarque importante : en l'absence de commande, on observe une dérive (un décalage) progressive de l'axe de lacet. Cela est dû à la technologie utilisée pour la mesure de l'assiette de l'appareil qui est très sensible aux perturbations électromagnétiques. En utilisation réelle, le caméraman dispose d'un écran de contrôle de l'image et corrige l'axe de lacet à l'aide du joystick.

Activité 2 Sélection des modes

- Cliquer à nouveau sur et prendre connaissance des procédures de pilotage des angles et d'utilisation du mode « Suivi ».
- Tester ces modes de pilotage puis désactiver la nacelle par un appui long sur le joystick (> 2 s).
- Reposer la nacelle sur son support.

Précaution d'emploi : Après chaque protocole expérimental, la nacelle devra être désactivée (appui long sur la joystick) et reposée sur son support afin de ne pas l'endommager et d'économiser la batterie.

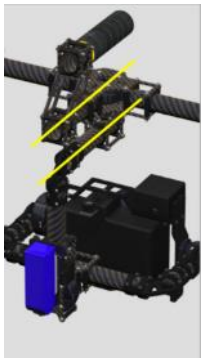
I.2 MISE EN ŒUVRE DE L'INTERFACE HOMME MACHINE (IHM)

Afin de comprendre la structure de l'asservissement retenu, on se propose d'utiliser l'interface de commande et d'acquisition de la Gimbless.

Activité 3 Mise en oeuvre de l'IHM

- Sur l'ordinateur, lancer l'application « Interface Gimbless » .
- La nacelle sur son support, cliquer sur Connexion 0 1, valider le port COM et cliquer sur CONNEXION.
- Suivre les consignes à l'écran et valider à chaque étape en cliquant sur OK.

Aligner l'axe de lacet avec la poignée avant la connexion



Comme observé lors de la prise en main, les perturbations électromagnétiques ont tendances à faire dériver les mesures effectuées par le module AHRS. Ne pas hésiter à refaire un alignement régulier de ce module si le fonctionnement semble non conforme : Aligner AHRS. Il faudra alors que la nacelle soit immobile pendant l'alignement du module et l'axe de lacet soit aligné avec celui de la poignée supérieure (voir ci-contre).

- Aligner l'axe de lacet sur la poignée supérieure et cliquer sur Aligner AHRS.
- Vérifier que le mode 1 (Stabilisation) est actif : Mode 1 Actif.
- Mettre en marche les moteurs Moteurs 0 1.
- Prendre en main la nacelle hors de son support et effectuer quelques mouvements suivant les 3 axes. Observer les évolutions des grandeurs affichées sur l'interface.
- Basculer en mode 2 (Suivi), effectuer quelques mouvements suivant les 3 axes et observer les évolutions des grandeurs affichées sur l'interface.
- Couper les moteurs Moteurs 0 1.

Les 3 axes de la nacelle possédant une structure de commande identique, on se propose dans la suite du TP de réduire l'étude à l'axe de tangage.

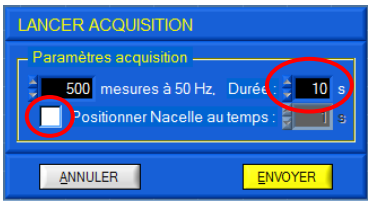
I.3 ANALYSE DE LA REPONSE A UNE PERTURBATION EN SUIVI

Afin de garantir la qualité des mesures, les acquisitions seront réalisées avec la nacelle sur son support. On se propose dans cette configuration de provoquer un mouvement des poignées d'environ 45° suivant l'axe de tangage et d'analyser les réactions de la Gimbless.

Afin de garantir une acquisition de qualité, on se propose de configurer la nacelle afin de verrouiller l'axe de lacet, de paramétrer l'axe de roulis en stabilisation et l'axe de tangage en suivi. Cette configuration permet d'isoler l'axe de tangage afin d'observer ses réactions en suivi sans couplage avec les autres axes.

Activité 4 Préparation de l'acquisition

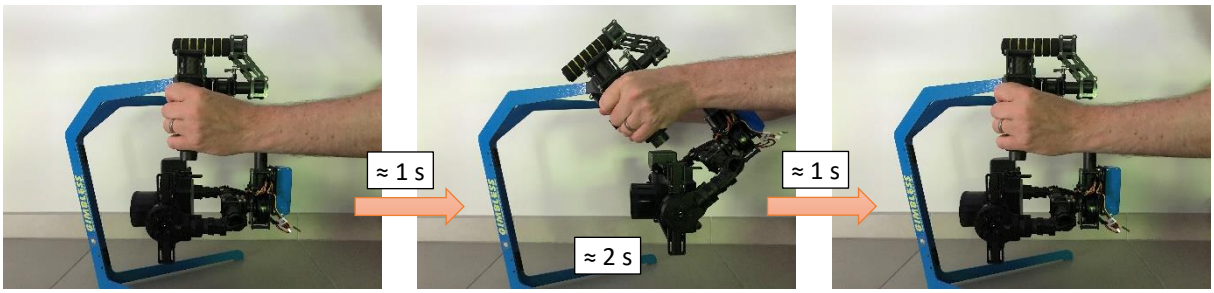
- Cliquer sur l'icône « Paramétrer Axes Nacelle » . Sélectionner l'onglet « Choix Modes » Choix Modes, puis cliquer sur . Choisir le fichier « Réglages_suivi.navcnf », valider puis cliquer sur pour sauvegarder les paramètres dans la carte de la nacelle. Cliquer sur pour sortir du menu de paramétrage.
- Aligner l'axe de lacet sur la poignée supérieure et cliquer sur Aligner AHRS.
- Vérifier que le mode 1 (Stabilisation) est actif : Mode 1 Actif.
- Mettre en marche les moteurs Moteurs 0 1.
- Attendre la stabilisation de la nacelle et basculer aussitôt en mode 4 : Mode 4 Actif
- Cliquer sur l'icône « Acquisition » .
- Cliquer sur « Paramètres d'affichage » .
- Cliquer sur « Charger configurations » , puis choisir le fichier « Performances_suivi.gblaff ».
- Cliquer sur « Quitter » .
- Cliquer sur « Lancer acquisition » .
- Régler les paramètres indiqués ci-contre :
  - ✓ durée d'acquisition sur 10 s ;
  - ✓ case « Positionner Nacelle au temps 1 s » décochée ;



L'interface est prête pour l'acquisition.

En cliquant sur ENVOYER, l'acquisition commence après validation de la mise en marche des moteurs. Un alignement du module AHRS est alors systématiquement réalisé. **Ne pas toucher la nacelle pendant l'alignement (4s)**.

La sollicitation de la nacelle sera effectuée suivant le protocole illustré ci-dessous.



Activité 5 Acquisition avec une perturbation en suivi

- Cliquer sur ENVOYER et valider la mise en puissance des moteurs QUI.
- Ne pas toucher à la nacelle pendant l'alignement du module AHRS (4s environ).
- Effectuer le mouvement ci-dessus sur une durée totale de 4s environ.
- Conserver cette inclinaison pendant 2s environ puis ramener les poignées en position initiale.
- A l'affichage du message de fin d'acquisition, cliquer sur QUI pour couper la puissance des moteurs.

Activité 6 Analyse des performances en suivi de l'axe de tangage

- A partir des courbes affichées, analyser les performances de l'axe de tangage vis-à-vis des exigences en suivi figurant au cahier des charges (voir diagramme des exigences). Distinguer notamment les performances vérifiables sur cet essai et celles qui ne le sont pas.
- Indiquer quelles grandeurs physiques devraient être mesurées pour évaluer l'ensemble des performances attendues en mode suivi.
- Conclure sur l'écart entre les performances attendues et les performances mesurées.

Dans la suite de ce TP, on se propose de mettre en place un modèle pour l'asservissement en suivi afin d'analyser les réglages de correction.

II- ANALYSE DE LA STRUCTURE DE L'ASSERVISSEMENT ET MODELISATION PAR SCHEMA-BLOC

Objectif : Il s'agit dans cette partie d'analyser la structure de la chaîne de commande et de mettre en place un modèle sous la forme d'un schéma bloc.

Hypothèses : Dans l'ensemble de cette partie, on considèrera exclusivement des sollicitations en **tangage** de la nacelle. Les axes de roulis et de de lacet sont supposés immobiles pour l'ensemble de l'étude proposée. Par ailleurs on suppose que le joystick est non sollicité.

II.1 ARCHITECTURE DE LA CHAINE FONCTIONNELLE RELATIVE A L'AXE DE TANGAGE

La description de la nacelle au langage SysML est fournie dans le dossier ressources.

On donne en annexe 1 un schéma-bloc représentant le principe de la commande asservie en stabilisation de l'axe de tangage. L'annexe 2 montre le principe de la commande en suivi. Les différentes notations sont précisées sur ce document.

Activité 7 Analyse du principe de l'asservissement

- Sur le système repérer le module AHRS. Quelle(s) grandeur(s) mesure-t-il ?
- Expliquer le rôle du comparateur de droite sur le schéma-bloc
- En mode suivi, parmi les angles $\theta_{T/Rg}$, $\theta_{T/P}$ et $\theta_{P/Rg}$, lequel représente la consigne que l'appareil doit suivre ? Cet angle est-il mesuré sur le système ?
- Expliquer et justifier alors le principe de la commande en suivi.

II.2 MODELISATION DE L'ASSERVISSEMENT EN SUIVI DE L'AXE DE TANGAGE

Le schéma proposé en annexe 2 illustre simplement le principe de la commande en suivi. Pour modéliser finement le comportement de cette chaîne, il faut mettre en œuvre un schéma un peu plus compliqué. On se propose d'analyser ce schéma à l'aide du logiciel de simulation Scilab.

