

BGR-300

Boule gyrostabilisée à double-étage



**ACTIVITES
PEDAGOGIQUES
CPGE**

BGR-300 « Boule Gyrostabilisée double-étage »

Activités Pédagogiques CPGE

➤ Première et deuxième année

* : spécifique à la filière PTSTI-PT

- Analyser
 - Vérifier la satisfaction des exigences de suivi de la ligne de visée du pilote ;
 - Identifier l'architecture (chaînes d'information et d'énergie) de l'asservissement en vitesse (ou position) de l'axe optique et de l'asservissement en position (ou vitesse) de l'axe boule ;
 - Identifier l'architecture du BGR dans le cas :
 - Du suivi de la ligne de visée seul ;
 - De la réjection des perturbations seule ;
 - Du suivi de la ligne de visée en présence de perturbations.
- Modéliser
 - Associer et valider des modèles de chaque constituant des chaînes d'énergie (hacheur, moteur à courant continu, réducteur) ;
 - Associer et valider des modèles de comportement des capteurs utilisés (gyromètre, codeur incrémental, centrale inertielle capteur potentiométrique sans contact) ;
 - Modéliser la boucle en courant interne des moteurs ;
 - Modéliser l'architecture d'asservissement en mode simple étage ;
 - Modéliser l'architecture d'asservissement en mode double étages ;
 - Modéliser la cinématique du BGR et son influence sur la ligne de visée ;
 - Modéliser l'influence des masselottes d'équilibrage sur les performances de l'axe boule.
- Résoudre :
 - Simuler le comportement des axes du BGR, avec et sans correction, à l'aide d'outils numériques ;



- Expérimenter
 - Identifier le comportement du gyromètre ;
 - Identifier des fonctions de transfert (boucle de courant moteurs) ;
 - Identifier les valeurs de certaines caractéristiques (inerties) ;
 - Tester et mesurer les performances de l'axe boule en boucle ouverte et en boucle fermée (asservissement en vitesse) en mode simple étage ;
 - Tester et mesurer les performances des axes optique et boule en boucle ouverte et en boucle fermée (asservissements en vitesse et/ou position) en mode double étages ;
 - Mesurer l'influence de la perturbation (actions sur la poignée manuelle) sur les performances ;
 - Mesurer les performances du suivi de la ligne de visée avec les lunettes ;
 - Associer un modèle de comportement aux modes de vibration de la structure sans filtrage particulier ;
 - Comparer les mesures accessibles (vitesses, positions, intensités, tensions) aux courbes simulées.

- Concevoir
 - Valider, régler et implanter les correcteurs des boucles de courant ;
 - Valider, régler et implanter les correcteurs des axes asservis en vitesse ou en position ;
 - Valider, régler et implanter le filtre réjecteur associé au gyromètre (jeu des réducteurs) ;
 - Concevoir les liaisons encastrement démontable motoréducteur axe boule/châssis et motoréducteur axe optique/axe boule* ;
 - Concevoir les liaisons pivot axe boule/châssis et axe optique/axe boule*.

- Réaliser
 - Analyser la relation produit-procédé-matériau pour *:
 - les pièces métalliques usinées ;
 - les coques plastiques thermoformées ;
 - les pièces mécano-soudées.

- Communiquer
 - Exploiter des documents techniques dans une démarche de modélisation et de validation expérimentale ;
 - Décrire les chaînes fonctionnelles selon les formalismes de communication au programme.





TRAVAUX PRATIQUES S2I

Mise en œuvre d'un système pluritechnologique

ANALYSER (Lecture SysML et description CE-CI) et EXPERIMENTER (mise en œuvre du système)
CARACTERISER DES ECARTS

CONNAISSANCES VISEES

- Mettre en œuvre une démarche expérimentale ;
- S'approprier le fonctionnement d'un système pluritechnologique ;
- Identifier le besoin et les exigences ;
- Appréhender les analyses fonctionnelles et structurelles ;
- Rechercher et traiter des informations ;
- Identifier les écarts ;
- Identifier et décrire la chaîne d'information et la chaîne d'énergie du système ;
- Identifier les liens entre la chaîne d'énergie et la chaîne d'information ;
- Mettre en œuvre la chaîne d'acquisition.

PRE-REQUIS

- Lecture des diagrammes SysML (diagrammes des cas d'utilisation, de séquence, des exigences, de blocs internes) ;
- Description structurelle sous la forme chaîne d'énergie et chaîne d'information (CE-CI).

SITUATION DANS LA PROGRESSION

Premier semestre (S1), Première année

SUJET DU TP

- Modélisation au format CE-CI à partir de la description SysML et du système présent face à l'étudiant;
- Mise en œuvre du système et vérification des ses performances;

MATERIEL MIS EN OEUVRE

- Boule gyrostabilisée BGR-300 ;
- Logiciel d'acquisition de BGR-300 ;
- EMP du BGR-300 ;
- Description SysML du BGR-300 donnée sous Magic-Draw

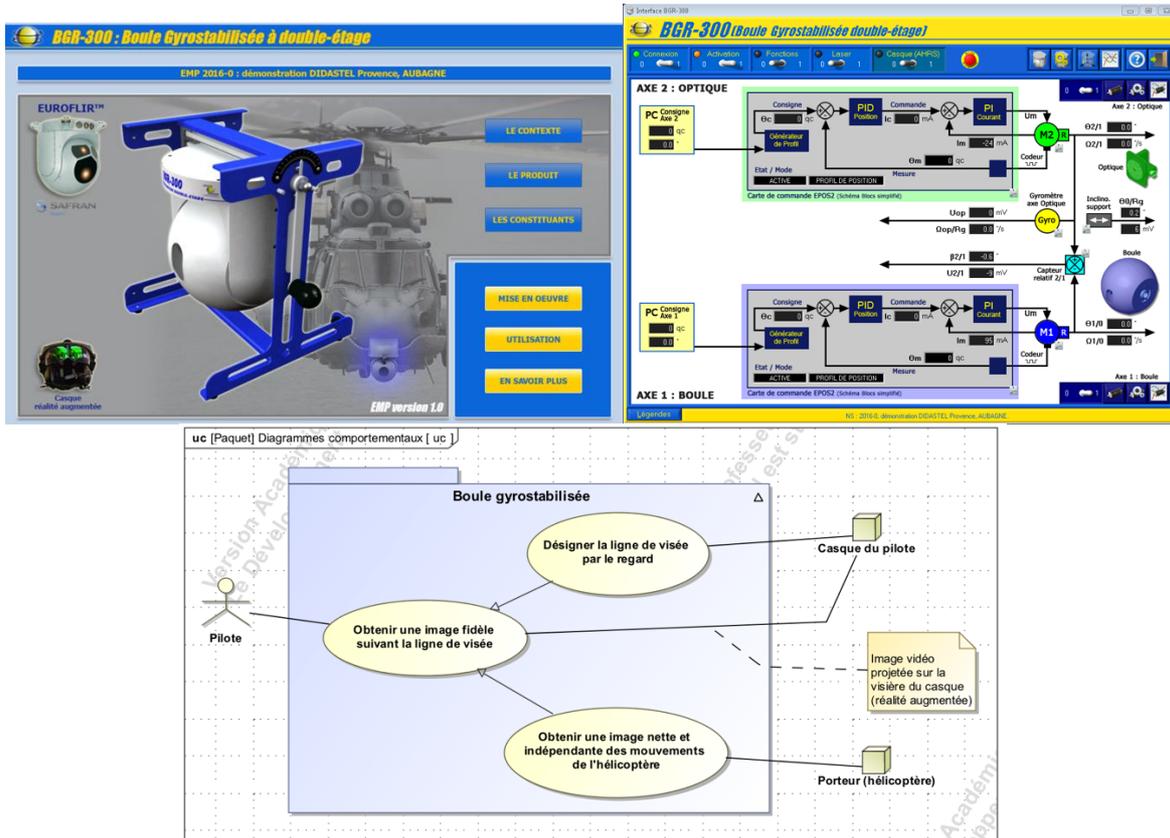


PRESENTATION DU SYSTEME

Le BGR-300 est un système issu du milieu aéronautique et militaire.

Toutes les informations de présentation, les données techniques, et les descriptions du système sont données dans :

- la description SysML fournie ;
- l'Environnement Multimédia Pédagogique (EMP) ;
- l'interface BGR-300 (logiciel de pilotage et de mesure).



Objectif et démarche employée dans le TP

Ce TP a pour objectif de faire découvrir le système complexe BGR-300 par sa mise en œuvre, l'analyse du besoin, des exigences et l'analyse structurale et fonctionnelle.

Pour cela, la démarche employée sera la suivante :

- mettre en œuvre de la procédure d'initialisation et la justifier vis-à-vis du choix des capteurs utilisés ;
- mettre en œuvre de la visée à l'aide des lunettes et de la gyrostabilisation et valider les exigences associées;
- à partir de la lecture des diagrammes internes de bloc et observation du système, modéliser la structure du BGR-300 sous la forme CE-CI ;
- quantifier les écarts entre les performances mesurées et les performances souhaitées issues du diagramme des exigences ;
- conclure.

A- PREMIERE MISE EN OEUVRE

► **ACTIVITE 1 : Mettre en œuvre le système afin de commander la ligne de visée avec les lunettes.**

Oter la demi sphère avant du carter du BGR-300. (voir EMP, UTILISATION : DEPOSE/POSE BOULE AVANT)

À l'aide du menu UTILISATION de l'EMP, réaliser la CONNEXION BGR-300 INTERFACE PC. Les descriptions des chaînes des étages boule (gros) et optique (fin) sont données sous forme d'ibd dans la description SysML. Il est possible de retrouver la description des constituants dans l'EMP, menu les CONSTITUANTS.

Question A.1 : Compte tenu de la nature des codeurs associés à chacune des deux motorisations, justifier la nécessité de la prise d'origine sur chacun des étages. En observant le mouvement de l'étage boule (gros) lors de l'initialisation, préciser comment est faite la prise d'origine de cet étage.

À l'aide du menu UTILISATION de l'EMP, réaliser la CONNEXION des LUNETTES AHRS

Question A.2 : À l'aide du synoptique du logiciel BGR-300 qui donne en temps réel les mesures issues du capteur AHRS placé sur les lunettes, indiquer les grandeurs physiques mesurées. Par rapport à quel référentiel sont mesurées ces grandeurs physiques ?

À l'aide du menu UTILISATION de l'EMP, réaliser l'ACTIVATION de la COMMANDE CASQUE et choisir GYROSTABILISATION double étage avec Commande CASQUE.

Allumer le LASER (mettre le sélecteur sur 1) et placer les lunettes sur les yeux.

Question A.3 : À l'aide des explications données dans l'EMP, rubrique LE CONTEXTE : PRINCIPE EUROFLIR, vérifier qualitativement que la ligne de visée du BGR_300 reste conforme à la ligne de visée du pilote (le mouvement du porteur peut être simulé par une action sur la poignée).

Question A.4 : Quelles exigences peuvent être vérifiées grâce à l'essai précédent ? (la vérification sera réalisée dans la suite du TP)

B-ANALYSE DES CHAÎNES FONCTIONNELLES

► **ACTIVITE 2 : A partir de la description SysML et de la mise en œuvre des chaînes fonctionnelles, décrire le sous ensemble « axe optique » sous la forme Chaîne d'information et Chaîne d'énergie.**

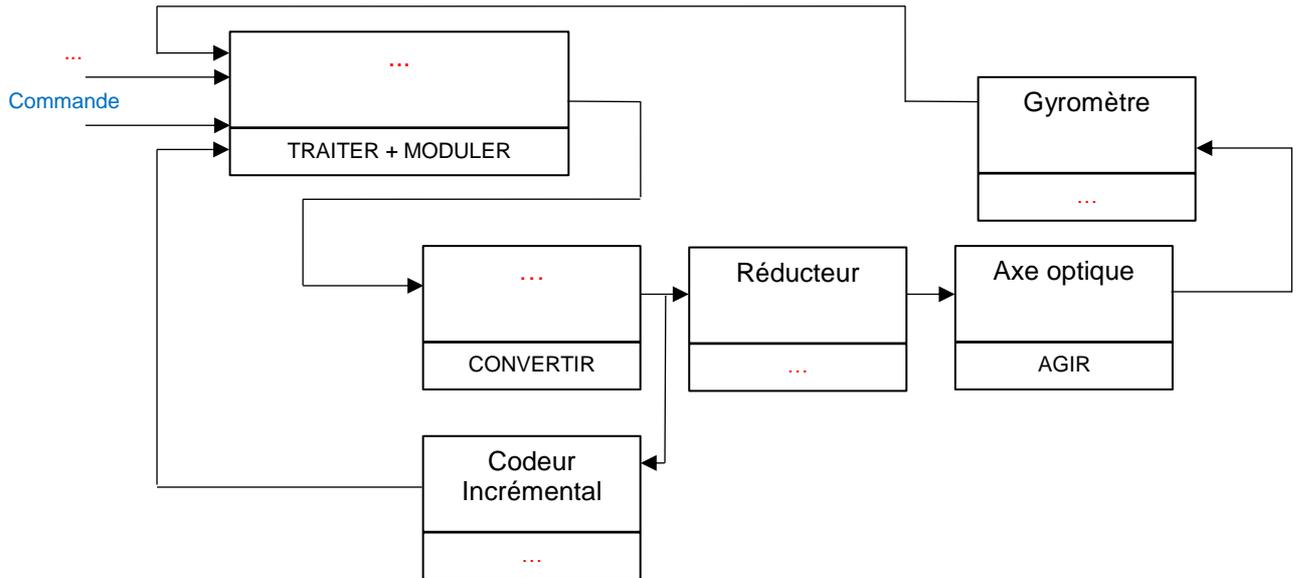
Dans l'EMP, menu LES CONSTITUANTS, il est possible d'avoir toutes les informations relatives à l'axe (étage) optique (numéroté axe 2 dans l'EMP).

Question B.1 : À partir de la description de l'EMP et de la description SysML fournie, localiser sur le système les composants du sous ensemble « axe optique ».

Question B.2 : Compléter le diagramme CE-CI du sous ensemble « axe optique » donné ci-dessous. SURLIGNER :

- en BLEU les éléments de la chaîne d'information et les flux d'information ;
- en ROUGE les éléments de chaîne d'énergie et les flux d'énergie.