Pour cela : lancer le logiciel Scilab, lancer le module Xcos en cliquant sur puis ouvrir le fichier « Boucle suivi tangage.zcos ».

Activité 8 Le moteur brushless

- Sur l'ordinateur, relancer si nécessaire l'application « Gimbless – EMP » .
- Cliquer sur EN SAVOIR PLUS puis sélectionner Moteur Brushless.
- Visualiser les animations proposées qui permettent de découvrir et de comprendre le fonctionnement d'un moteur brushless.

Pour simplifier, pour piloter un moteur brushless, on commande un angle appelé « angle de phase » qui définit les amplitudes de chacun des 3 signaux sinusoïdaux (voir animation « commande moteur »).

Cet angle est défini modulo 2π entre $-\pi$ et $+\pi$. Il correspond à la grandeur « phase » sur le schéma-bloc.

Le moteur possédant 11 paires de pôles magnétiques, lorsque que l'angle de phase passe de $-\pi$ à $+\pi$, l'angle « mécanique » $\theta_{T/P}$ du moteur aura varié de 1/11ème de tour.

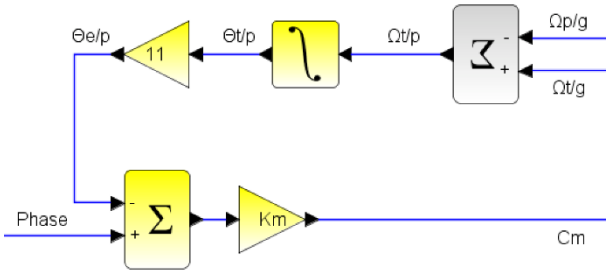
Le couple moteur est fonction de l'écart entre l'angle de phase et un angle appelé « angle électrique » et correspondant à $\theta_{E/P} = 11.\theta_{T/P}$.

En théorie, il est proportionnel au sinus de cette écart : $C_m = K_m.\sin(phase - \theta_{E/P})$.

Dans cette application, l'écart est toujours petit et on peut alors considérer : $\boxed{C_m \simeq K_m.(phase - \theta_{E/P})}$.

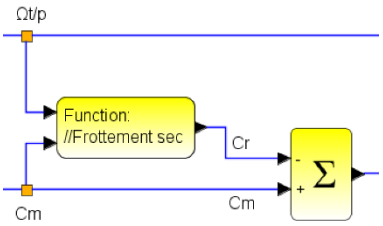
Activité 9 Modélisation du moteur brushless

- A partir du descriptif ci-dessus, analyser et jusitfier la structure ci-contre retenue pour le modéliser le moteur brushles (on a ici retiré le bloc Function pour une lecture plus simple).



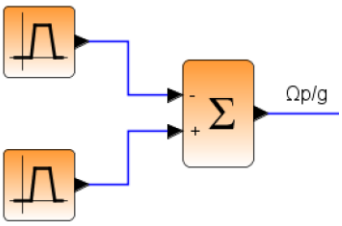
Le bloc « Function://Frottement sec » ci-contre permet la modélisation des frottements selon les lois de Coulomb.

En double-cliquant sur le composant, on peut accéder à un code Scilab définissant le calcul de **Cr** selon les grandeurs en entrée.



Activité 10 Modélisation du mouvement des poignées

- Analyser la structure ci-contre.
- Indiquer le mouvement des poignées simulées par cette structure. Tracer le graphe donnant les évolutions de $\theta_{P/Rg}$.



Activité 11 Générateur de consigne

- Le générateur de consigne utilise la composante intégrale du correcteur qui somme les écarts.
- Expliquer pourquoi un bloc est appliqué à ce signal.

III-VALIDATION DU MODELE DE L'ASSERVISSEMENT EN SUIVI

Objectif : Il s'agit dans cette partie de vérifier la validité du modèle construit pour l'asservissement en suivi.

Activité 12 Performances simulées et validation du modèle

- Lancer une simulation en cliquant sur .
- Analyser le tracé obtenu et le comparer à celui de l'activité 5.
- Conclure qualitativement sur la qualité du modèle.
- Expliquer pourquoi il n'est pas possible de valider quantitativement le modèle. Quelle grandeur physique devrait être mesurée sur le système pour pouvoir valider le modèle ?

Activité 13 Ecart Performances simulées/Performances attendues

- Les performances simulées sont-elles en accord avec les performances attendues ?

IV-ANALYSE DE L'INFLUENCE DES PARAMETRES DE LA COMMANDE EN SUIVI

Objectif : Il s'agit dans cette partie d'utiliser le modèle afin d'analyser l'influence de certains paramètres sur le comportement de la nacelle.

Le modèle proposé dans le fichier « Boucle suivi tangage.zcos » a été mis au point à l'aide d'une mesure de la grandeur physique identifiée en activité 12.

Pour la fin de ce TP, on admettra que le modèle est valide et on se propose donc d'utiliser la simulation pour analyser l'influence des paramètres de correction et de filtrage.

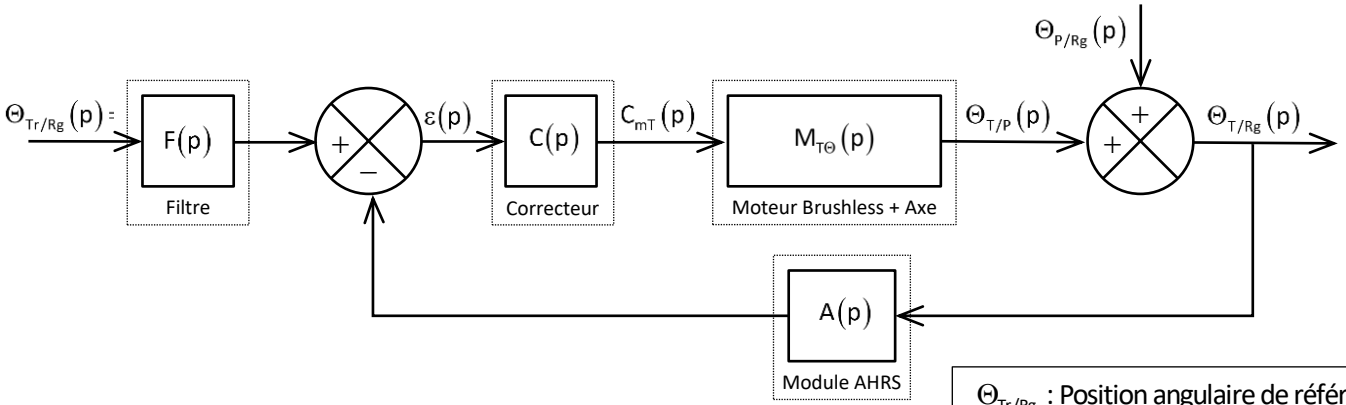
Activité 14 Influence des paramètres de correction

- Sous Xcos, faire un clic droit sur la zone de travail, puis choisir « Modifier le contexte ».
- Modifier la valeur du gain de correction intégral $Ki=0$.
- Lancer la simulation et indiquer quelles performances ne sont plus validées.
- Reprendre la valeur $Ki=800$ et choisir $Kd=0$.
- Lancer la simulation et indiquer quelles performances ne sont plus validées.
- Conclure sur l'influence des paramètres de correction sur le comportement de la nacelle.

Activité 15 Influence des paramètres de filtrage

- Reprendre la valeur $Kd=2$
- Modifier la valeur de $Tpb=0.5$
- Lancer la simulation et observer les modifications sur le comportement.
- Lancer à nouveau la simulation pour $Tpb=4$
- Conclure sur l'influence des paramètres de filtrage sur le comportement de la nacelle.

Annexe 1 : principe de la commande asservie en stabilisation de l'axe de tangage (ni roulis, ni lacet)



Notations

$\Theta_{Tr/Rg}$: Position angulaire de référence par rapport au Galiléen (consigne nulle ici)

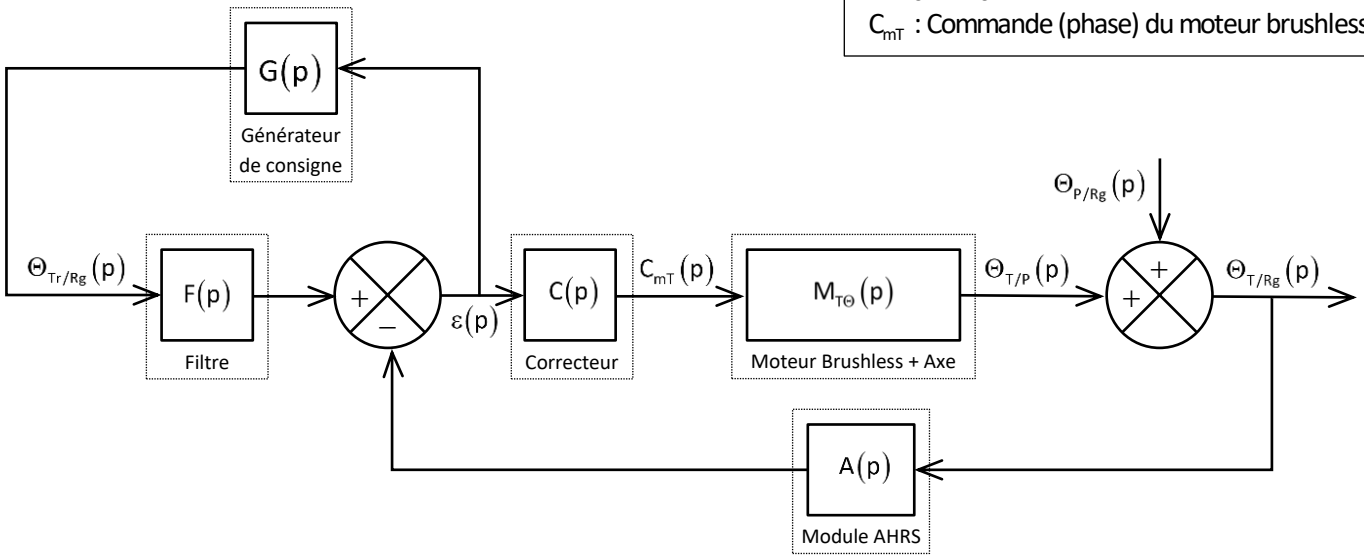
$\Theta_{T/P}$, $\Omega_{T/P}$: Position, vitesse angulaire de l'appareil par rapport à l'ensemble "poignées"