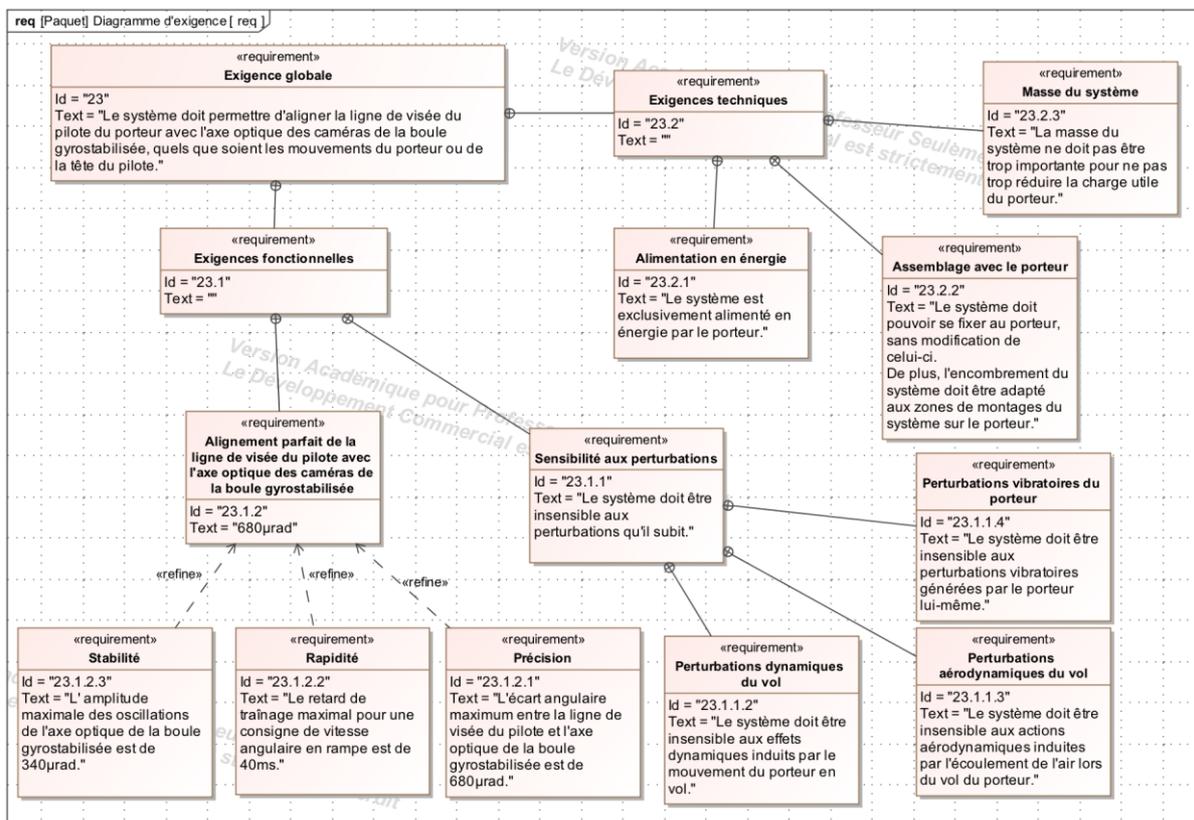


Question B.3 : À l'aide de la documentation fournie dans l'EMP, indiquer la nature du signal émis par le gyromètre. Quelle grandeur physique est ainsi acquise ?

C- MESURE DES PERFORMANCES DE L'AXE OPTIQUE

► **ACTIVITE 3** : Utiliser l'interface de mesure afin de quantifier l'écart entre les performances mesurées de l'axe optique et les exigences attendues.

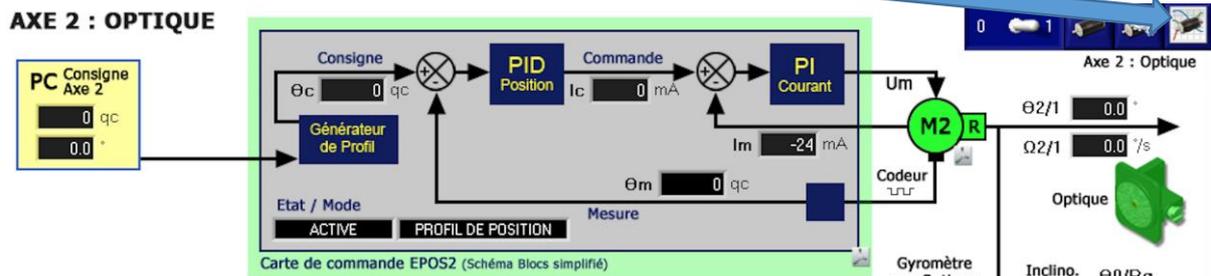
Les exigences sont données sur le diagramme suivant (extrait de la description SysML fournie)



Question C.1 : Indiquer (en les repérant à l'aide de leur identifiant) les exigences directement liées à l'axe optique. Préciser si ces dernières doivent être vérifiées (satisfaites) même si seul l'axe optique est utilisé par le BGR.

Question C.2 : La résolution du codeur incrémental est-elle suffisante pour mesurer les performances de l'axe optique compte tenu des valeurs numériques des exigences (le codeur est doté de deux voies et peut détecter les fronts montants et les fronts descendants)?

En cliquant sur cet icône, il est possible de solliciter l'axe optique seul.



Cliquer sur  afin de choisir un période d'échantillonnage de 3 ms

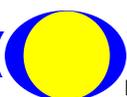
Cliquer sur  afin de choisir une consigne de POSITION (Pas un profil de position) de 10°

Question C.3 : Réaliser le protocole expérimental de réponse à un échelon de position, et préciser quelles exigences (parmi Stabilité, Rapidité et Précision) de l'axe optique seul peuvent être mesurés.

Cliquer sur  afin de choisir une consigne de PROFIL DE POSITION (Pas position) de 30° avec une vitesse de 12000 rpm et des accélérations (décélération) de 50000 rpm/s

Question C.4 : Réaliser le protocole expérimental de réponse à un trapèze de vitesse, et préciser quelles exigences (parmi Stabilité, Rapidité et Précision) de l'axe optique seul peuvent être mesurés.

Question C.5 : Conclure en caractérisant l'écart entre les performances de Stabilité, Rapidité et Précision de l'axe optique seul (exigences) et celles mesurées.



TRAVAUX PRATIQUES S2I

Mise en œuvre d'un système pluritechnologique

ANALYSER (Lecture SysML et description CE-CI) et **EXPERIMENTER** (mise en œuvre du système)
MODELISER le comportement par identification(SLCI)
RESOUDRE par simulation numérique

CONNAISSANCES VISEES

- Analyser les architectures fonctionnelle et structurelle
- Identifier et décrire la chaîne d'information et la chaîne d'énergie du système
- Analyser ou établir le schéma-bloc du système
- Renseigner les paramètres caractéristiques d'un modèle de comportement (premier ordre, deuxième ordre, dérivateur, intégrateur, gain, retard)
- Prévoir les performances en termes de rapidité
- Identifier les paramètres caractéristiques d'un modèle du premier ordre ou du deuxième ordre à partir de sa réponse indicielle

PRE-REQUIS

- Chaîne d'information et d'énergie : diagrammes de blocs internes
- Schéma-bloc : fonction de transfert en chaîne directe, fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée
- Modèles de comportement
- Réponse temporelle: modèle du 1^{er} ordre, identification temporelle d'un modèle de comportement

SITUATION DANS LA PROGRESSION

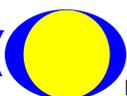
Premier semestre (S1), Première année

SUJET DU TP

- Architecture de la boucle interne de position et de la boucle en vitesse de la gyrostabilisation de l'axe Boule seul
- Mise en évidence de la problématique (performances de l'asservissement)
- Modélisation, identification et validation du modèle de la boucle externe en vitesse par simulation

MATERIEL MIS EN OEUVRE

Boule gyrostabilisée BGR-300 ;
 Logiciel d'acquisition de BGR-300 ;
 EMP du BGR-300 ;
 Description SysML du BGR-300.

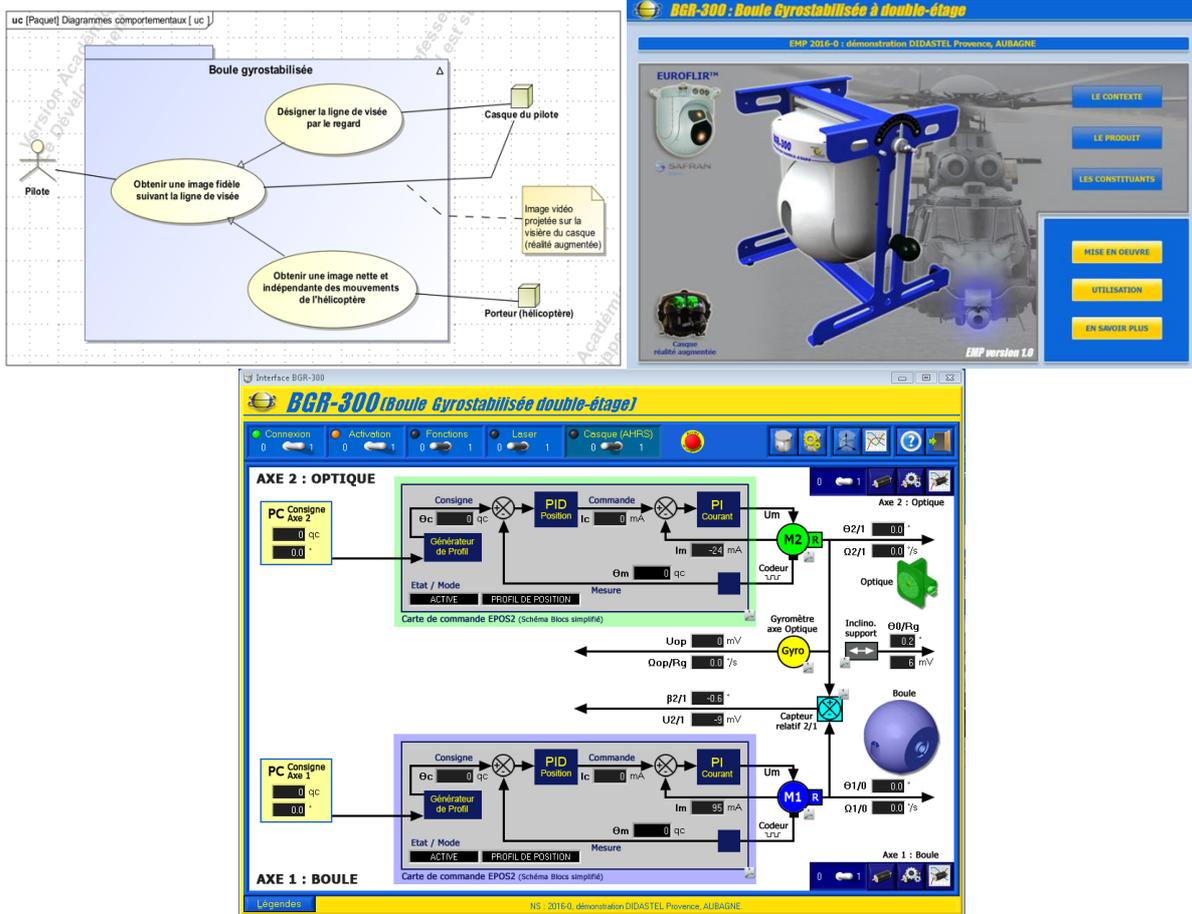


PRESENTATION DU SYSTEME

Le BGR-300 est un système issu du milieu aéronautique et militaire. Il s'agit d'une boule gyrostabilisée qui inclut normalement des caméras multiples en vue d'améliorer la vision du pilote d'un hélicoptère.

Toutes les informations de présentation, les données techniques et les descriptions du système sont données dans :

- la description SysML fournie ;
- l'Environnement Multimédia Pédagogique (EMP) ;
- l'interface BGR-300 (logiciel de pilotage et de mesure).



Objectifs du TP

Ce TP a pour objectif de modéliser le comportement de l'axe Boule seul du BGR-300 par identification et de valider ce modèle par des essais sur le système.

Pour cela, la démarche employée sera la suivante :

- Mise en œuvre du système à 2 axes;
- Mise en œuvre du système à 1 axe : l'axe Boule;
- Identification d'un modèle de comportement en boucle ouverte de l'axe Boule ;
- Modélisation et simulation de la boucle d'asservissement en vitesse interne à la carte EPOS2 de l'axe Boule (sans tenir compte de la gyrostabilisation mono-axe faisant intervenir le gyromètre) ;
- Validation des différents modèles identifiés à l'aide d'essais sur le système réel ;

A - MISE EN OEUVRE DU SYSTEME COMPLET

Objectif : mettre en œuvre le système pour découvrir le principe de son fonctionnement et identifier ses chaînes fonctionnelles.

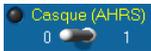
► **ACTIVITE 1** : Mettre en œuvre le système BGR-300 afin de commander la ligne de visée avec les lunettes.

À l'aide du menu UTILISATION de l'EMP, réaliser la CONNEXION BGR-300 INTERFACE PC. Les descriptions des chaînes des axes Boule (gros) et Optique (fin) sont données sous forme d'ibd dans la description SysML. Il est possible de retrouver la description des constituants dans l'EMP, menu les CONSTITUANTS.

Question A.1 : A partir des observations effectuées sur le système lors de l'établissement de la connexion et des diagrammes SysML fournis, identifier la nature des capteurs utilisés lors de l'initialisation de l'axe Boule. Préciser comment est faite la prise d'origine de cet axe.

Activation du casque :

À l'aide du menu UTILISATION de l'EMP, réaliser la CONNEXION des LUNETTES AHRS.

Pour se faire, connecter le casque à un port usb libre du PC, basculer le sélecteur  sur 1 et suivre les instructions. Si le port COM n'est pas connu, cliquer sur  pour le rechercher automatiquement.

Une fois le casque bien connecté, le sélecteur associé devient .

Choix de la fonction :



Mettre le BGR-300 vertical (position normale), orifice avant vers un mur clair.

Aller dans paramétrer BGR-300  /Choix FONCTIONS et sélectionner GYROSTABILISATION double étage avec Commande CASQUE dans la liste déroulante.

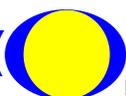


Sortir ensuite du menu en cliquant sur .

Activation du laser:

À l'aide du menu UTILISATION de l'EMP, réaliser l'ACTIVATION du LASER en basculant le sélecteur  sur 1.

ATTENTION : veiller à ce qu'il n'y ait personne entre le laser et le mur de projection.

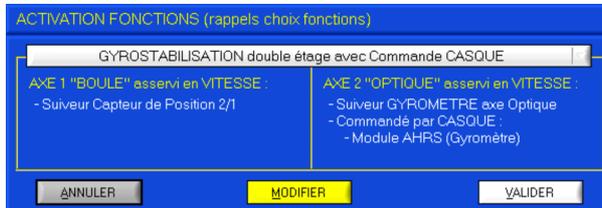


Activation de la fonction choisie :

Mettre le CASQUE.

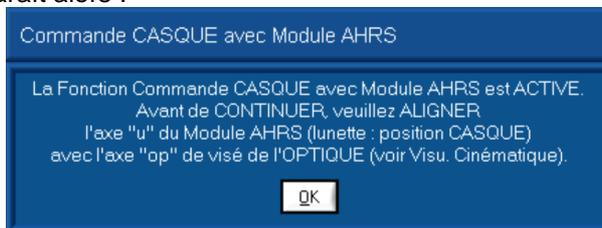
Activer la fonction choisie en basculant le sélecteur  sur 1.

La fenêtre suivante apparaît :



Après vérification que la fonction choisie est la bonne, cliquer sur VALIDER.

Le message suivant apparaît alors :



Il suffit alors de regarder le point rouge du laser sur le mur de projection et de cliquer sur OK.



Effectuer ensuite un mouvement de tête vertical et observer le comportement du point rouge du laser sur le mur de projection. Ensuite, observer le comportement du système en regardant le système et effectuant le même mouvement de tête.



Recréer un mouvement équivalent à celui du porteur du système (exemple : hélicoptère) en regardant un point fixe du laser sur le mur de projection et en agissant sur la poignée manuelle noire. Observer le comportement du système.

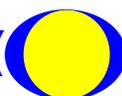
Désactivation de la fonction choisie:

Désactiver ensuite la fonction en positionnant le sélecteur  sur 0.

Question A.2 : À l'aide des explications données dans l'EMP, rubrique LE CONTEXTE : PRINCIPE EUROFLIR, vérifier qualitativement que la ligne de visée du BGR-300 reste conforme à la ligne de visée du pilote.

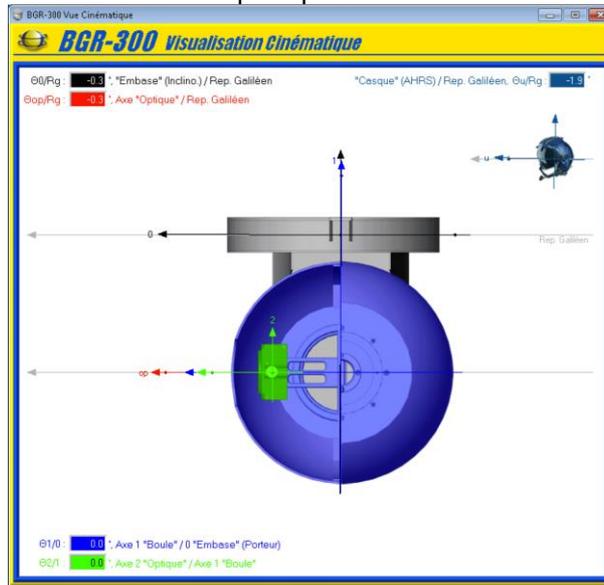
► ACTIVITE 2 : Observer et analyser le fonctionnement interne du BGR-300.