$\Theta_{P/Rg}$, $\Omega_{P/Rg}$: Position, vitesse angulaire de l'ensemble "poignées" par rapport au Galiléen

$\Theta_{T/Rg}$,$\Omega_{T/Rg}$: Position, vitesse angulaire de l'appareil par rapport au Galiléen

C_{mT} : Commande (phase) du moteur brushless

Annexe 2 : principe de la commande asservie en suivi de l'axe de tangage (ni roulis, ni lacet)



TP 2.2

SYNTHESE DE LA CORRECTION EN MODE STABILISATION

COMPETENCES VISEES

- Analyser les architectures fonctionnelle et structurelle
- Analyser ou établir le schéma-bloc du système
- Modéliser et linéariser le comportement d'un système
- Valider un modèle
- Choisir et régler un type de correcteur

PRE-REQUIS

- Langage SysML : exigences ; cas d'utilisation ; définition des blocs ; blocs internes ; séquences.
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaîne fonctionnelle ; système asservi ; consigne et réponse ; chaine d'information et d'énergie.
- Cahier des charges fonctionnel : performances.
- Schéma-bloc : fonction de transfert en chaine directe, fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée
- Analyse fréquentielle
- Stabilité, rapidité et précision des systèmes asservis
- Correction PI et D

SITUATION DANS LE PROGRESSION

Deuxième année – Premier semestre

MATERIEL MIS EN ŒUVRE

- Nacelle gyrostabilisée Gimbless
- Interface Homme / Machine Gimbless (IHM)
- Environnement Multimédia Pédagogique (EMP)

PRESENTATION DU SYSTEME

Le système étudié est une nacelle gyrostabilisée.

Ce dispositif permet la prise de vue en mouvement à l'aide d'un appareil photo ou d'une caméra. Il permet de conserver l'orientation de l'objectif indépendemment des mouvements du caméraman. Cette technologie remplace avantageusement les anciennes « Steadycam » lourdes et encombrantes ; elle est également utilisée pour la gyrostabilisation caméras équipant les drones.

Le modèle étudié permet la stabilisation spatiale suivant 3 axes : roulis, tangage et lacet. Il est également possible de piloter manuellement les mouvements de l'appareil à l'aide d'un joystick tout en conservant une stabilisation de l'image garantissant la qualité des prises de vues.

Le système du laboratoire est équipé d'un appareil factice possédant les mêmes caractérisitques inertielles qu'un appareil réflex professionnel. En utilisation réel, le caméraman dispose d'un retour d'image sur un écran déporté lui permettant ainsi un contrôle total du cadrage.

La gyrostabilisation est assurée à l'aide de 3 moteurs brushless pilotés par une carte de commande spécifiques conçue par la NAVEOL, entreprise française spécialisée dans le secteur.

La description SysML du système est proposée dans le dossier ressource.

OBJECTIFS DU TP

Ce TP vise à :

- ✓ Prendre en main le système afin de mettre en évidence les principales fonctionnalités
- ✓ Analyser et vérifier les exigences
- ✓ Analyse le modèle de la boucle d'asservissement
- ✓ Valider le modèle
- ✓ Analyser un modèle linéaire pour la synthèse de la correction
- ✓ Définir le type de correction adaptée aux performances attendues
- ✓ Proposer un réglage pour les actions P et I de la correction PID
- ✓ Valider les nouvelles performances de l'asservissement de stabilisation en tangage

I- PRISE EN MAIN ET ANALYSE DES PERFORMANCES EN MODE STABILISATION

Objectif : Il s'agit dans cette partie de découvrir les principales fonctionnalités du système et d'analyser les performances en mode stabilisation.

Dans tout le TP, on utilise les dénominations « lacet », « tangage » et « roulis » pour définir les mouvements de la nacelle par rapport au sol ainsi que les mouvements de l'appareil par rapport à la nacelle. La figure 1 illustre ces 3 axes :

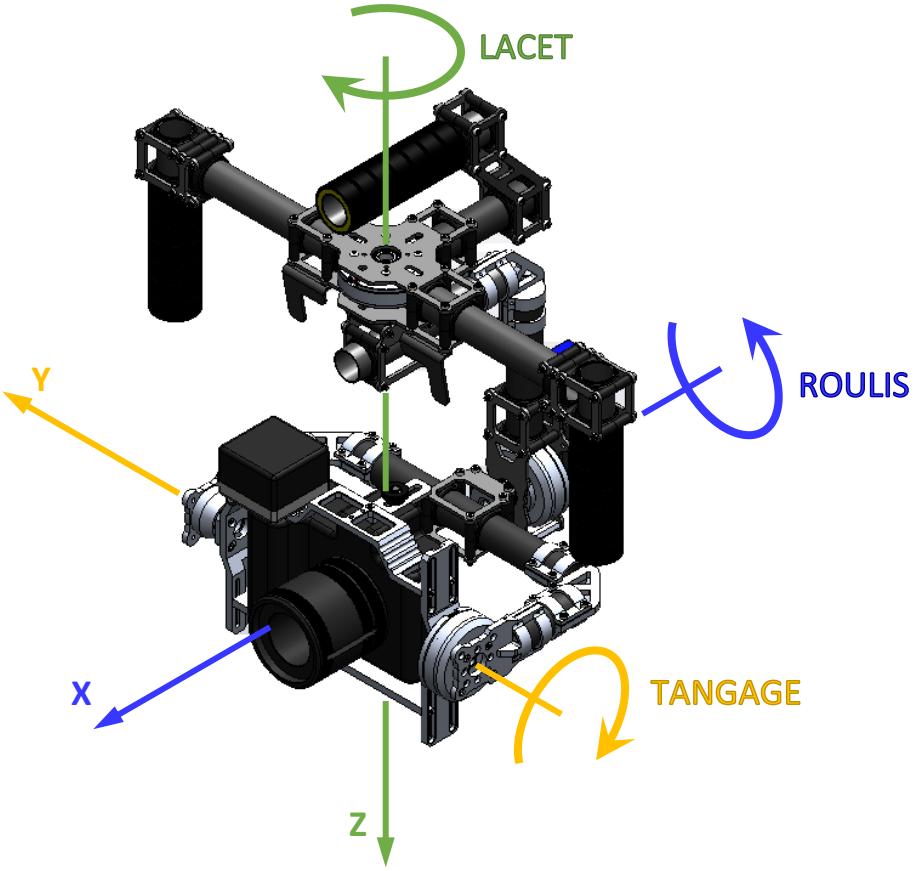


Figure 1 : appellation des axes de rotations

I.1 PRISE EN MAIN

Activité 1 Mise en marche la nacelle

- Sur l'ordinateur, lancer l'application « Gimbless – EMP » .
- Cliquer sur LE CONTEXTE et visualiser quelques secondes de la vidéo « Nacelle à main ».
- Revenir au menu principal et cliquer sur UTILISATION .
- Choisir MISE SOUS TENSION et suivre la procédure indiquée.
- Cliquer alors sur et suivre la procédure d'activation du mode « Stabilisation ».
- Prendre en main la nacelle comme illustré sur la vidéo et tester le fonctionnement en mode stabilisation en réalisant des mouvements autour des 3 axes (voir figure 1).

Remarque importante : en l'absence de commande, on observe une dérive (un décalage) progressive de l'axe de lacet. Cela est dû à la technologie utilisée pour la mesure de l'assiette de l'appareil qui est très sensible aux perturbations électromagnétiques. En utilisation réelle, le caméraman dispose d'un écran de contrôle de l'image et corrige l'axe de lacet à l'aide du joystick.

Activité 2 Sélection des modes

- Cliquer à nouveau sur et prendre connaissance des procédures de pilotage des angles et d'utilisation du mode « Suivi ».
- Tester ces modes de pilotage puis désactiver la nacelle par un appui long sur le joystick (> 2 s).
- Reposer la nacelle sur son support.

Précaution d'emploi : Après chaque protocole expérimental, la nacelle devra être désactivée (appui long sur la joystick) et reposée sur son support afin de ne pas l'endommager et d'économiser la batterie.

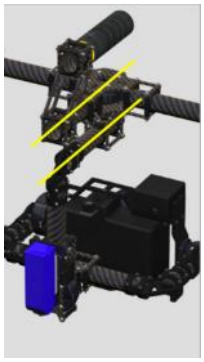
I.2 MISE EN ŒUVRE DE L'INTERFACE HOMME MACHINE (IHM)

Afin de comprendre la structure de l'asservissement retenu, on se propose d'utiliser l'interface de commande et d'acquisition de la Gimbless.

Activité 3 Mise en oeuvre de l'IHM

- Sur l'ordinateur, lancer l'application « Interface Gimbless ».
- La nacelle sur son support, cliquer sur Connexion 0 1, valider le port COM et cliquer sur CONNEXION.
- Suivre les consignes à l'écran et valider à chaque étape en cliquant sur OK.