Oter la demi-sphère avant du carter du BGR-300 (voir EMP, UTILISATION : DEPOSE/POSE BOULE AVANT).





Si cela n'est pas déjà fait, activer l'animation cinématique en temps réel en cliquant sur l'icône. La fenêtre suivante s'ouvre à côté de l'écran principal :



Incliner la tête jusqu'à ce que le vecteur u associé au casque sur l'animation cinématique soit horizontal.



Activer de nouveau la fonction à l'aide du sélecteur puis effectuer un mouvement vertical de la tête plus ou moins rapide et observer l'animation cinématique (Optique : repère vert ; Boule : b repère bleu) ainsi que l'intérieur du système.

Question A.3 : À l'aide des diagrammes SysML fournis et des observations effectuées, identifier combien de chaînes cinématiques doivent être mues simultanément pour réaliser la fonction de suivi de la ligne de visée du pilote par le BGR-300.

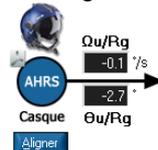
Désactiver la fonction, puis le laser, puis le casque puis la visualisation cinématique (en cliquant à



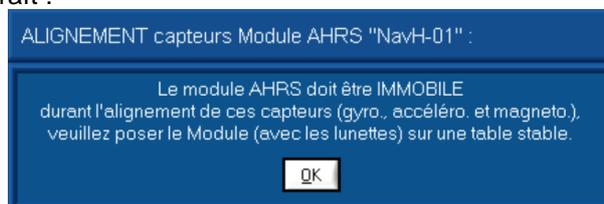
nouveau sur). Oter le casque et le poser sur la table. Remettre le BGR-300 en position angulaire neutre et revisser la poignée manuelle noire pour verrouiller la position du porteur en position « neutre ».

Remarque :

S'il y a un décalage entre le point visé et la position du pointeur laser, il faut retourner sur l'écran principal, désactiver la fonction, puis cliquer sur Aligner :



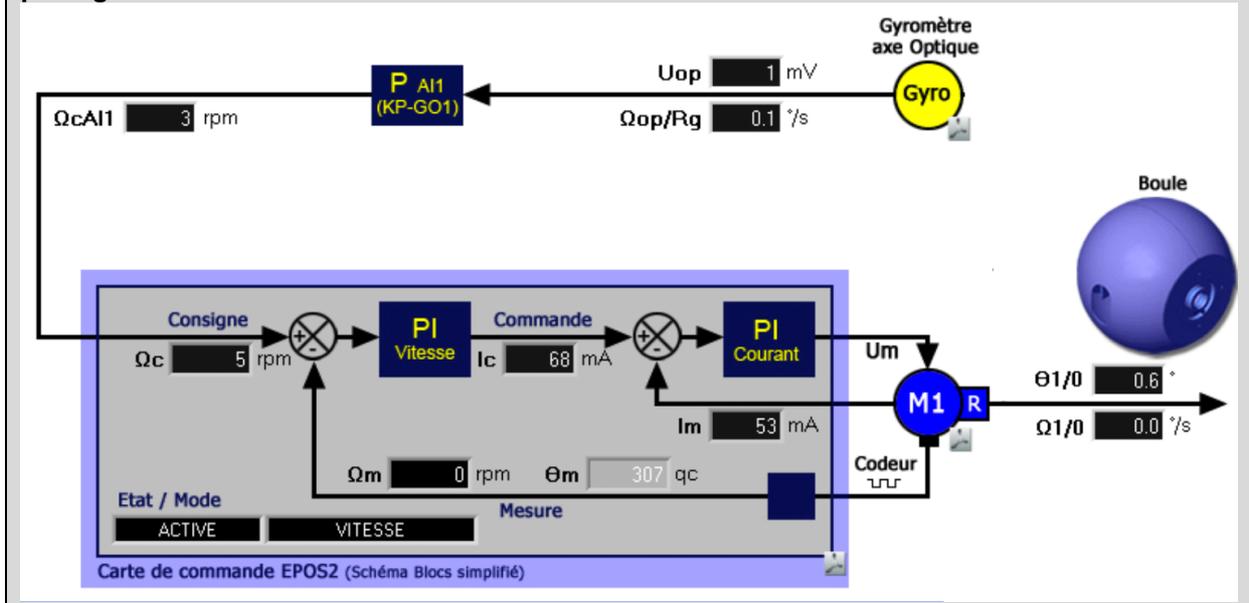
La fenêtre suivante apparaît :



Suivre les instructions indiquées. □

Compte-tenu de la complexité élevée du système, l'étude qui va suivre se limitera au cas de boules gyrostabilisées mono-axe. Ces solutions reviennent à mouvoir les optiques de la boule gyrostabilisée UNIQUEMENT à l'aide de l'axe Boule seul, l'axe Optique étant immobile et aligné par rapport à l'axe Boule.

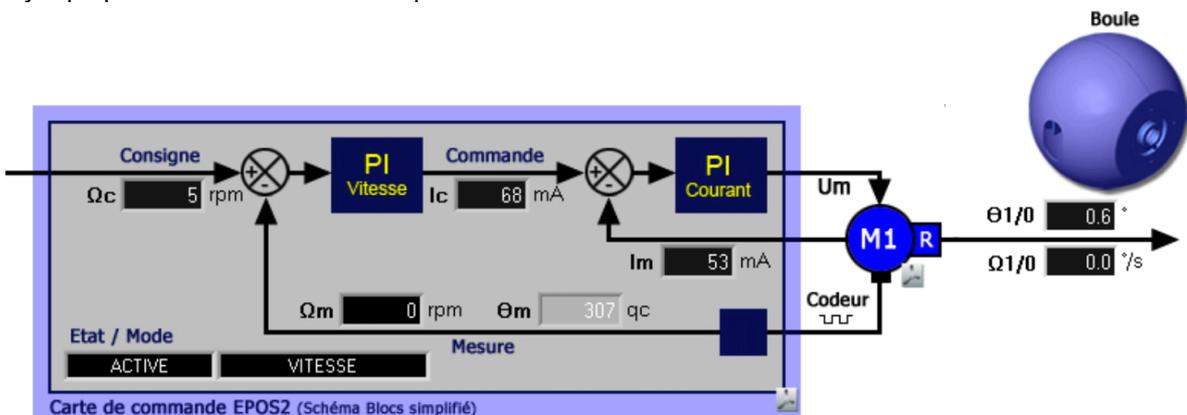
La suite de ce TP va donc s'appuyer sur le synoptique partiel suivant, visible sur l'interface de pilotage du BGR :



B - MODELISATION DU COMPORTEMENT DE L'AXE BOULE SEUL EN BOUCLE OUVERTE

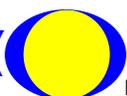
Objectif : établir un premier modèle de comportement simple de l'axe Boule seul en boucle ouverte, c'est-à-dire sans tenir compte de la boucle de gyrostabilisation faisant intervenir le gyromètre situé physiquement sur l'axe optique

Le synoptique d'étude se limite donc pour l'instant à :

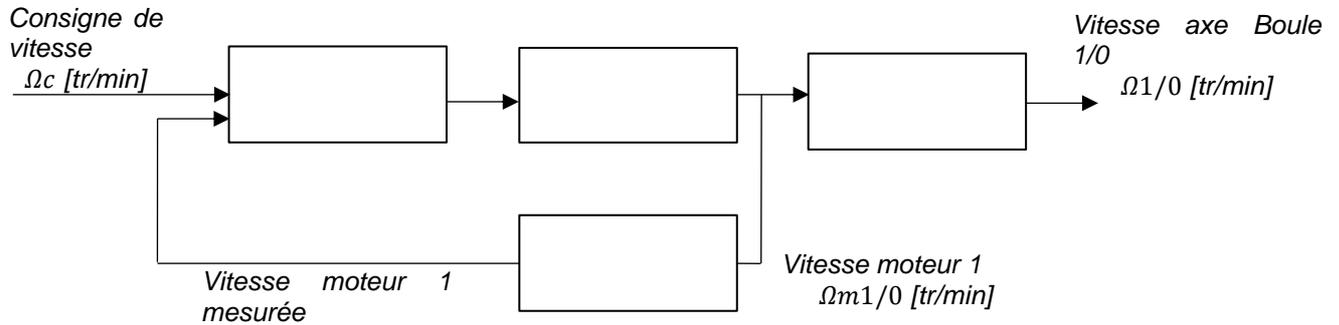


Afin de modéliser simplement le comportement de cette partie du système, la méthode proposée est d'identifier le modèle de l'axe Boule en boucle ouverte à partir d'essais.

► **ACTIVITE 3 :** décrire l'architecture de l'axe Boule seul à l'aide d'un diagramme Chaîne d'énergie/Chaîne d'information.

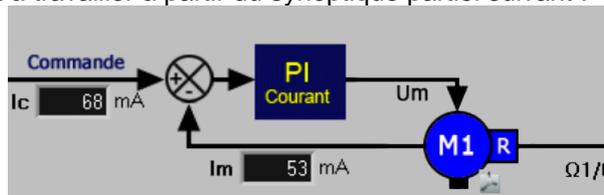


Question B.1 : A l'aide des diagrammes structurels SysML fournis, de l'EMP et du synoptique ci-dessus, compléter la description de l'axe Boule sous la forme d'un diagramme Chaîne d'énergie/Chaîne d'information ci-dessous. Préciser la nature, la variable et l'unité des flux au sein de ce diagramme.



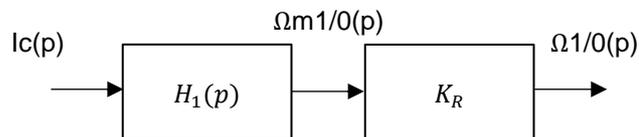
► **ACTIVITE 4 :** Réaliser une mesure pour identifier le comportement de l'ensemble {hacheur 1, moteur M1, réducteur R, boucle de courant (avec PI courant)}.

Dans ce cas, cela revient à travailler à partir du synoptique partiel suivant :

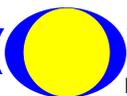


- I_c représente le courant de consigne (en mA) envoyé à la carte de commande, incluant le hacheur (pré-actionneur) ;
- I_m représente le courant qui circule dans le moteur M1 (actionneur), mesuré (en mA) par un capteur de courant ;
- PI Courant représente un correcteur Proportionnel-Intégral qui permet d'optimiser les performances de l'asservissement du courant moteur I_m à la valeur de consigne I_c (appelé aussi boucle de courant) visible sur le synoptique ;
- U_m représente la tension moteur (en V) envoyée à la machine à courant continu M1 ;
- R est le réducteur associé au moteur M1. La Boule est encastrée sur l'arbre de sortie de ce réducteur ;
- $\Omega_{1/0}$ (en tr/min) représente la vitesse angulaire de l'axe Boule par rapport au porteur 0.

L'idée consiste à chercher à modéliser simplement cette partie de synoptique sous la forme du schéma-bloc suivant dans le domaine de Laplace :



Question B.2 : Identifier les constituants du BGR-300 dont le comportement est modélisé par les bloc $H_1(p)$ et K_R . A partir de l'EMP, proposer une valeur pertinente pour le gain K_R .



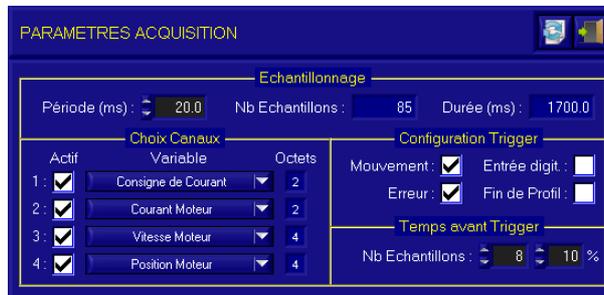


Mettre le système BGR-300 en position couchée, poignée manuelle noire sur le dessus comme sur la photo ci-contre.

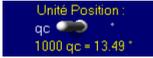
Question B.3 : Justifier l'intérêt d'effectuer des essais sur le BGR-300 en position couchée dans l'objectif d'identifier un modèle simple du comportement de l'axe Boule.

Cliquer sur l'icône  dans la barre de menu EPOS associée à l'axe Boule .

Paramétrer l'Acquisition  comme sur l'image suivante :



Sortir du menu .

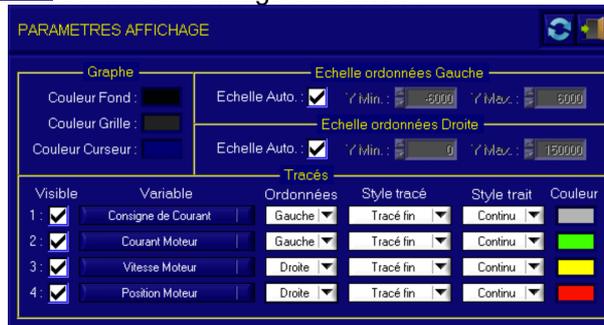
Basculer le sélecteur  sur la position degré (°).

Cliquer ensuite sur  et sélectionner le Mode asservissement COURANT (BO).

Régler la valeur de consigne de courant à 300 mA.

Cliquer ensuite sur ENVOYER et observer le comportement du système.

Paramétrer l'Affichage  comme sur l'image suivante :



Sortir du menu .



Remarque 1 : ne pas s'inquiéter si le message suivant apparaît. Valider en cliquant sur Ok.



Remarque 2 : si le message suivant apparaît :



Dans ce cas penser à modifier la consigne en courant avec un signe opposé pour que le système aille en sens inverse.

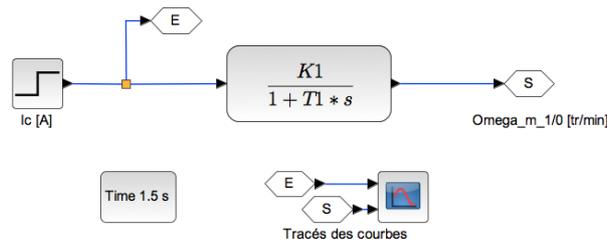
Remarque 3 :

Si il n'est plus possible de commander l'étage choisi (icône grisée), penser à activer à nouveau l'étage choisi à l'aide du sélecteur . Une sécurité a dû être déclenchée lors de l'essai précédent.

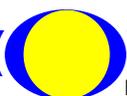
Question B.4 : A partir de l'analyse de la courbe Consigne de courant (blanche) et Vitesse moteur (jaune), proposer et justifier un modèle simple de comportement associé à la transmittance $H1(p)$. Déterminer les valeurs numériques de ses paramètres caractéristiques.

Question B.5 : Analyser l'allure des courbes Consigne de courant (blanche) et Courant moteur (rouge) et justifier qualitativement l'intérêt d'une boucle de courant optimisée comme celle implantée au sein de la carte de commande EPOS2.

Compléter le modèle Scilab fourni Boule_modele_H1.zcos en éditant les valeurs des paramètres dans le contexte (Menu Simulation/Contexte) et lancer la simulation.