Aligner l'axe de lacet avec la poignée avant la connexion



Comme observé lors de la prise en main, les perturbations électromagnétiques ont tendances à faire dériver les mesures effectuées par le module AHRS. Ne pas hésiter à refaire un alignement régulier de ce module si le fonctionnement semble non conforme : Aligner AHRS. Il faudra alors que la nacelle soit immobile pendant l'alignement du module et l'axe de lacet soit aligné avec celui de la poignée supérieure (voir ci-contre).

- Aligner l'axe de lacet sur la poignée supérieure et cliquer sur Aligner AHRS.
- Vérifier que le mode 1 (Stabilisation) est actif : Mode 1 Actif et mettre en marche les moteurs Moteurs 0 1.
- Prendre en main la nacelle hors de son support et effectuer quelques mouvements suivant les 3 axes. Observer les évolutions des grandeurs affichées sur l'interface. Couper les moteurs Moteurs 0 1.

Les 3 axes de la nacelle possédant une structure de commande identique, on se propose dans la suite du TP de réduire l'étude à l'axe de tangage.

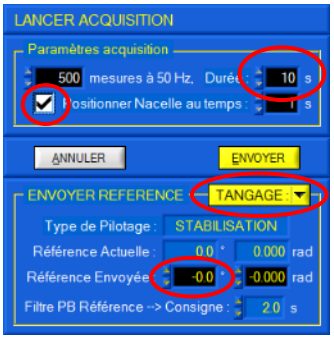
I.3 ANALYSE DE LA REPONSE A UNE PERTURBATION EN TANGAGE

Afin de garantir la qualité des mesures, les acquisitions seront réalisées avec la nacelle sur son support. On se propose dans cette configuration de provoquer un mouvement des poignées d'environ 45° suivant l'axe de tangage et d'analyser les réactions de la Gimbless.

Activité 4 Préparation de l'acquisition

- Dans l'interface « Gimbless », cliquer sur « Paramétrer Axes Nacelle ».
- Dans l'onglet « Correcteur PID », vérifier que le réglage de l'axe de tangage est bien $KP=200$; $KI=0$; $KD=2$. Dans le contraire, faites appel au professeur.
- Dans l'onglet « Choix Modes », vérifier que le mode 4 est bien en « commande fixe » sur l'axe de lacet et en « stabilisation » sur les axes de roulis et de tangage. Dans le contraire, faites appel au professeur.

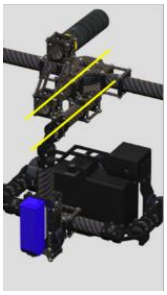
- Quitter .
- Sélectionner le mode 4 (on fixe ici l'axe de lacet) : Mode 4 Actif
- Cliquer sur l'icône « Acquisition » .
- Cliquer sur « Paramètres d'affichage » .
- Cliquer sur « Charger configurations » , puis choisir le fichier « Performances TP22.gblaff ».
- Cliquer sur « Quitter » .
- Cliquer sur « Lancer acquisition » .
- Régler les paramètres indiqués ci-contre :
  - ✓ durée d'acquisition sur 10 s ;
  - ✓ case « Positionner Nacelle au temps 1 s » cochée ;
  - ✓ axe de tangage sélectionné ;
  - ✓ « Référence Envoyée » à 0°.



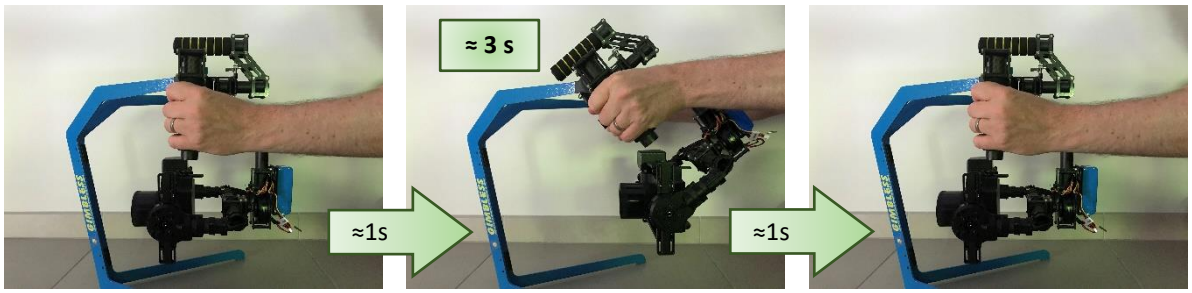
L'interface est prête pour l'acquisition.

En cliquant sur ENVOYER, l'acquisition commence après validation de la mise en marche des moteurs. Un alignement du module AHRS est alors systématiquement réalisé. **Ne pas toucher la nacelle pendant l'alignement (4s)**. La référence (consigne à 0° dans le cas de notre étude) est envoyée 1s après la fin de l'alignement. Il faudra donc **attendre au moins 1s supplémentaire** avant de solliciter la nacelle.

Activité 5 Acquisition avec une perturbation en tangage



- Aligner l'axe de lacet sur les poignées supérieures (voir illustration ci-contre).
- Cliquer sur ENVOYER et valider la mise en puissance des moteurs QUI.
- Ne pas toucher à la nacelle pendant l'alignement du module AHRS (4s environ).
- Attendre encore 3s environ et solliciter les poignées afin de tourner le sous-ensemble poignée de 45° en 1s environ ; conserver cette inclinaison pendant 3s environ puis ramener les poignées en position initiale (voir illustrations ci-dessous).



- A l'affichage du message de fin d'acquisition, cliquer sur QUI pour couper la puissance des moteurs.

Activité 6 Analyse des performances de l'axe de tangage

- A partir des courbes affichées, analyser les performances en précision de l'axe de tangage vis-à-vis des exigences figurant au cahier des charges (voir diagramme des exigences).
- Conclure sur l'écart entre les performances attendues et les performances mesurées.

Dans la suite de ce TP, on se propose d'analyser et de valider un modèle pour l'asservissement en stabilisation afin de définir et de régler un correcteur adapté aux performances attendues.

II- ANALYSE DE LA STRUCTURE DE L'ASSERVISSEMENT ET MODELISATION PAR SCHEMA-BLOC

Objectif : Il s'agit dans cette partie d'analyser la structure de la chaîne de commande et de valider la modélisation par schéma-bloc proposée.

Hypothèses : Dans l'ensemble de cette partie, on considèrera exclusivement des sollicitations en **tangage** de la nacelle. Les axes de roulis et de de lacet sont supposés immobiles pour l'ensemble de l'étude proposée. Par ailleurs on suppose que le joystick est non sollicité, la consigne de position est donc nulle à chaque instant.

II.1 MODELISATION DE LA BOUCLE D'ASSERVISSEMENT

Un modèle de simulation de la boucle d'asservissement est proposé dans le fichier « Boucle stabilisation tangage.zcos ».

On propose en annexe 1 de ce sujet une représentation simplifiée du schéma-bloc.

La modélisation du comportement du moteur brushless proposée sur le fichier Scilab est complexe, elle ne sera pas abordée dans ce sujet. Pour en savoir plus, consulter l'aide disponible dans l'application « Gimbless – EMP » (rubrique « en savoir plus »).

Activité 7 Analyse du modèle de la boucle d'asservissement en tangage

- Lancer le logiciel Scilab, lancer le module Xcos en cliquant sur puis ouvrir le fichier « Boucle stabilisation tangage ».
- Analyser le modèle proposé.
- Expliquer en quoi la perturbation retenue (vitesse de tangage des poignées) est bien conforme à l'essai réalisé en activité 5.

Activité 8 Validation du modèle

- Dans l'interface « Gimbless », cliquer sur « Paramétrer Axes Nacelle » .
- Sélectionner l'onglet « Correcteur PID » et relever les valeurs des coefficients KP, KI et KD pour l'axe de tangage. Quitter .
- Dans Scilab, faire un clic droit sur la zone de travail et choisi « Modifier le contexte ». Vérifier que les valeurs de Kp, Ki et Kd sont identiques à celles réglées sur la nacelle.
- Sur Scilab, lancer la simulation en cliquant sur .
- Comparer les résultats obtenus à ceux de l'activité 6. Conclure sur la qualité du modèle.

II.2 LINEARISATION DU MODELE

Afin de procéder à la synthèse d'un correcteur permettant d'atteindre les performances attendues, il est nécessaire de disposer d'un modèle linéaire compatible avec l'analyse fréquentielle du comportement de l'axe de tangage.

Un modèle linéarisé est proposé dans le fichier « Boucle stabilisation tangage - linéaire.zcos »

Activité 9 Analyse du modèle linéarisé de la boucle d'asservissement en tangage

- Dans le module Xcos du logiciel Scilab, ouvrir le fichier « Boucle stabilisation tangage - linéaire ».
- Comparer ce modèle avec celui du fichier « Boucle stabilisation tangage ».
- Justifier les simplifications effectuées.
- Lister les performances que ce modèle permet d'étudier ainsi que celles qu'il ne permettra pas d'évaluer.

III-SYNTHESE D'UNE CORRECTION ADAPTEE AUX PERFORMANCES SOUHAITEES

Objectif : Il s'agit dans cette partie de d'identifier la nature de la correction nécessaire à la validation des exigences et de procéder à la détermination des paramètres de réglage du correcteur.

III.1 CHOIX DU TYPE DE CORRECTEUR ADAPTE

Activité 10 Comportement fréquentiel sans correction

- Dans le contexte du modèle linéaire « Boucle stabilisation tangage - linéaire.zcos », régler les paramètres Kd, Ki et Kp afin de procéder à une simulation sans correction.
- Lancer la simulation.
- Analyser le diagramme de Bode et en déduire la classe de la fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée.
- Expliquer pourquoi une action intégrale sera nécessaire pour atteindre les performances attendues.

Pour atteindre les performances attendues par l'utilisateur, le constructeur a défini les réglages suivants pour la commande asservie :

- **Marge de phase :** $M\Phi = 65°$
- **Pulsation de coupure à 0dB :** $\omega_{0dB} = 45 rad.s^{-1}$

Activité 11 Correction proportionnelle intégrale insuffisante

- A partir du comportement fréquentiel sans correction observé en activité 10, expliquer pourquoi une correction à action proportionnelle et intégrale ne sera pas suffisante pour atteindre les performances de marge de phase et de pulsation de coupure.

III.2 REGLAGE DU CORRECTEUR

Le paragraphe précédent a mis en évidence la nécessité d'utiliser une correction à action proportionnelle, intégrale et dérivée (PID).

Le constructeur a choisi une structure particulière de ce correcteur (voir schéma bloc en annexe 1). Cette architecture consiste à ajouter une composante proportionnelle à la vitesse plutôt que de dériver l'écart. On montre que couplé à l'action proportionnelle intégrale classique, cela permet de garantir une erreur statique en réponse à un échelon nulle sans oscillation.

Le réglage de cette composante étant hors programme, on prendra pour la suite de ce TP la valeur choisie par le constructeur : $KD = 2$.

Activité 12 Réglage des actions proportionnelle et intégrale

- Avec le modèle linéaire « Boucle stabilisation tangage - linéaire.zcos », lancer une simulation avec le réglage suivant : $Kp = 1$, $Ki = 0$ et $Kd = 2$.
- A partir de l'analyse du diagramme de Bode obtenu pour ce réglage, déterminer des valeurs de Kp et Ki permettant de garantir les critères de marge de phase et de pulsation de coupure à 0dB.

Activité 13 Réponse temporelle simulée

- Avec le modèle « Boucle stabilisation tangage.zcos », lancer une simulation avec le réglage défini en activité 12.
- Analyser la réponse temporelle et conclure sur les performances simulées vis-à-vis des performances souhaitées.

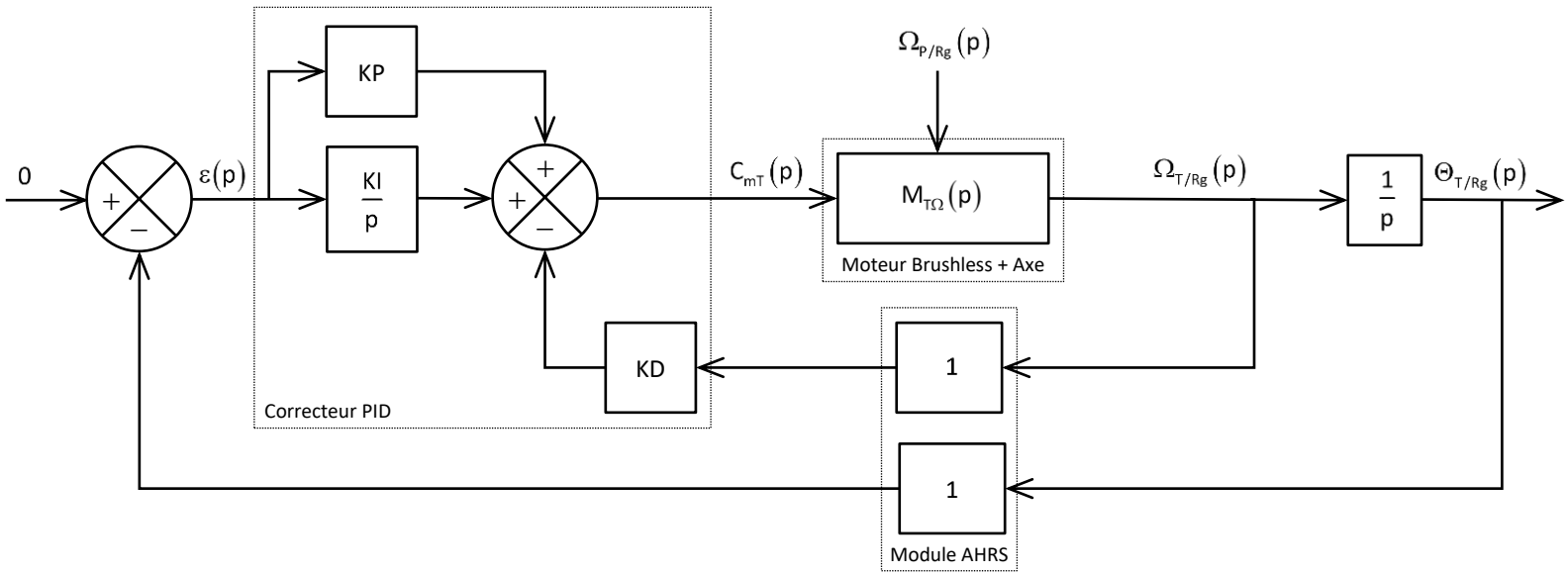
IV-VALIDATION FINALE DES PERFORMANCESU DE L'ASSERVISSEMENT EN STABILISATION

Objectif : Il s'agit dans cette dernière partie de vérifier que le réglage du correcteur défini en partie III permet d'atteindre les performances souhaitées.

Activité 14 Validation des performances

- Dans l'interface « Gimbless », cliquer sur « Paramétrer Axes Nacelle » .
- Sélectionner l'onglet « Correcteur PID » et régler les paramètres de l'axe de tangage à l'aide des valeurs trouvées en activité 12.
- Sauvegarder les paramètres en cliquant sur « Ecrire paramètres dans Gimbless » . Quitter .
- Mettre en œuvre le protocole des activités 4 et 5 et conclure sur les performances de la nacelle.

Annexe 1 : schéma bloc de la commande en stabilisation de l'axe de tangage (ni roulis, ni lacet)



Notations

$\Theta_{Tr/Rg}$: Position angulaire de référence par rapport au Galiléen (consigne nulle ici)

$\Theta_{T/P}$, $\Omega_{T/P}$: Position, vitesse angulaire de l'appareil par rapport à l'ensemble "poignées"

$\Theta_{P/Rg}$, $\Omega_{P/Rg}$: Position, vitesse angulaire de l'ensemble "poignées" par rapport au Galiléen

$\Theta_{T/Rg}$, $\Omega_{T/Rg}$: Position, vitesse angulaire de l'appareil par rapport au Galiléen

C_{mT} : Commande (phase) du moteur brushless

TP 2.3

MODELISATION DYNAMIQUE DE LA CHAINE D'ENERGIE

COMPETENCES VISEES

- Analyser les architectures fonctionnelle et structurelle
- Identifier les grandeurs caractéristiques d'un actionneur
- Modéliser le comportement dynamique d'une chaîne d'énergie
- Déterminer les paramètres dynamiques par identification
- Valider le modèle de comportement d'une chaîne d'énergie

PRE-REQUIS

- Langage SysML, Chaînes fonctionnelles, Performances
- Schéma-bloc : fonction de transfert en chaine directe, fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée
- Composition des mouvements
- Modélisation des actions mécaniques
- Principe fondamental de la dynamique
- Identification temporelle d'un modèle de comportement

SITUATION DANS LE PROGRESSION

Deuxième année – Deuxième semestre

MATERIEL MIS EN ŒUVRE

- Nacelle gyrostabilisée Gimbless
- Interface Homme / Machine Gimbless (IHM)
- Environnement Multimédia Pédagogique (EMP)

PRESENTATION DU SYSTEME

Le système étudié est une nacelle gyrostabilisée.

Ce dispositif permet la prise de vue en mouvement à l'aide d'un appareil photo ou d'une caméra. Il permet de conserver l'orientation de l'objectif indépendemment des mouvements du caméraman. Cette technologie remplace avantageusement les anciennes « Steadycam » lourdes et encombrantes ; elle est également utilisée pour la gyrostabilisation caméras équipant les drones.

Le modèle étudié permet la stabilisation spatiale suivant 3 axes : roulis, tangage et lacet. Il est également possible de piloter manuellement les mouvements de l'appareil à l'aide d'un joystick tout en conservant une stabilisation de l'image garantissant la qualité des prises de vues.

Le système du laboratoire est équipé d'un appareil factice possédant les mêmes caractérisitques inertielles qu'un appareil réflex professionnel. En utilisation réel, le caméraman dispose d'un retour d'image sur un écran déporté lui permettant ainsi un contrôle total du cadrage.

La gyrostabilisation est assurée à l'aide de 3 moteurs brushless pilotés par une carte de commande spécifiques conçue par la NAVEOL, entreprise française spécialisée dans le secteur.

La description SysML du système est proposée dans le dossier ressource.

OBJECTIFS DU TP

Ce TP vise à :

- ✓ Prendre en main le système afin de mettre en évidence les principales fonctionnalités
- ✓ Analyser les exigences
- ✓ Analyser la commande des moteurs brushless
- ✓ Etablir un modèle de connaissance du moteur brushless
- ✓ Linéariser le modèle de connaissance du moteur brushless
- ✓ Evaluer la pertinence de la prise en compte d'un modèle de frottement sec et/ou visqueux
- ✓ Construire la structure du schéma-bloc modélisant la chaîne d'énergie
- ✓ Déterminer les paramètres du moteur par identification
- ✓ Valider ce modèle
- ✓ Valider les performances du moteur vis-à-vis des performances attendues pour l'asservissement de stabilisation en tangage

I- PRISE EN MAIN ET ANALYSE DES PERFORMANCES ATTENDUES EN MODE STABILISATION

Objectif : Il s'agit dans cette partie de découvrir les principales fonctionnalités du système et d'analyser les performances en mode stabilisation.