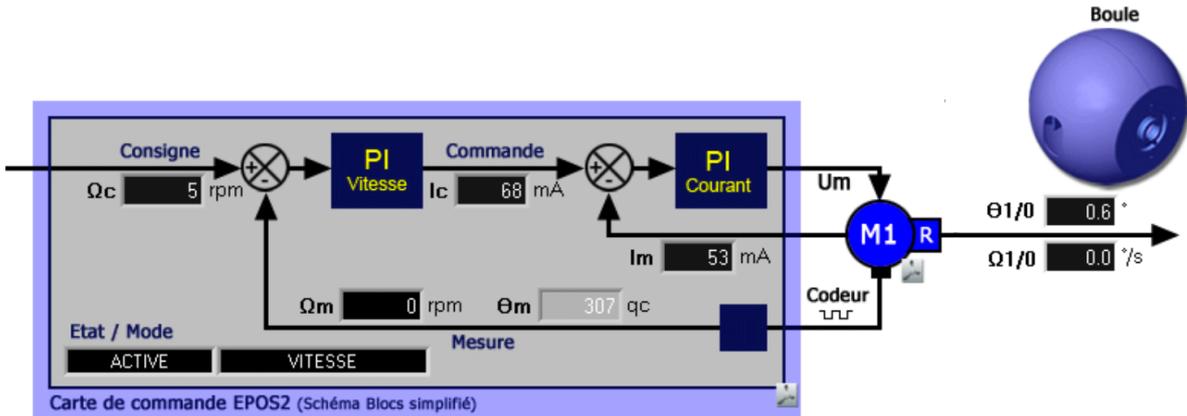
Question B.6 : Comparer les courbes de simulation et celles de l'essai réalisé et conclure quant à la validité du modèle $H1(p)$ établi précédemment. Pour cela, il faudra s'appuyer sur des critères de performances quantitatifs précis.



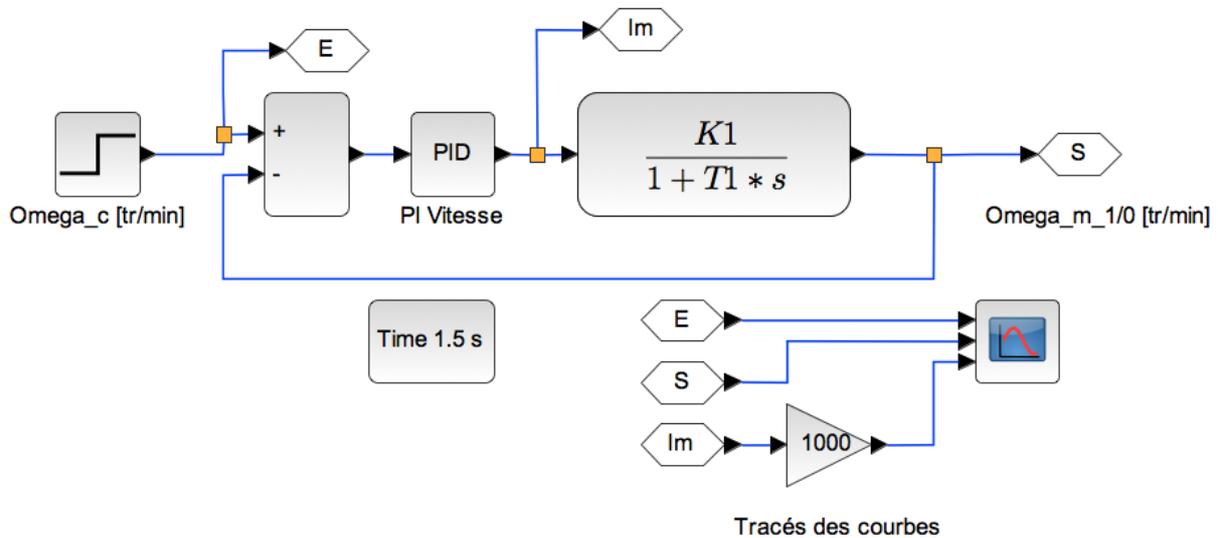
C - MODELISATION DU COMPORTEMENT DE L'AXE BOULE SEUL EN BOUCLE INTERNE FERMEE DE VITESSE

Objectif : établir un modèle de comportement simple de l'axe Boule seul en boucle fermée de vitesse mais non gyrostabilisée, c'est-à-dire sans tenir compte de la boucle de gyrostabilisation faisant intervenir le gyromètre situé physiquement sur l'axe optique

La carte EPOS utilisée ne permet pas de piloter le moteur en vitesse sans utiliser le codeur incrémental monté directement sur l'arbre moteur (voir synoptique ci-dessous).



A l'aide des résultats précédents, un modèle associé à ce synoptique peut alors être représenté sous la forme suivante avec le logiciel Scilab (fichier Boule_modele_H1_boucle_vitesse.zcos) :

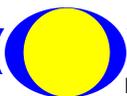


Question B.7 : Préciser l'ensemble des hypothèses qui ont permis d'aboutir à ce modèle en faisant le lien entre le synoptique et le schéma-bloc donnés. S'agit-il d'un asservissement en vitesse ? Comment se nomme le bloc PID de façon générique ? Quel est son rôle dans la structure ainsi modélisée. Justifier les réponses.

Lancer la simulation sous Scilab et analyser les courbes obtenues. (Remarque : les valeurs du PID ont été pré-réglées comme les valeurs par défaut paramétrées dans la carte EPOS2).

En vous inspirant de l'essai effectué précédemment :

- Paramétrer l'Acquisition  avec une Période d'échantillonnage de 5ms



- sélectionner le Mode asservissement VITESSE pour l'axe Boule , lancer le mouvement pour une consigne de vitesse en forme d'échelon d'amplitude 2000tr/min et tracer les courbes temporelles  associées à cette consigne de vitesse, la vitesse moteur et le courant moteur.

Question B.8 : Conclure quant à la validité du modèle en vitesse proposé. Au regard de l'essai effectué. Les comparaisons devront être qualitatives et quantitatives et s'appuieront sur des critères précis. Proposer un des raisons possibles qui font que le modèle ne donne pas une allure comparable aux courbes d'essais.

Fin du sujet



TRAVAUX PRATIQUES S2I

Mise en œuvre d'un système pluritechnologique

ANALYSER (Lecture SysML et description CE-CI) et EXPERIMENTER (mise en œuvre du système)
MODELISER le comportement par identification(SLCI)
RESOUDRE par simulation numérique

CONNAISSANCES VISEES

- Analyser les architectures fonctionnelle et structurelle
- Identifier et décrire la chaîne d'information et la chaîne d'énergie du système
- Analyser ou établir le schéma-bloc du système
- Renseigner les paramètres caractéristiques d'un modèle de comportement (premier ordre, deuxième ordre, dérivateur, intégrateur, gain, retard)
- Prévoir les performances en termes de rapidité
- Vérifier la cohérence des résultats d'expérimentation avec les valeurs souhaitées du cahier des charges
- Exploiter et interpréter les résultats d'une simulation numérique
- Vérifier la cohérence du modèle choisi avec des résultats d'expérimentation
- Mettre en œuvre une démarche de réglage d'un correcteur proportionnel intégral

PRE-REQUIS

- Chaîne d'information et d'énergie : diagrammes de blocs internes
- Schéma-bloc : fonction de transfert en chaîne directe, fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée
- Modèles de comportement et de connaissance
- Stabilité, Précision et Rapidité des systèmes asservis
- Correcteur proportionnel intégral
- Méthodes de réglage d'un correcteur proportionnel intégral

SITUATION DANS LA PROGRESSION

Troisième semestre (S3), Deuxième année

SUJET DU TP

- Architecture et modélisation de la boucle interne de courant de l'axe Boule
- Optimisation des performances vis-à-vis du cahier des charges de la boucle interne de courant par réglage du correcteur PI associé
- Architecture et modélisation de la boucle de vitesse de l'axe Boule
- Validation du modèle de la boucle de vitesse de l'axe Boule vis-à-vis des essais expérimentaux sur le système

MATERIEL MIS EN OEUVRE

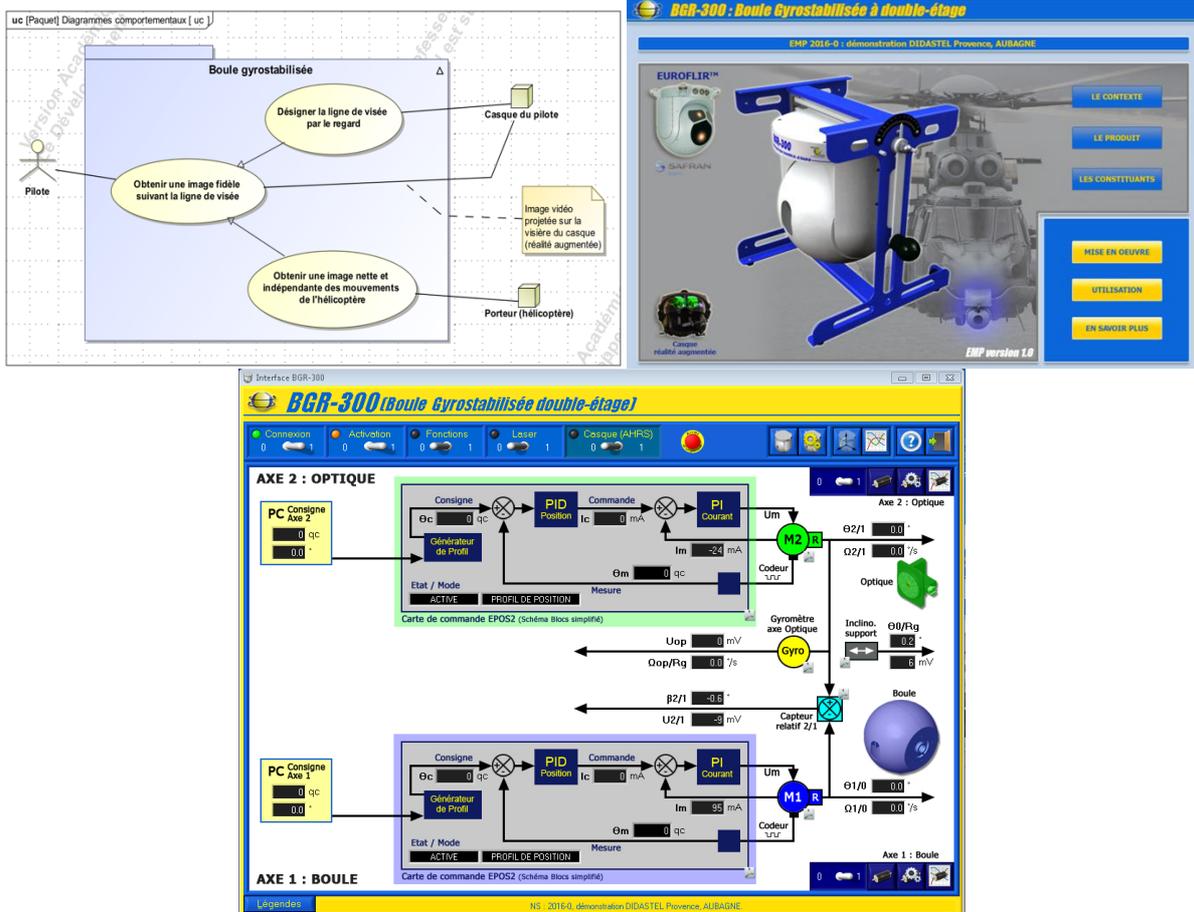
Boule gyrostabilisée BGR-300 ;
Logiciel d'acquisition de BGR-300 ;
EMP du BGR-300 ;
Description SysML du BGR-300.

PRESENTATION DU SYSTEME

Le BGR-300 est un système issu du milieu aéronautique et militaire. Il s'agit d'une boule gyrostabilisée qui inclut normalement des caméras multiples en vue d'améliorer la vision du pilote d'un hélicoptère.

Toutes les informations de présentation, les données techniques et les descriptions du système sont données dans :

- la description SysML fournie ;
- l'Environnement Multimédia Pédagogique (EMP) ;
- l'interface BGR-300 (logiciel de pilotage et de mesure).



Objectifs du TP

Ce TP a pour objectif de modéliser le comportement de l'axe Boule seul non-gyrostabilisé du BGR-300 par identification et de valider ce modèle par des essais sur le système. Il s'agira également d'optimiser les performances de cet axe en choisissant et en réglant un correcteur adapté si nécessaire.

Pour cela, la démarche employée sera la suivante :

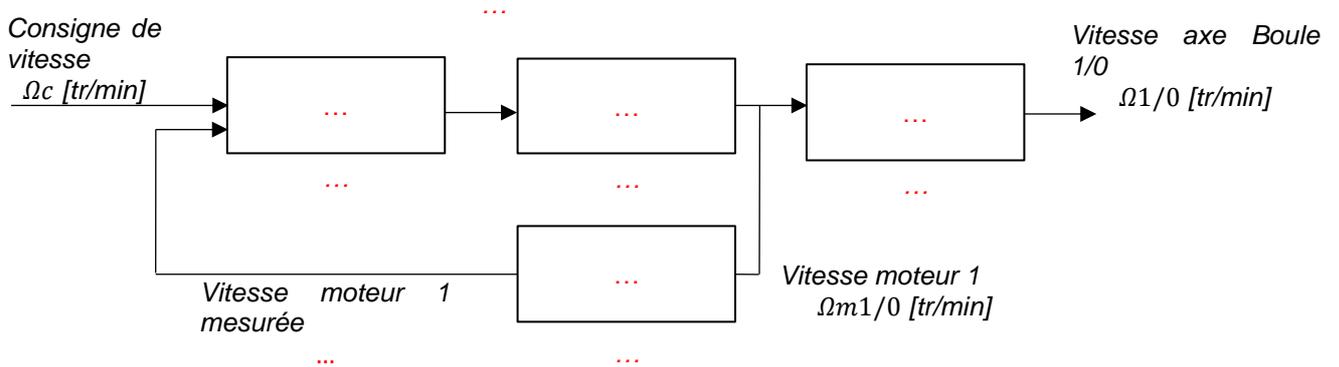
- Mise en œuvre du système à 2 axes;
- Mise en œuvre du système à 1 axe : l'axe Boule;
- Identification d'un modèle de comportement en boucle ouverte de l'axe Boule ;
- Modélisation et simulation de la boucle d'asservissement en vitesse interne à la carte EPOS2 de l'axe Boule (sans tenir compte de la gyrostabilisation mono-axe faisant intervenir le gyromètre) ;
- Validation des différents modèles identifiés à l'aide d'essais sur le système réel ;

1 MISE EN OEUVRE DU SYSTEME COMPLET

Objectif : mettre en œuvre le système pour découvrir le principe de son fonctionnement et identifier ses chaînes fonctionnelles.

Les descriptions des chaînes des axes Boule (gros) et Optique (fin) sont données sous forme d'ibd dans la description SysML. Il est possible de retrouver la description des constituants dans l'EMP, menu les CONSTITUANTS.

Question 1 : A l'aide des diagrammes structurels SysML fournis, de l'EMP et du synoptique ci-dessus, compléter la description de l'axe Boule non-gyrostabilisé sous la forme d'un diagramme Chaîne d'énergie/Chaîne d'information ci-dessous. Préciser la nature, la variable et l'unité des flux au sein de ce diagramme.



Activité 1 : Mettre en œuvre le BGR et ses lunettes à partir des instructions données ci-dessous.

1.1 Activation du casque :



À l'aide du menu UTILISATION de l'EMP, réaliser la CONNEXION des LUNETTES AHRS. Pour se faire, connecter le casque à un port usb libre du PC, basculer le sélecteur Casque (AHRS) sur 1 et suivre les instructions. Si le port COM n'est pas connu, cliquer sur pour le rechercher automatiquement.

Une fois le casque bien connecté, le sélecteur associé devient



1.2 Choix de la fonction :



Mettre le BGR-300 vertical (position normale), orifice avant vers un mur clair.

Aller dans paramétrer BGR-300 /Choix FONCTIONS et sélectionner GYROSTABILISATION double étage avec Commande CASQUE dans la liste déroulante.