Dans tout le TP, on utilise les dénominations « lacet », « tangage » et « roulis » pour définir les mouvements de la nacelle par rapport au sol ainsi que les mouvements de l'appareil par rapport à la nacelle. La figure 1 illustre ces 3 axes :

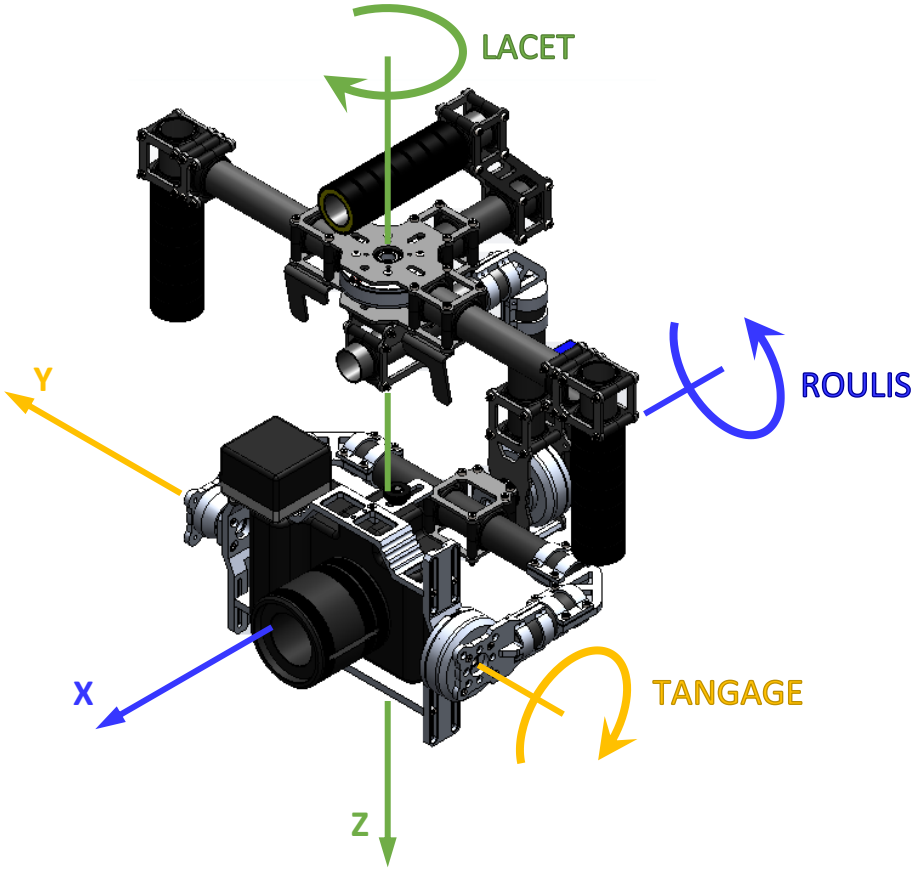


Figure 1 : appellation des axes de rotations

I.1 PRISE EN MAIN

Activité 1 Mise en marche la nacelle

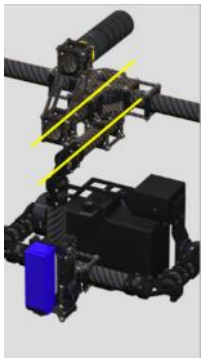
- Sur l'ordinateur, lancer l'application « Gimbless – EMP » .
- Cliquer sur LE CONTEXTE et visualiser quelques secondes de la vidéo « Nacelle à main ».
- Revenir au menu principal et cliquer sur UTILISATION .
- Choisir MISE SOUS TENSION et suivre la procédure indiquée.
- Cliquer alors sur et suivre la procédure d'activation du mode « Stabilisation ».
- Prendre en main la nacelle comme illustré sur la vidéo et tester le fonctionnement en mode stabilisation en réalisant des mouvements autour des 3 axes (voir figure 1).

Remarque importante : en l'absence de commande, on observe une dérive (un décalage) progressive de l'axe de lacet. Cela est dû à la technologie utilisée pour la mesure de l'assiette de l'appareil qui est très sensible aux perturbations électromagnétiques. En utilisation réelle, le caméraman dispose d'un écran de contrôle de l'image et corrige l'axe de lacet à l'aide du joystick.

Activité 2 Mise en œuvre de l'IHM

- Sur l'ordinateur, lancer l'application « Interface Gimbless » .
- La nacelle sur son support, cliquer sur Connexion 0 1, valider le port COM et cliquer sur CONNEXION.
- Suivre les consignes à l'écran et valider à chaque étape en cliquant sur OK.

Aligner l'axe de lacet avec la poignée avant la connexion



Comme observé lors de la prise en main, les perturbations électromagnétiques ont tendances à faire dériver les mesures effectuées par le module AHRS. Ne pas hésiter à refaire un alignement régulier de ce module si le fonctionnement semble non conforme : Aligner AHRS. Il faudra alors que la nacelle soit immobile pendant l'alignement du module et l'axe de lacet soit aligné avec celui de la poignée supérieure (voir ci-contre).

- Aligner l'axe de lacet sur la poignée supérieure et cliquer sur Aligner AHRS.
- Vérifier que le mode 1 (Stabilisation) est actif : Mode 1 Actif et mettre en marche les moteurs Moteurs 0 1.
- Prendre en main la nacelle hors de son support et effectuer quelques mouvements suivant les 3 axes. Observer les évolutions des grandeurs affichées sur l'interface. Couper les moteurs Moteurs 0 1.

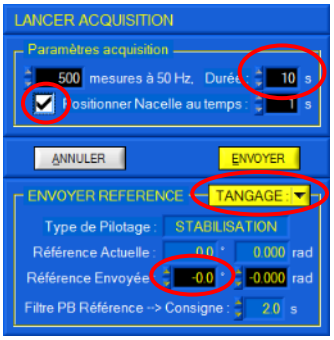
Les 3 axes de la nacelle possédant une structure de commande identique, on se propose dans la suite du TP de réduire l'étude à l'axe de tangage.

I.2 ANALYSE DES PERFORMANCES EN MODE STABILISATION

Afin de garantir la qualité des mesures, les acquisitions seront réalisées avec la nacelle sur son support. On se propose dans cette configuration de provoquer un mouvement des poignées d'environ 45° suivant l'axe de tangage et d'analyser les réactions de la Gimbless.

Activité 3 Préparation de l'acquisition

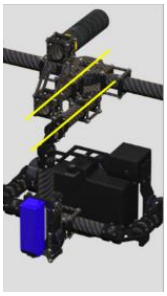
- Dans l'interface « Gimbless », cliquer sur « Paramétrer Axes Nacelle » .
- Dans l'onglet « Correcteur PID », vérifier que le réglage de l'axe de tangage est bien $KP = 100$; $KI = 800$; $KD = 2$. Dans le contraire, faites appel au professeur.
- Dans l'onglet « Choix Modes », vérifier que le mode 4 est bien en « commande fixe » sur l'axe de lacet et en « stabilisation » sur les axes de roulis et de tangage. Dans le contraire, faites appel au professeur.
- Quitter .
- Sélectionner le mode 4 (on fixe ici l'axe de lacet) : Mode 4 Actif
- Cliquer sur l'icône « Acquisition » .
- Cliquer sur « Paramètres d'affichage » .
- Cliquer sur « Charger configurations » , puis choisir le fichier « Performances TP23.gblaff ».
- Cliquer sur « Quitter » .
- Cliquer sur « Lancer acquisition » .



- Régler les paramètres indiqués ci-contre :
  - ✓ durée d'acquisition sur 10 s ;
  - ✓ case « Positionner Nacelle au temps 1 s » cochée ;
  - ✓ axe de tangage sélectionné ;
  - ✓ « Référence Envoyée » à 0°.

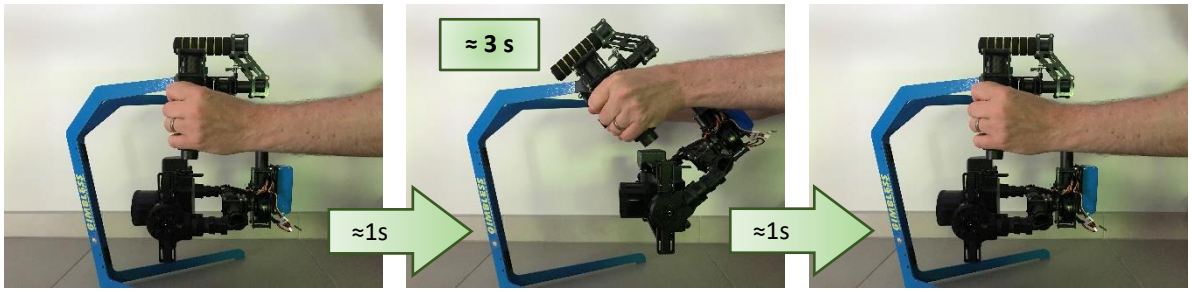
L'interface est prête pour l'acquisition.

En cliquant sur ENVOYER, l'acquisition commence après validation de la mise en marche des moteurs. Un alignement du module AHRS est alors systématiquement réalisé. **Ne pas toucher la nacelle pendant l'alignement (4s)**. La référence (consigne à 0° dans le cas de notre étude) est envoyée 1s après la fin de l'alignement. Il faudra donc **attendre au moins 1s supplémentaire** avant de solliciter la nacelle.



Activité 4 Acquisition avec une perturbation en tangage

- Aligner l'axe de lacet sur les poignées supérieures (voir illustration ci-contre).
- Cliquer sur ENVOYER et valider la mise en puissance des moteurs QUI.
- Ne pas toucher à la nacelle pendant l'alignement du module AHRS (4s environ).
- Attendre encore 3s environ et solliciter les poignées afin de tourner le sous-ensemble poignée de 45° en 1s environ ; conserver cette inclinaison pendant 3s environ puis ramener les poignées en position initiale (voir illustrations ci-dessous).