Sortir ensuite du menu en cliquant sur

1.3 Activation du laser:

À l'aide du menu UTILISATION de l'EMP, réaliser l'ACTIVATION du LASER en basculant le sélecteur



sur 1.

ATTENTION : veiller à ce qu'il n'y ait personne entre le laser et le mur de projection.

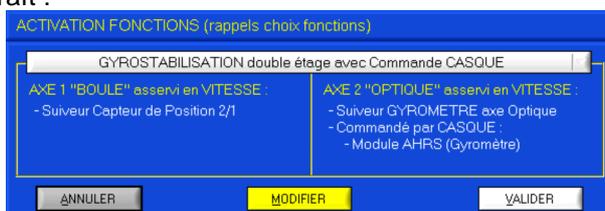
1.4 Activation de la fonction choisie :

Mettre le CASQUE.



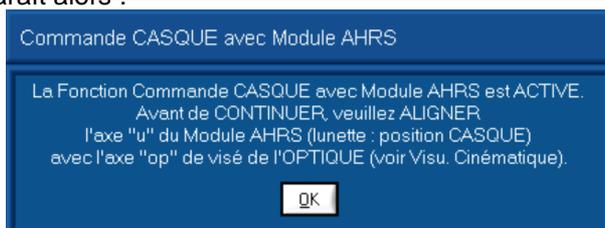
Activer la fonction choisie en basculant le sélecteur sur 1.

La fenêtre suivante apparaît :



Après vérification que la fonction choisie est la bonne, cliquer sur VALIDER.

Le message suivant apparaît alors :



Il suffit alors de regarder le point rouge du laser sur le mur de projection et de cliquer sur OK.

Effectuer ensuite un mouvement de tête vertical et observer le comportement du point rouge du laser sur le mur de projection. Ensuite, observer le comportement du système en regardant le système et effectuant le même mouvement de tête.



Recréer un mouvement équivalent à celui du porteur du système (exemple : hélicoptère) en regardant un point fixe du laser sur le mur de projection et en agissant sur la poignée manuelle noire. Observer le comportement du système.

1.5 Désactivation de la fonction choisie:



Désactiver ensuite la fonction en positionnant le sélecteur sur 0.

Question 2 : A partir des observations effectuées sur le système lors de l'établissement de la connexion et des diagrammes SysML fournis, identifier la nature des capteurs utilisés lors de l'initialisation de l'axe Boule. Préciser comment est faite la prise d'origine de cet axe.

Question 3 : À l'aide des explications données dans l'EMP, rubrique LE CONTEXTE : PRINCIPE EUROFLIR, vérifier qualitativement que la ligne de visée du BGR-300 reste conforme à la ligne de visée du pilote.

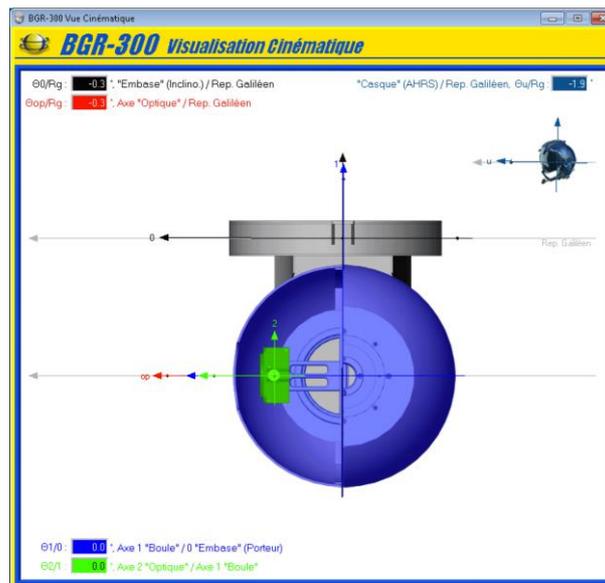
Activité 2: Oter la demi-sphère avant du carter du BGR-300 (voir EMP, UTILISATION : DEPOSE/POSE BOULE AVANT).

Si cela n'est pas déjà fait, activer l'animation cinématique en temps réel en cliquant sur

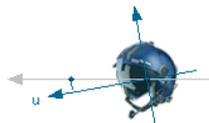


l'icône

La fenêtre suivante s'ouvre à côté de l'écran principal :



Incliner la tête jusqu'à ce que le vecteur u associé au casque sur l'animation cinématique soit horizontal.



Activer de nouveau la fonction à l'aide du sélecteur puis effectuer un mouvement vertical de la tête plus ou moins rapide et observer l'animation cinématique (Optique : repère vert ; Boule : b repère bleu) ainsi que l'intérieur du système.

Observer et analyser le fonctionnement interne du BGR-300.

Question 4 : À l'aide des diagrammes SysML fournis et des observations effectuées, identifier combien de chaînes cinématiques doivent être mues simultanément pour réaliser la fonction de suivi de la ligne de visée du pilote par le BGR-300.

Activité 3: Désactiver la fonction, puis le laser, puis le casque puis la visualisation cinématique (en



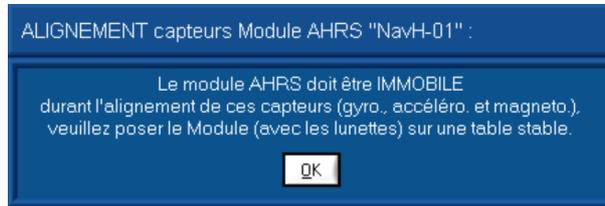
cliquant à nouveau sur). Oter le casque et le poser sur la table. Remettre le BGR-300 en position angulaire neutre et revisser la poignée manuelle noire pour verrouiller la position du porteur en position « neutre ».

Remarque :

S'il y a un décalage entre le point visé et la position du pointeur laser, il faut retourner sur l'écran principal, désactiver la fonction, puis cliquer sur Aligner :



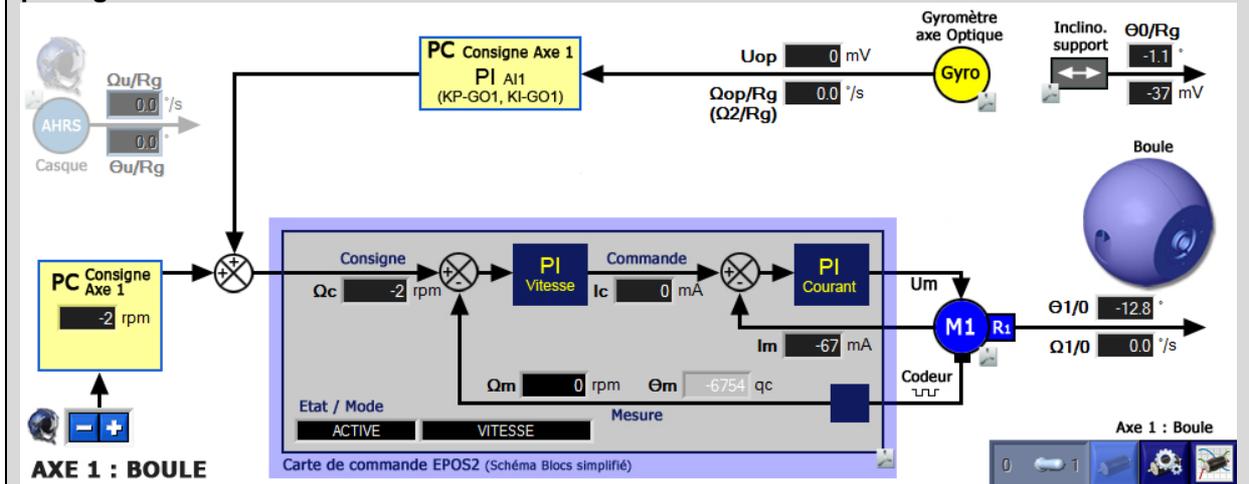
La fenêtre suivante apparaît :



Suivre les instructions indiquées.

Compte-tenu de la complexité élevée du système, l'étude qui va suivre se limitera au cas de boules gyrostabilisées mono-axe. Ces solutions reviennent à mouvoir les optiques de la boule gyrostabilisée UNIQUEMENT à l'aide de l'axe Boule seul, l'axe Optique étant immobile et aligné par rapport à l'axe Boule.

La suite de ce TP va donc s'appuyer sur le synoptique partiel suivant, visible sur l'interface de pilotage du BGR :

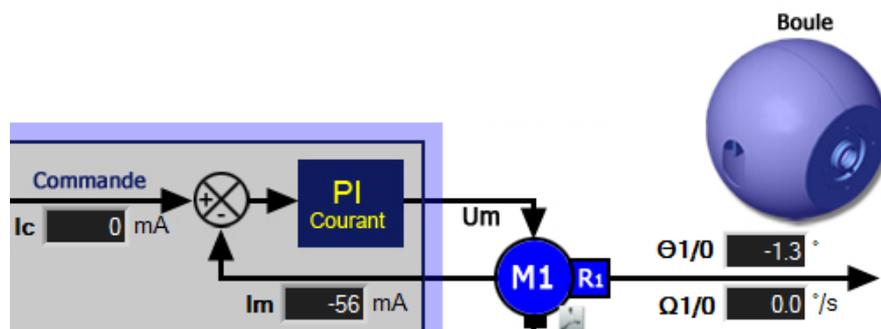


Objectif final : établir un modèle en boucle fermée du comportement de la boucle de vitesse de l'axe Boule seul.

2 MODELISATION DU COMPORTEMENT DE LA BOUCLE DE COURANT DE L'AXE BOULE SEUL

Objectif : établir un modèle de connaissance de l'axe Boule seul en boucle fermée, c'est-à-dire sans tenir compte de la boucle de gyrostabilisation faisant intervenir le gyromètre situé physiquement sur l'axe optique

Le synoptique d'étude se limite donc pour l'instant à :

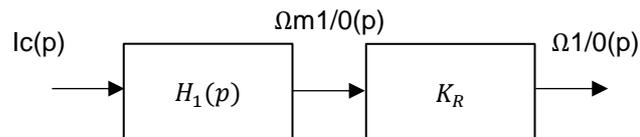


Structure de la boucle de courant implantée dans la carte EPOS2 de l'axe Boule

Avec :

- I_c le courant de consigne (en mA) envoyé à la carte de commande, incluant le hacheur (pré-actionneur) ;
- I_m le courant qui circule dans le moteur M1 (actionneur), mesuré (en mA) par un capteur de courant ;
- PI Courant un correcteur Proportionnel-Intégral qui permet d'optimiser les performances de l'asservissement du courant moteur I_m à la valeur de consigne I_c (appelé aussi boucle de courant) visible sur le synoptique ;
- U_m la tension moteur (en V) envoyée à la machine à courant continu M1 ;
- R le réducteur associé au moteur M1. La Boule est encastrée sur l'arbre de sortie de ce réducteur ;
- $\Omega_{1/0}$ (en tr/min) la vitesse angulaire de l'axe Boule par rapport au porteur 0.

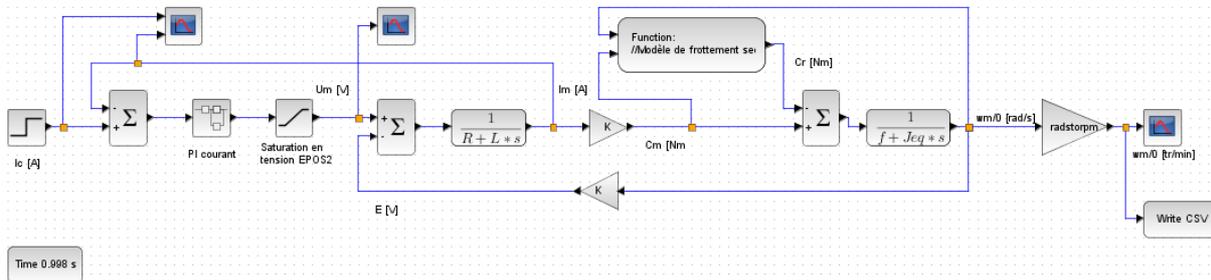
D'un point de vue structurel, ce synoptique peut se mettre sous la forme du schéma-bloc suivant dans le domaine de Laplace :



Question 5 : Identifier les constituants du BGR-300 dont le comportement est modélisé par les bloc $H_1(p)$ et K_R .

A partir de l'EMP, proposer une valeur pertinente pour le gain K_R .

Le modèle suivant correspond à l'implémentation en Scilab-Xcos d'un modèle de cette boucle de courant d'après les données constructeur de la carte EPOS2 :



Modèle Scilab-Xcos de la boucle de courant implantée dans la carte EPOS2 de l'axe Boule nommé « 01-Modèle moteur M1 et boucle de courant.zcos »

2.1 Détermination des paramètres optimaux du correcteur PI de la boucle de courant de l'axe Boule

L'extrait du cahier des charges du BGR associé au comportement de la boucle de courant du moteur M1 de l'axe Boule est donné ci-dessous :

Exigences	Critères	Niveaux
Maîtriser la valeur du courant I_m au sein du moteur M1 de l'axe Boule pour une consigne de courant I_c donnée	Type de comportement attendu de la boucle de courant d'entrée I_c et de sortie I_m pour une entrée en échelon de courant I_c	Ordre 1 soumis à un échelon
	Temps de réponse à 5%	Inférieure à 10ms

Objectif : déterminer des valeurs pertinentes des paramètres du correcteur PI Courant implanté dans la carte EPOS2 de l'axe Boule.

- Sous Scilab-Xcos, ouvrir le fichier nommé « 01-Modèle moteur M1 et boucle de courant.zcos ».
- A l'aide de la description structurelle de la boucle de courant de l'axe Boule, identifier à quoi correspond chaque élément du modèle sous Scilab-Xcos « 01-Modèle moteur M1 et boucle de courant.zcos ».

Activité 4 : Dans le contexte de ce modèle, compléter les valeurs de L, R et K à partir de la documentation du moteur M1 de l'axe Boule ;

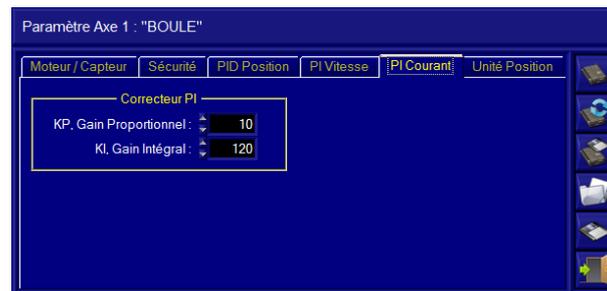
Question 6 : Déterminer par le calcul les valeurs des paramètres K_{pi_epos} et K_{ii_epos} du correcteur PI Courant de la boucle de courant de l'axe Boule à saisir dans la carte EPOS2 associée, afin de respecter le cahier des charges du BGR. Le principe du réglage du correcteur se fera par compensation de pôle.

Activité 5: Implanter dans l'interface du BGR les paramètres du correcteur PI de la boucle de

courant de l'axe Boule à partir du menu Acquisition axe 1 , en bas à droite du menu principal de l'interface du BGR :

- Paramétrage axe Boule  :

Dans l'onglet PI Courant, régler les valeurs des paramètres du correcteur calculées précédemment dans l'onglet PI courant :



KP. Gain Proportionnel = K_{piepos} ;

KI. Gain intégral = K_{iiepos} .

Remarque : si aucune valeur de K_{piepos} ou K_{iiepos} n'a été déterminée au préalable, saisir les valeurs indiquées sur l'image ci-dessus afin de pouvoir poursuivre.

Une fois les valeurs saisies, les enregistrer dans la carte EPOS2 de l'axe Boule en cliquant sur 

puis quitter le menu en cliquant sur .

2.2 Identification du paramètre I_0 du modèle du comportement de la boucle de courant de l'axe Boule

Objectif : identifier la valeur numérique du paramètre I_0 du modèle du comportement de la boucle de courant de l'axe Boule.

Ce paramètre correspond au courant minimal à fournir à l'axe Boule pour observer un mouvement de celui-ci. Il est lié à la présence de frottements de type sec au niveau des différentes liaisons internes à l'axe Boule.



Activité 6:

Positionner le BGR en POSITION HORIZONTALE ;

Effectuer un essai à partir du menu Acquisition axe 1 , en bas à droite du menu principal de l'interface du BGR pour une consigne de courant initiale de $I_c=10$ mA et par pas de 10mA jusqu'à mesurer une vitesse non nulle du moteur. Relever alors la valeur minimale du courant de consigne I_c , notée I_0 , pour laquelle l'axe Boule se met en rotation :

Configurer l'acquisition comme indiqué ci-dessous :

- Paramétrage acquisition  :

PARAMETRES ACQUISITION

Echantillonnage
 Période (ms) : 5.0 Nb Echantillons : 128 Durée (ms) : 640.0

Actif	Variable	Octets
<input checked="" type="checkbox"/>	Consigne de Courant	2
<input checked="" type="checkbox"/>	Courant Moteur	2
<input checked="" type="checkbox"/>	Vitesse Moteur	4
<input type="checkbox"/>	Courant Moteur	2

Configuration Trigger
 Mouvement : Entrée digit :
 Erreur : Fin de Profil :

Temps avant Trigger
 Nb Echantillons : 12 10 %

Effectuer ensuite plusieurs sollicitations à partir de $I_c = 10$ mA et par pas de 10 mA jusqu'à mesurer un mouvement de l'axe Boule.



- Sollicitation Axe et acquisition :

Envoyer Consigne Axe 1 : "BOULE"

Mode asservissement : COURANT (BO)

Courant demandé	Valeurs actuelles
Consigne : 50 mA	Consigne : 3 mA
	Courant : 2 mA

ANNULER ENVOYER

Saisir ensuite la valeur mesurée de I_0 dans le contexte Scilab du modèle « 01-Modèle moteur M1 et boucle de courant.zcos ».

Remarque 1 : ne pas s'inquiéter si le message suivant apparaît. Valider en cliquant sur Ok.

GESTION BUTEES I

Mouvement Axe 2 : "OPTIQUE" trop proche des butées suite à une commande en VITESSE ou COURANT. Axe asservi en Vitesse avec une consigne de 0 rpm.

OK

Remarque 2 : si le message suivant apparaît :

GESTION BUTEES I

Axe 2 : "OPTIQUE" trop proche des butées pour envoyer une commande en COURANT.

OK

Dans ce cas penser à modifier la consigne en courant avec un signe opposé pour que le système aille en sens inverse.

Remarque 3 :

S'il n'est plus possible de commander l'étage choisi (icône grisée), penser à activer à nouveau l'étage

choisi à l'aide du sélecteur . Une sécurité a dû être déclenchée lors de l'essai précédent.

Si aucune valeur de I_0 n'a pu être déterminée, prendre $I_0 = 40$ mA pour la suite.

Question 7 : Justifier l'intérêt d'effectuer des essais sur le BGR-300 en position couchée dans l'objectif d'identifier un modèle simple du comportement de l'axe Boule.

2.3 Validation des paramètres du correcteur PI courant et identification des paramètres f et J_{eq} du moteur M1 de l'axe Boule

2.3.1 Validation des paramètres du correcteur PI Courant de l'axe Boule

Objectif : valider les valeurs des paramètres du correcteur PI Courant de l'axe Boule vis-à-vis du cahier des charges du BGR.



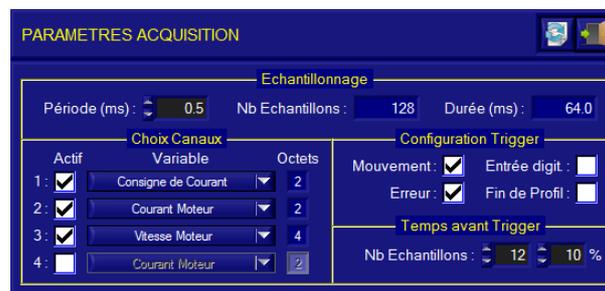
Activité 7: Positionner l'axe Boule à -45° à partir du menu principal de l'interface du BGR



Effectuer ensuite un essai à partir du menu Acquisition axe 1 en bas à droite de l'interface du BGR pour une consigne de courant $I_c = 250$ mA et tracer l'évolution du courant moteur I_m et de la vitesse moteur $\Omega_{1/0}$:

Configurer l'acquisition comme indiqué ci-dessous :

- Paramétrage acquisition 



- Sollicitation Axe et acquisition 



Question 8 : Conclure quant à la validité des valeurs des paramètres K_{ip_epos} et K_{ii_epos} implantés dans le correcteur PI Courant de l'axe Boule.

2.3.2 Identification des paramètres f et J_{eq} du moteur M1 de l'axe Boule

Objectif : identifier les valeurs des paramètres f et J_{eq} du modèle « 01-Modèle moteur M1 et boucle de courant.zcos ». qui sont respectivement le coefficient de frottements visqueux et l'inertie équivalente de l'axe Boule ramenés sur l'arbre du moteur M1.



Activité 8: Positionner l'axe Boule à -45° à partir du menu principal de l'interface du BGR



Effectuer ensuite un essai à partir du menu Acquisition axe 1 en bas à droite de l'interface du BGR pour une consigne de courant $I_c=250$ mA et tracer l'évolution du courant moteur I_m et de la vitesse moteur $\Omega_{1/0}$:

Configurer l'acquisition comme indiqué ci-dessous :



- Paramétrage acquisition :



- Sollicitation Axe et acquisition :



Question 9 : En analysant les courbes obtenues, proposer un modèle réduit et simplifié de la boucle de courant au vu des échelles de temps observées dans l'essai qui vient d'être effectué.

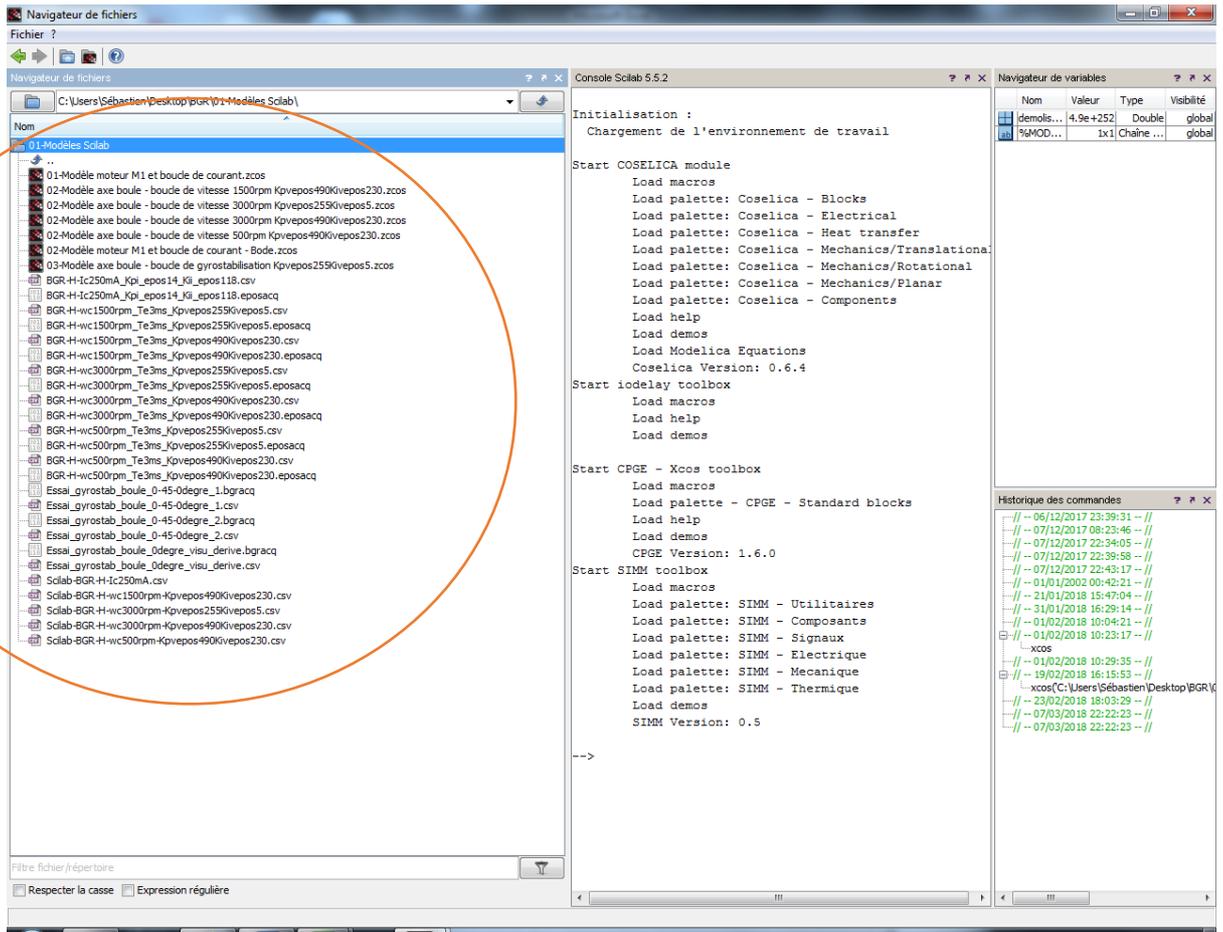
Proposer alors une démarche et identifier des valeurs numériques pertinentes pour les paramètres f et J_{eq} du modèle « 01-Modèle moteur M1 et boucle de courant.zcos ».

Si aucune valeur n'a pu être déterminée, prendre $f=1.8e-5$ Nm/rad/s et $J_{eq}=4.25e-6$ kg.m².

2.4 Validation du modèle de la boucle de courant et du moteur M1 de l'axe Boule

Activité 9: Saisir les valeurs des paramètres f et J_{eq} obtenues précédemment dans le contexte Scilab du modèle « 01-Modèle moteur M1 et boucle de courant.zcos ».

Pour que l'export des données de simulation Scilab au format « .csv » puisse se faire correctement, il faut avant la simulation, aller dans le navigateur de fichiers de Scilab et ouvrir le dossier contenant les fichiers de simulation xcos utilisés, puis cliquer sur le nom du dossier pour qu'il soit en bleu :



Activité 10: Effectuer la simulation numérique.

Activité 11: Sur l'interface du BGR, superposer la courbe de l'évolution temporelle de la vitesse angulaire du moteur M1 obtenue par la simulation du modèle Scilab-Xcos avec celle mesurée lors de l'essai pour un courant de consigne $I_c=250\text{mA}$:



- Insérer un Tracé :

INSERER UN TRACE (Importer un Tracé issu d'un fichier CSV)

Fichier CSV (séparateur ':')
 c:\Users\Sébastien\Desktop\BGR\Scilab-BGR-H-Ic250mA.csv

Echantillons			Temps (abscisse)		Valeurs du Tracé (ordonnée)		
1ère Ligne	Nb	Séparateur	Colonne	Unité	Colonne	Variation	Unité
1	5001	0.0 (point)	1	s	2	Vitesse Moteur	rpm

Tracé				Décalage Tracé	
Ordonnées	Style tracé	Style trait	Couleur	Abcisse (Temps)	Ordonnée (Valeurs)
Gauche	Tracé fin	Interrompu	Jaune	0.0 ms	0 rpm

ANNULER IRACER

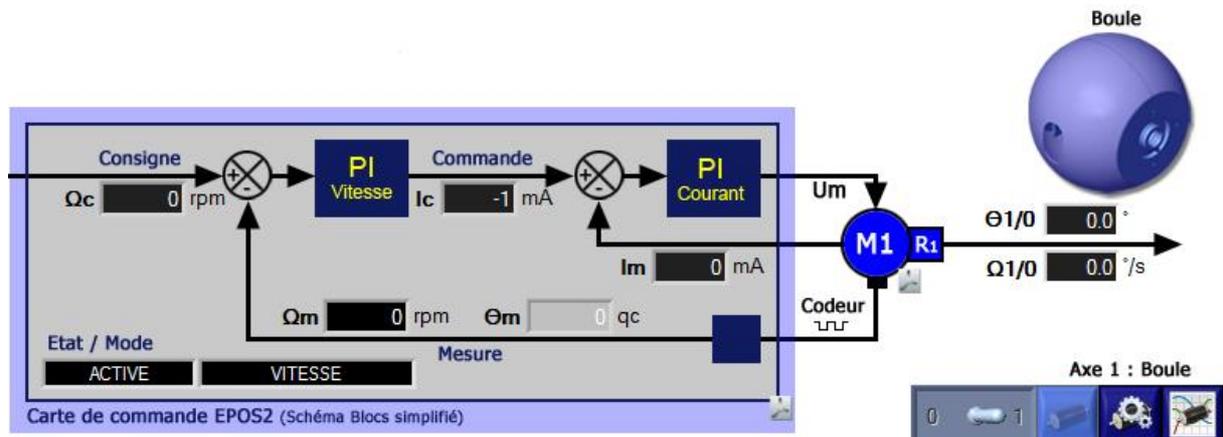
- Saisir les paramètres de la boîte de dialogue comme indiqué ci-dessus.



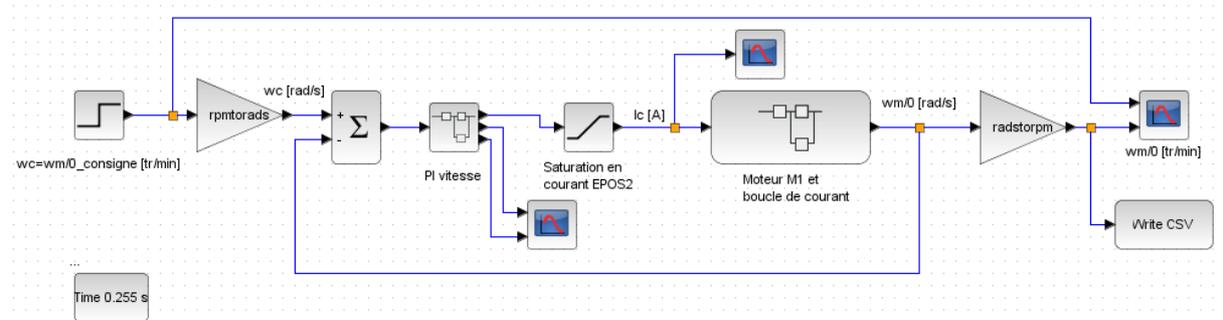
- Choisir le fichier de résultats de simulation nommé « Scilab-BGR-H-Ic250mA.csv » situé dans le même répertoire que le fichier « 01-Modèle moteur M1 et boucle de courant.zcos ».

Question 10 : Conclure quand à la validité du modèle établi de la boucle de courant et du moteur M1 de l'axe Boule sachant qu'on souhaite un écart maximal de 5% entre le comportement en vitesse du modèle et celui du système réel.

2.5 Modéliser la boucle de vitesse de l'axe boule



Structure de la boucle de vitesse implantée dans la carte EPOS2 de l'axe Boule



Modèle Scilab-Xcos de la boucle de vitesse implantée dans la carte EPOS2 de l'axe Boule nommé « 02-Modèle axe boule – boucle de vitesse.zcos »

Objectif : valider le modèle de boucle de vitesse proposé pour l'axe Boule avec les paramètres par défaut du correcteur PI Vitesse

Activité 12: Ouvrir le fichier Scilab nommé « 02-Modèle axe boule - boucle de vitesse 3000rpm Kpvepos490Kivepos230.zcos ». Le modèle proposé correspond à la boucle de vitesse telle qu'elle est décrite dans la documentation de la carte EPOS2.

Dans le contexte Scilab, compléter les valeurs de Kpv_epos et Kiv_epos avec celles saisies par défaut dans l'interface BGR.