- A l'affichage du message de fin d'acquisition, cliquer sur QUI pour couper la puissance des moteurs.

Activité 5 Analyse des performances de l'axe de tangage

- A partir des courbes affichées, analyser les performances en précision de l'axe de tangage vis-à-vis des exigences figurant au cahier des charges (voir diagramme des exigences).
- Conclure sur l'écart entre les performances attendues et les performances mesurées.

II- MODELISATION DE LA COMMANDE ET DU COMPORTEMENT DU MOTEUR BRUSHLESS

Objectif : Il s'agit dans cette partie d'analyser la commande du moteur brushless afin de proposer un modèle de connaissance linéaire.

On propose en annexe 1 un schéma-bloc modélisant l'asservissement en stabilisation de l'axe de tangage.

Sur schéma, on peut observer la structure particulière du correcteur qui utilise l'écart et la mesure de vitesse angulaire pour déterminer la commande du moteur. L'étude de ce correcteur ne fait pas partie de ce TP.

On propose sur le document réponse 1 une ébauche du schéma-bloc modélisant le comportement de la chaine d'énergie moteur + axe de tangage.

II.1 FONCTIONNEMENT ET COMMANDE DU MOTEUR

Activité 6 Le moteur brushless

- Sur l'ordinateur, relancer si nécessaire l'application « Gimbless – EMP » .
- Cliquer sur EN SAVOIR PLUS puis sélectionner **Moteur Brushless**.
- Visualiser les animations proposées qui permettent de découvrir et de comprendre le fonctionnement d'un moteur brushless.

Pour simplifier, pour piloter un moteur brushless, on commande un angle appelé « angle de phase » qui définit les amplitudes de chacun des 3 signaux sinusoïdaux et donc l'orientation du champ magnétique dans le stator (voir animation « commande moteur »).

Cet angle est défini modulo 2π entre $-\pi$ et $+\pi$. Il correspond à la grandeur « $Com_T(p)$ » sur le schéma-bloc.

Le moteur possédant 11 paires de pôles magnétiques, lorsque que l'angle de phase passe de $-\pi$ à $+\pi$, l'angle « mécanique » $\theta_{T/P}$ du moteur aura varié de 1/11ème de tour.

Le couple moteur est fonction de l'écart entre l'angle de phase et un angle appelé « angle électrique » et correspondant à $\boxed{\theta_e = 11.\theta_{T/P}}$.

En théorie, il est proportionnel au sinus de cette écart : $C_m = K_m.\sin(\text{phase} - \text{angle électrique})$.

On en déduit avec les notations du schéma-bloc : $\boxed{C_m = K_m.\sin(Com_T - \theta_e)}$

On donne $\boxed{K_m = 0{,}1\ \text{N.m}}$

II.2 MODELISATION DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE DU MOTEUR

Activité 7 Loi de couple linéarisée

- En supposant que l'écart entre angle de phase et angle électrique est petit, linéariser à l'ordre 1 la loi de couple définie ci-dessus.

Hypothèses et notations :

- ✓ Les axes de roulis et de lacet sont immobiles
- ✓ Toutes les liaisons sont supposées parfaites
- ✓ L'appareil est supposé statiquement équilibré. On rappelle alors que son centre d'inertie G se trouve sur l'axe de la liaison pivot avec le sous-ensemble "roulis" (voir SysML)
- ✓ On note J_T le moment d'inertie de l'appareil autour de l'axe de la liaison pivot aves le sous-ensemble "roulis"
- ✓ Le couple moteur est noté C_m

Activité 8 Comportement dynamique

- En appliquant le théorème du moment dynamique à l'appareil, déterminer la relation liant C_m à la vitesse angulaire de l'axe de tangage par rapport au galiléen : $\omega_{T/Rg}$.
- Compléter le schéma-bloc du document réponse 1 conformément au modèle linéaire établi.

II.3 VALIDATION DU MODELE DE COMPORTEMENT DYNAMIQUE

Pour valider le modèle de comportement dynamique, on se propose de mesurer le comportement en boucle ouverte du moteur et de l'axe de tangage (réponse à un échelon de "phase" ↔ échelon de commande Com_T).

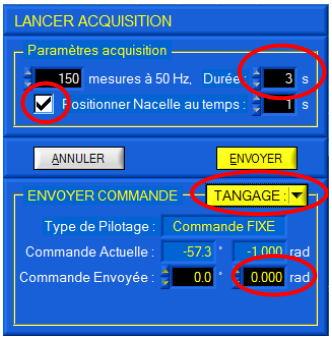
Activité 9 Préparation de la sollicitation en échelon de phase : utilisation du mode 3

- Dans l'application « Interface Gimbless » , la nacelle étant sur son support, cliquer sur Aligner AHRS.
- Vérifier que le mode 1 (Stabilisation) est actif : Mode 1 Actif.
- Mettre en marche les moteurs Moteurs 0 1.
- Attendre que la nacelle se stabilise et choisir à présent le mode 3 (fixe) : Mode 3 Actif .

Dans ce mode, la phase est constante pour chaque moteur.

Activité 10 Réponse temporelle à un échelon de phase

- Cliquer sur l'icône « Acquisition » .
- Cliquer sur « Paramètres d'affichage » .
- Cliquer sur « Charger configurations » , puis choisir le fichier « Validation tangage.gblaff ».
- Cliquer sur « Quitter » .
- Cliquer sur « Lancer acquisition » .
- Régler les paramètres indiqués ci-contre :
  - ✓ durée d'acquisition sur 3 s ;
  - ✓ case « Positionner Nacelle au temps 1 s » cochée ;
  - ✓ axe de tangage sélectionné ;
  - ✓ « Commande envoyée » à 0 rad.



- Cliquer sur ENVOYER. Cette première manipulation permet de caler à 0 l'angle de phase.
- A l'affichage du message de fin d'acquisition, cliquer sur NON.
- Recommencer avec une commande de 1 rad. Arrêter les moteurs en fin d'acquisition.

Sur la mesure ainsi obtenue, il est notable que lorsque la commande est nulle (phase nulle), l'angle de tangage n'est pas nécessairement nul ! Cela s'explique par le fait que les aimants du rotor ne sont pas forcément calés sur la verticale locale. Il faudra donc analyser ce résultat en tenant compte de cette condition initale non nulle.

Le fichier Brushless.zcos propose une ébauche de modélisation sous Scilab de la chaine d'énergie.

Activité 11 Simulation du modèle de connaissance et validation

- Lancer le logiciel Scilab, lancer le module Xcos en cliquant sur puis ouvrir le fichier « Brushless.zcos ».
- Compléter le modèle proposé conformément au schéma proposé en activité 9. On utilisera pour cela les blocs à disposition dans la zone de travail du logiciel. On prendra $J_T = 10^{-3}$ kg.m^2.
- Lancer la simulation en cliquant sur .
- Conclure sur la validité du modèle. Expliquer l'origine des écarts constatés.

III-OPTIMISATION ET IDENTIFICATION DU MODELE DE COMPORTEMENT DYNAMIQUE

Objectif : Il s'agit dans cette partie d'améliorer le modèle dynamique par la prise en compte de phénomènes d'amortissements

III.1 MODELE DE FROTTEMENT

Afin de pallier les problèmes constatés, on retient dans un premier temps un modèle de frottement complet intégrant une composante de frottements secs modélisée par un couple résistant équivalent ramené sur l'axe moteur et constant noté C_{fsecT} ; ainsi qu'une composante de frottements visqueux modélisée par un coefficient de frottements visqueux équivalent ramené sur l'axe moteur et noté f_{vT}.

L'équation de mouvement devient alors : $\boxed{C_m(t) = J_T.\dfrac{d\omega_{T/Rg}(t)}{dt} + f_{vT}.\omega_{T/Rg}(t) + C_{fsecT}}$

Activité 12 Prise en compte dans la modélisation par schéma-bloc des phénomènes de frottements

- Sur le document réponse 2, proposer une modification du schéma-bloc permettant la prise en compte des phénomènes de frottements
- En mesurant la valeur finale atteinte sur la mesure de l'activité 10 (réponse à un échelon de phase), justifier qu'il est possible de négliger l'influence des frottements secs.

III.2 IDENTIFICATION DES PARAMETRES DU MODELE ET VALIDATION

Pour la fin du TP, les frottements secs sont négligés devant les frottements visqueux : $C_{fsecT} = 0$.