Positionner le BGR en position horizontale :

Positionner l'axe boule à -45°

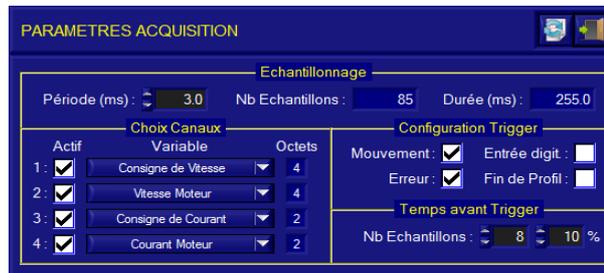
- Positionner axes 



Activité 13: Effectuer un essai à partir du menu Acquisition axe 1 , en bas à droite de l'interface du BGR pour une consigne de vitesse $w_c=3000\text{tr/min}$ avec $K_{pvepos}=490$ et $K_{ivepos}=230$.

Configurer l'acquisition comme indiqué ci-dessous :

- Paramétrage acquisition  :



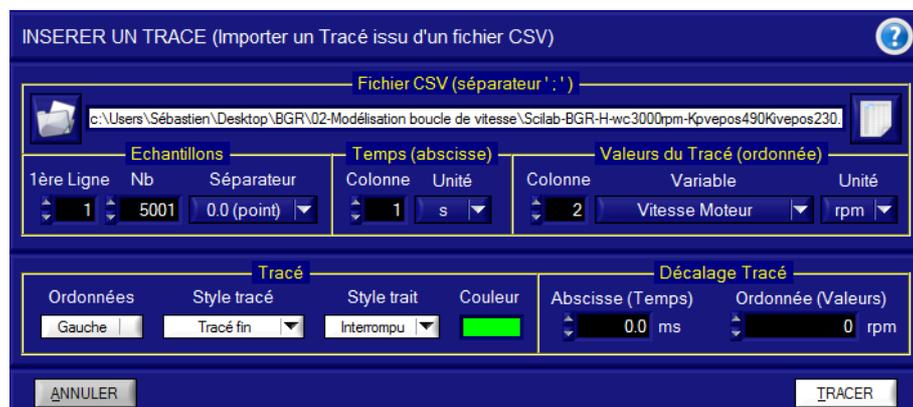
- Sollicitation Axe et acquisition  :



Activité 14: Effectuer la simulation numérique du modèle Scilab de la boucle de vitesse.

Activité 15: Sur l'interface du BGR, superposer la courbe de l'évolution temporelle de la vitesse angulaire du moteur M1 obtenue par la simulation du modèle Scilab-Xcos avec celle mesurée lors de l'essai pour une consigne de vitesse à 3000 tr/min, $K_{pvepos}=490$ et $K_{ivepos}=230$.

- Insérer un Tracé  :



- Saisir les paramètres de la boîte de dialogue comme indiqué ci-dessus.

- Choisir le fichier de résultats de simulation  nommé « Scilab-BGR-H-wc3000rpm-Kpvepos490Kivepos230.csv » situé dans le même répertoire que le fichier « 02-Modèle axe boule - boucle de vitesse 3000rpm Kpvepos490Kivepos230.zcos ».

Question 11 : Analyser les écarts entre les courbes de vitesse moteur simulée et mesurée pour $w_c=3000$ tr/min avec $K_{pvepos}=490$ et $K_{ivepos}=230$.

Activité 16: Effectuer le même essai et la même simulation que précédemment mais pour une consigne de vitesse à 1500 tr/min, $K_{pvepos}=490$ et $K_{ivepos}=230$.

Question 12 : Analyser les écarts entre les courbes de vitesse moteur simulée et mesurée pour $w_c=1500$ tr/min, $K_{pvepos}=490$ et $K_{ivepos}=230$.

Activité 17: Effectuer le même essai et la même simulation que précédemment mais pour une consigne de vitesse à 500 tr/min, avec $K_{pvepos}=490$ et $K_{ivepos}=230$.

Question 13 : Analyser les écarts entre les courbes de vitesse moteur simulée et mesurée pour $w_c=500$ tr/min, $K_{pvepos}=490$ et $K_{ivepos}=230$.

Question 14 : Conclure quant à la validité du modèle de la boucle de vitesse implanté en Scilab. Précisez éventuellement les conditions d'essais à respecter dans la suite si on souhaite toujours utiliser ce modèle.

Fin du sujet

TRAVAUX PRATIQUES S2I

Mise en œuvre d'un système pluritechnologique

ANALYSER (Lecture SysML et description CE-CI) et EXPERIMENTER (mise en œuvre du système)
MODELISER le comportement par identification(SLCI)
RESOUDRE par simulation numérique

CONNAISSANCES VISEES

- Analyser les architectures fonctionnelle et structurelle
- Identifier et décrire la chaîne d'information et la chaîne d'énergie du système
- Analyser ou établir le schéma-bloc du système
- Renseigner les paramètres caractéristiques d'un modèle de comportement (premier ordre, deuxième ordre, dérivateur, intégrateur, gain, retard)
- Prévoir les performances en termes de rapidité
- Vérifier la cohérence des résultats d'expérimentation avec les valeurs souhaitées du cahier des charges
- Exploiter et interpréter les résultats d'une simulation numérique
- Vérifier la cohérence du modèle choisi avec des résultats d'expérimentation
- Mettre en œuvre une démarche de réglage d'un correcteur proportionnel intégral

PRE-REQUIS

- Chaîne d'information et d'énergie : diagrammes de blocs internes
- Schéma-bloc : fonction de transfert en chaîne directe, fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée
- Modèles de comportement et de connaissance
- Stabilité, Précision et Rapidité des systèmes asservis
- Correcteur proportionnel intégral
- Méthodes de réglage d'un correcteur proportionnel intégral

SITUATION DANS LA PROGRESSION

Troisième semestre (S3), Deuxième année

SUJET DU TP

- Architecture et modélisation de la boucle interne de vitesse de l'axe Boule
- Optimisation des performances vis-à-vis du cahier des charges de la boucle de vitesse par réglage du correcteur PI associé
- Architecture et modélisation de la boucle de gyrostabilisation de l'axe Boule
- Optimisation des performances vis-à-vis du cahier des charges de la boucle de gyrostabilisation par réglage du correcteur PI associé
- Validation du modèle de la boucle de gyrostabilisation de l'axe Boule vis-à-vis des essais expérimentaux sur le système

MATERIEL MIS EN OEUVRE

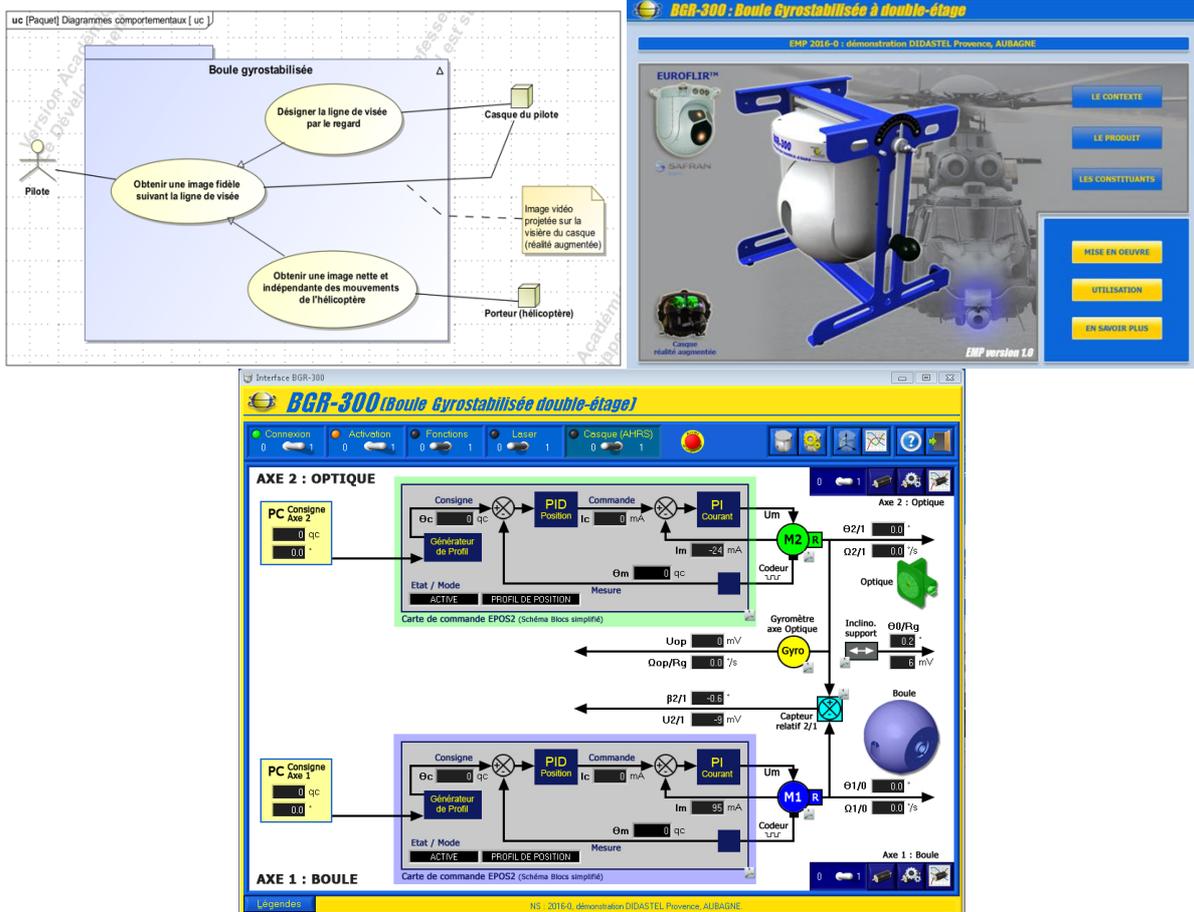
Boule gyrostabilisée BGR-300 ;
Logiciel d'acquisition de BGR-300 ;
EMP du BGR-300 ;
Description SysML du BGR-300.

PRESENTATION DU SYSTEME

Le BGR-300 est un système issu du milieu aéronautique et militaire. Il s'agit d'une boule gyrostabilisée qui inclut normalement des caméras multiples en vue d'améliorer la vision du pilote d'un hélicoptère.

Toutes les informations de présentation, les données techniques et les descriptions du système sont données dans :

- la description SysML fournie ;
- l'Environnement Multimédia Pédagogique (EMP) ;
- l'interface BGR-300 (logiciel de pilotage et de mesure).



Objectifs du TP

Ce TP a pour objectif de modéliser le comportement de l'axe Boule seul gyrostabilisé du BGR-300 et de valider ce modèle par des essais sur le système. Il s'agira également d'optimiser les performances de cet axe en choisissant et en réglant un correcteur adapté si nécessaire.

Pour cela, la démarche employée sera la suivante :

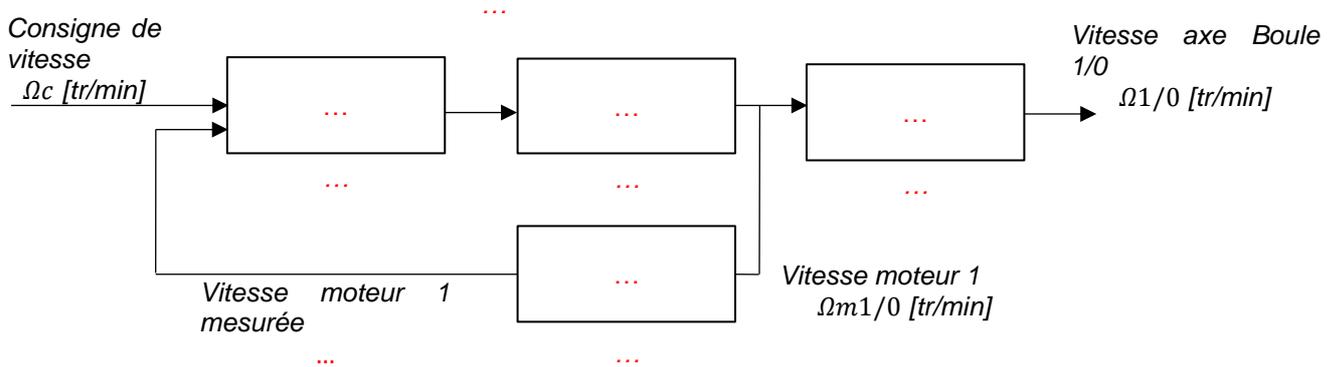
- Mise en œuvre du système à 1 axe : l'axe Boule;
- Mise en évidence de l'intérêt d'une gyrostabilisation de l'axe Boule à l'aide d'un essai ;
- Modélisation et simulation de la boucle de gyrostabilisation de l'axe Boule faisant intervenir le gyromètre situé sur l'axe Optique ;
- Optimisation des performances de la boucle de gyrostabilisation de l'axe Optique à l'aide d'un correcteur à définir ;
- Validation des performances simulées par implantation du correcteur choisi au sein du système réel et vérification de l'adéquation entre les performances souhaitées et mesurées.

1 MISE EN OEUVRE DU SYSTEME COMPLET

Objectif : mettre en œuvre le système pour découvrir le principe de son fonctionnement et identifier ses chaînes fonctionnelles.

Les descriptions des chaînes des axes Boule (gros) et Optique (fin) sont données sous forme d'ibd dans la description SysML. Il est possible de retrouver la description des constituants dans l'EMP, menu les CONSTITUANTS.

Question 1 : A l'aide des diagrammes structurels SysML fournis, de l'EMP et du synoptique ci-dessus, compléter la description de l'axe Boule non-gyrostabilisé sous la forme d'un diagramme Chaîne d'énergie/Chaîne d'information ci-dessous. Préciser la nature, la variable et l'unité des flux au sein de ce diagramme.

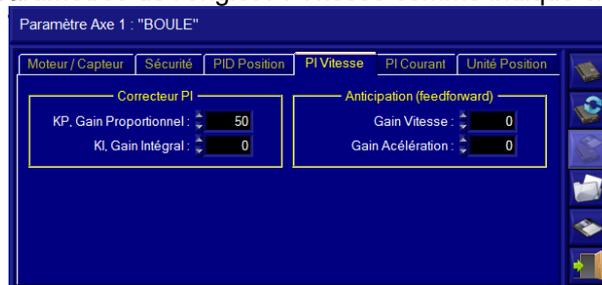


Activité 1: Mettre en œuvre le BGR à partir des instructions données ci-dessous.

1.1 Paramétrage de l'axe Boule du BGR :

Aller dans le menu Paramètres Axe 1 « Boule » en cliquant sur l'icône  située en bas, à droite de l'écran d'accueil de l'interface du BGR.

Après avoir remis les paramètres de l'axe 1 « Boule » à leur valeur par défaut en cliquant sur , modifier les valeurs des paramètres de l'onglet PI Vitesse comme indiqué ci-dessous.



Enregistrer les modifications effectuées en cliquant sur  puis quitter la fenêtre en cliquant sur



1.2 Choix de la fonction :



Mettre le BGR-300 vertical (position normale), orifice avant vers un mur clair.

Oter les demi-sphères avant et arrière du carter du BGR-300 (voir EMP, UTILISATION : DEPOSE/POSE BOULE AVANT).



Aller dans le menu Paramètres BGR-300 en cliquant sur l'icône de l'écran d'accueil de l'interface BGR.

Dans l'onglet « Casque », sélectionner le mode BGR-300 commandé par consigne PC « PC (commande manuelle) » comme ci-dessous.



Dans l'onglet « Choix FONCTIONS », sélectionner GYROSTABILISATION Axe 1 « Boule » dans la liste déroulante.



Sortir ensuite du menu en cliquant sur

1.3 Activation du laser:

À l'aide du menu UTILISATION de l'EMP, réaliser l'ACTIVATION du LASER en basculant le sélecteur



sur 1.