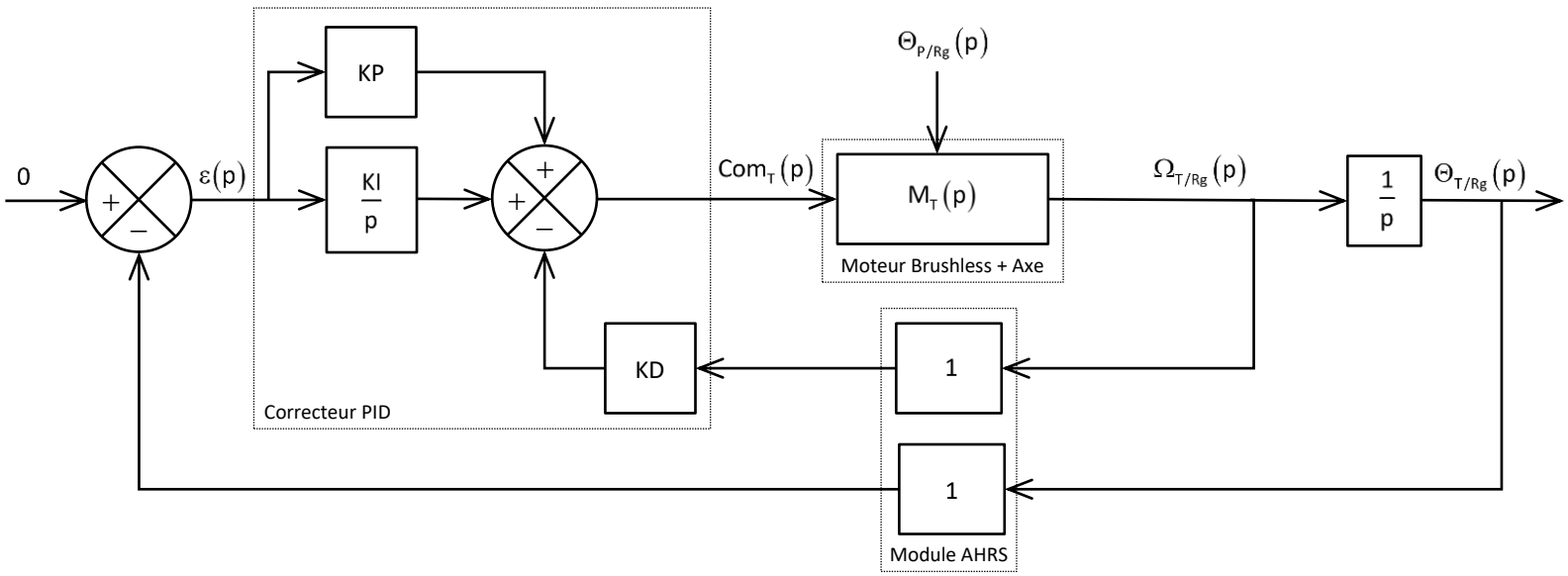
Activité 13 Evaluation des paramètres du modèle

- A partir de la modélisation retenue sur le document réponse 2, calculer la fonction de transfert du moteur et de l'axe de tangage $M_{T\Theta}(p) = \dfrac{\Theta_{T/Rg}(p)}{Com_T(p)}$ en ne considérant aucune perturbation, c'est à dire aucun mouvement des poignées : $\Theta_{P/Rg}(p) = 0$.
- Mettre cette fonction sous forme canonique.
- Par identification avec la mesure de l'activité 10, proposer et mettre une méthode permettant d'évaluer le moment d'inertie J_T ainsi que le coefficient de frottement visqueux f_{vT}. On rappelle que la constante de couple est donnée : $K_m = 0{,}1$ N.m

Activité 14 Validation

- Modifier le fichier Brushless.zcos sous Scilab pour tenir compte du frottement visqueux. Renseigner les valeurs trouvées pour J_T et f_{vT}.
- Lancer la simulation et conclure sur la validité du modèle.

Annexe 1 : schéma bloc de la commande en stabilisation de l'axe de tangage (ni roulis, ni lacet)



Notations

$\Theta_{Tr/Rg}$: Position angulaire de référence par rapport au Galiléen (consigne nulle ici)

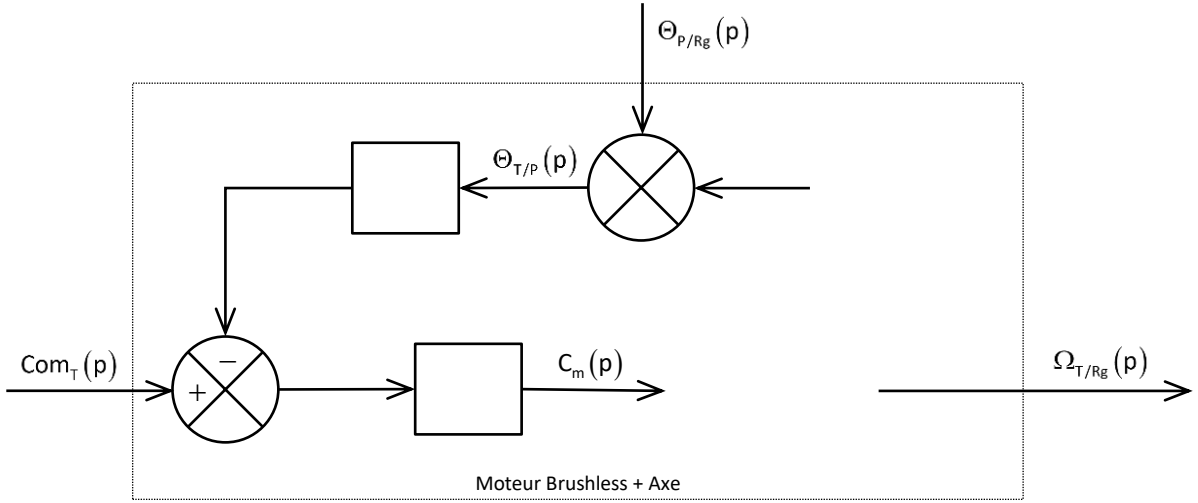
$\Theta_{T/P}$, $\Omega_{T/P}$: Position, vitesse angulaire de l'appareil par rapport à l'ensemble "poignées"

$\Theta_{P/Rg}$, $\Omega_{P/Rg}$: Position, vitesse angulaire de l'ensemble "poignées" par rapport au Galiléen

$\Theta_{T/Rg}$, $\Omega_{T/Rg}$: Position, vitesse angulaire de l'appareil par rapport au Galiléen

Com_T : Commande (phase) du moteur brushless

Document réponse 1 : modélisation de la chaine d'énergie par schéma bloc sans frottement



Notations

$\Theta_{Tr/Rg}$: Position angulaire de référence par rapport au Galiléen (consigne nulle ici)

$\Theta_{T/P}$, $\Omega_{T/P}$: Position, vitesse angulaire de l'appareil par rapport à l'ensemble "poignées"

$\Theta_{P/Rg}$, $\Omega_{P/Rg}$: Position, vitesse angulaire de l'ensemble "poignées" par rapport au Galiléen

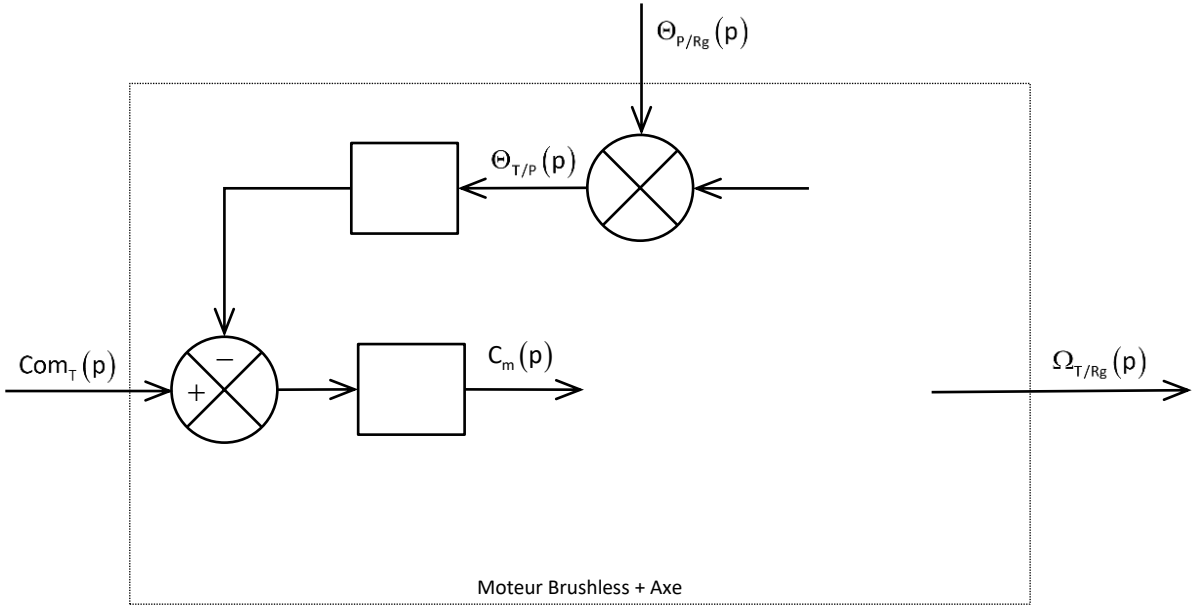
$\Theta_{T/Rg}$,$\Omega_{T/Rg}$: Position, vitesse angulaire de l'appareil par rapport au Galiléen

Com_T : Commande (phase) du moteur brushless

C_m : Couple moteur exercé par le stator sur le rotor du moteur

Θ_e : Angle "électrique"

Document réponse 2 : modélisation de la chaine d'énergie par schéma bloc avec frottement



Notations

$\Theta_{Tr/Rg}$: Position angulaire de référence par rapport au Galiléen (consigne nulle ici)

$\Theta_{T/P}$, $\Omega_{T/P}$: Position, vitesse angulaire de l'appareil par rapport à l'ensemble "poignées"

$\Theta_{P/Rg}$, $\Omega_{P/Rg}$: Position, vitesse angulaire de l'ensemble "poignées" par rapport au Galiléen

$\Theta_{T/Rg}$,$\Omega_{T/Rg}$: Position, vitesse angulaire de l'appareil par rapport au Galiléen

Com_T : Commande (phase) du moteur brushless

C_m : Couple moteur exercé par le stator sur le rotor du moteur

$C_{f\,sec}$: Couple modélisant les frottements secs équivalents ramenés sur l'axe moteur

f_{vT} : Coefficient de frottements visqueux équivalents ramenés sur l'axe moteur

Θ_e : Angle "électrique"