ATTENTION : veiller à ce qu'il n'y ait personne entre le laser et le mur de projection.

1.4 Activation de la fonction choisie :

Activer la fonction choisie en basculant le sélecteur



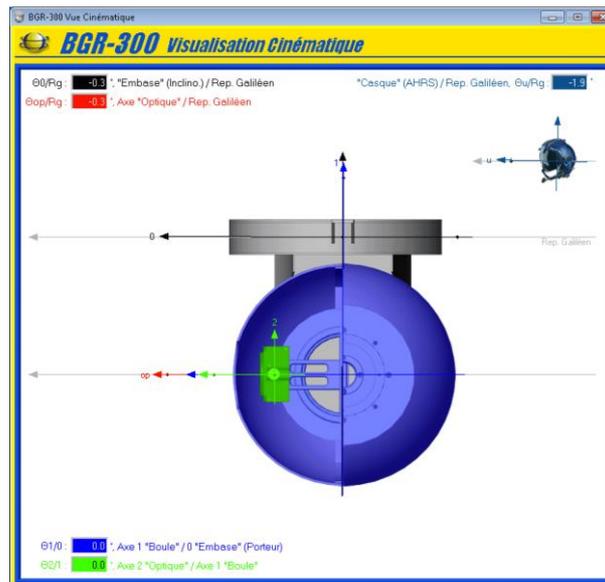
sur 1.

Après vérification que la fonction choisie est la bonne, cliquer sur VALIDER.

Si cela n'est pas déjà fait, activer l'animation cinématique en temps réel en cliquant sur l'icône



La fenêtre suivante s'ouvre à côté de l'écran principal :



Activité 2: Recréer un mouvement équivalent à celui du porteur du système (exemple : hélicoptère en agissant sur la poignée manuelle noire et observer simultanément les mouvements du laser sur le mur de projection et ceux sur la fenêtre de visualisation dynamique.



1.5 Désactivation de la fonction choisie:

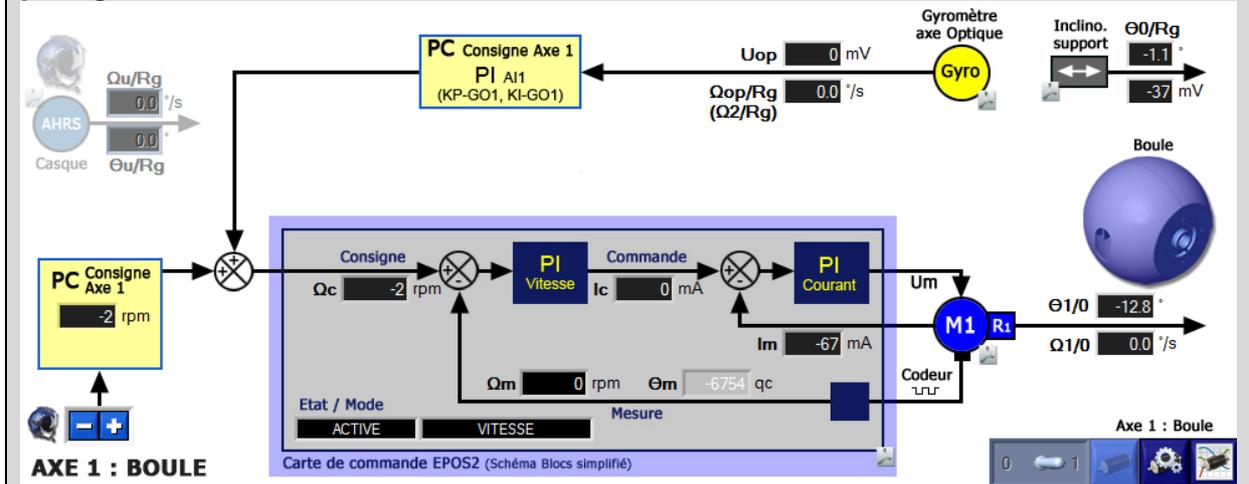
Désactiver ensuite la fonction en positionnant le sélecteur  sur 0, puis le laser, puis la visualisation cinématique (en cliquant à nouveau sur ).

Remettre le BGR-300 en position angulaire neutre (manivelle verticale) et revisser la poignée manuelle noire pour verrouiller la position du porteur en position « neutre ».

Question 2 : A l'aide des diagrammes SysML fournis, indiquer si le BGR est actuellement capable de satisfaire le cahier des charges imposé en terme de précision. Proposer une solution afin d'y remédier à l'aide d'un gyromètre placé au niveau de l'axe Optique.

Compte-tenu de la complexité élevée du système, l'étude qui va suivre se limitera au cas de boules gyrostabilisées mono-axe. Ces solutions reviennent à mouvoir les optiques de la boule gyrostabilisée UNIQUEMENT à l'aide de l'axe Boule seul, l'axe Optique étant immobile et aligné par rapport à l'axe Boule.

La suite de ce TP va donc s'appuyer sur le synoptique partiel suivant, visible sur l'interface de pilotage du BGR :

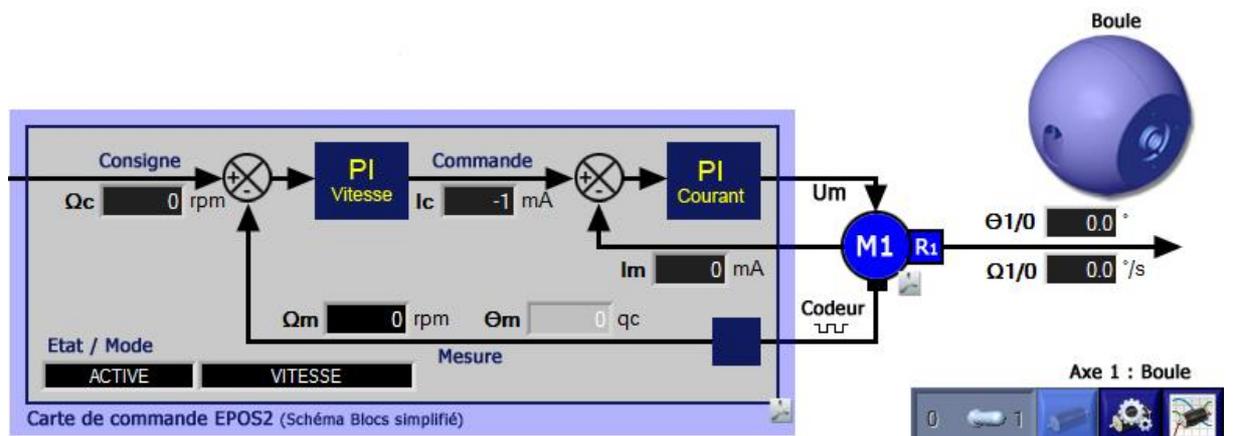


Objectif final : établir un modèle en boucle fermée du comportement de la boule de gyrostabilisation de l'axe Boule seul faisant intervenir le gyromètre situé physiquement sur l'axe optique.

2 OPTIMISATION DES PERFORMANCES DE LA BOUCLE DE VITESSE DE L'AXE BOULE SEUL

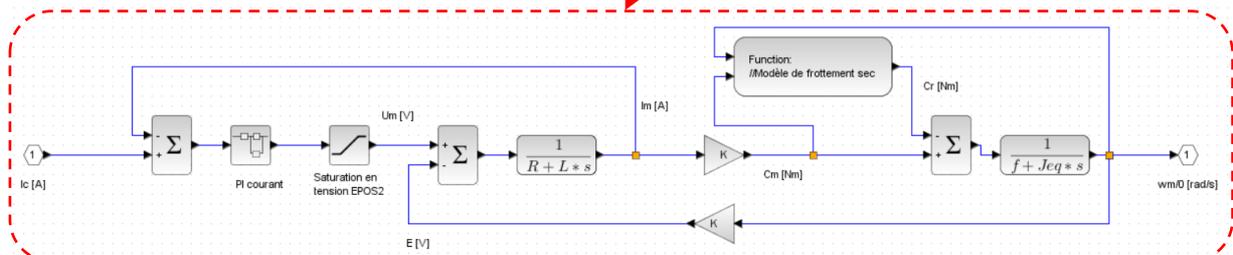
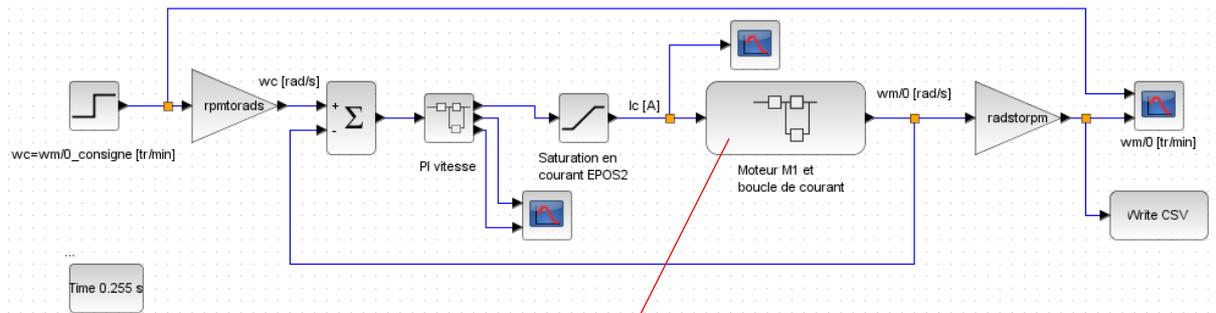
Objectif : optimiser les performances du modèle de connaissance de la boucle de vitesse de l'axe Boule seul, sans tenir compte de la boucle de gyrostabilisation faisant intervenir le gyromètre situé physiquement sur l'axe optique

Le synoptique d'étude se limite donc pour l'instant à :



Structure de la boucle de vitesse implantée dans la carte EPOS2 de l'axe Boule

Une étude annexe a permis d'établir le modèle de connaissance de la boucle de vitesse de l'axe Boule seul, implanté dans Scilab-Xcos, donné dans le fichier « 02-Modèle axe boule – boucle de vitesse.zcos ».



Modèle Scilab-Xcos de la boucle de vitesse implantée dans la carte EPOS2 de l'axe Boule nommé « 02-Modèle axe boule – boucle de vitesse.zcos »

Objectif : proposer un modèle de connaissance simplifié de la boucle de vitesse de l'axe Boule seul afin d'être exploitable pour régler le correcteur « PI Vitesse »

Le modèle actuel de la boucle de vitesse de l'axe Boule seul présente plusieurs non-linéarités qui le rendent inexploitable pour une optimisation du réglage du correcteur « PI Vitesse » avec les outils traditionnels (Diagrammes de Bode, analyse des marges de stabilité, etc.).

L'idée consiste alors à émettre des hypothèses concernant le fonctionnement du système qui seront vérifiées au travers d'essai par la suite.

2.1.1 Hypothèses

Dans la suite, il est proposé de supposer :

- qu'il n'y a pas de saturation, ni en tension, ni en courant de l'EPOS2 au cours du fonctionnement de la boucle de vitesse ;
- que la constante de temps électrique du moteur est très petite devant sa constante de temps mécanique ;
- que la perturbation engendrée par le couple de frottement de type « sec » C_r au sein du modèle du moteur est rejetée ;
- que la boucle de courant est très bien réglée et qu'elle assure, quel que soit l'instant t considéré, l'égalité entre le courant de consigne I_c et le courant moteur I_m .

Question 3 : Compte tenu des hypothèses formulées, proposer un modèle simplifié de la boucle de vitesse implantée dans la carte EPOS2, sous forme de schéma-bloc où :

- la consigne de vitesse et la vitesse moteur sont exprimées en [rad/s] ;
- la transmittance associée au correcteur « PI Vitesse » implantée par le fabricant de la carte EPOS2 est de la forme $K_{pv} + \frac{K_{iv}}{p}$ (voir document constructeur Maxon).

Les valeurs des différents paramètres du modèle sont accessibles dans le contexte Scilab-Xcos (Menu « Simulation/Modifier le contexte »).

De plus, l'écart entre $W_c(p)$ et $W_m/0(p)$ est noté $\varepsilon v1(p)$.

Afin de respecter l'hypothèse relative à la non-saturation en courant de la carte EPOS2 au cours du fonctionnement, l'idée consiste à régler le correcteur « PI Vitesse » de telle sorte que le courant moteur n'excède pas la valeur maximale du courant délivrable par la carte EPOS2 de l'axe Boule, soit $I_{max}=4A$.

Question 4 : Après avoir identifié l'instant où le courant moteur I_m est maximal lors de la sollicitation de la boucle de vitesse par une consigne de vitesse en échelon, déterminer à l'aide d'un théorème adéquat, l'expression puis la valeur numérique du gain K_p qui permet de respecter cette hypothèse. Pour cela, on considèrera une consigne en vitesse ramenée sur l'axe Boule en forme d'échelon d'amplitude $180^\circ/s$ (vitesse de rotation maximale d'une tête humaine dans le « plan de symétrie » du corps) avec un axe Boule initialement immobile par rapport à 0.

Question 5 : Déterminer l'expression de la $FTBO1(p) = \frac{W_{m/0}(p)}{\varepsilon v(p)}$ du modèle simplifié de la boucle de vitesse de l'axe Boule seul établi précédemment. En choisissant un réglage du correcteur « PI Vitesse » par compensation de pôle, déterminer l'expression du rapport $\frac{K_{pv}}{K_{iv}}$ en fonction de J_{eq} et f .

Question 6 : A partir des résultats obtenus aux deux questions précédentes, déterminer l'expression puis la valeur numérique que doit prendre le paramètre K_{iv} .

Question 7 : A partir du calculs de $FTBF1(p) = \frac{W_{m/0}(p)}{W_{m/0}(p)}$, conclure quant au comportement du modèle de la boucle de vitesse de l'axe Boule avec un tel réglage.

La documentation de la carte EPOS2 indique les relations suivantes permettant de déterminer les paramètres utilisés par la carte (indice « epos ») :

$$K_{pv\text{epos}} = \frac{K_{pv}}{20 \cdot 10^{-6}}$$

$$K_{iv\text{epos}} = \frac{K_{iv}}{5 \cdot 10^{-3}}$$

Question 8 : En déduire les valeurs numériques entières des paramètres $K_{pv\text{epos}}$ et $K_{iv\text{epos}}$ à saisir dans l'interface du BGR pour implanter le réglage effectué.

Activité 3: [Implanter les valeurs trouvées précédemment dans le modèle de la boucle de vitesse de l'axe Boule « 02-Modèle axe boule – boucle de vitesse 3000rpm.zcos » implanté sous Scilab-Xcos.](#)

[Lancer la simulation.](#)

Question 9 : Commenter les résultats obtenus vis-à-vis des hypothèses émises et discuter de l'impact que cela pourrait avoir dans le cadre de la mise en place de la solution envisagée à la question 2.

En supposant que le comportement du modèle de la boucle de vitesse reste linéaire lors de la simulation, on obtient alors avec ce réglage la fonction de transfert en boucle fermée suivante :

$$FTBF1(p) = \frac{W_{m/0}(p)}{W_c(p)} = \frac{\frac{K_{iv}K}{f.p}}{1 + \frac{K_{iv}K}{f.p}} = \frac{1}{1 + \frac{f}{K_{iv}K.p}} = \frac{1}{1 + T_v.p} \text{ avec } T_v \approx 0.0145s$$

Activité 4: [Implanter dans l'interface du BGR les paramètres du correcteur PI de la boucle de](#)

[courant et de la boucle de vitesse de l'axe Boule à partir du menu de l'axe 1](#)  , en bas à droite du menu principal de l'interface du BGR :

- Dans l'onglet PI Courant, régler les valeurs des paramètres du correcteur de la boucle de courant avec les valeurs suivantes :
 - K_P . Gain Proportionnel = 14 ;
 - K_I . Gain intégral = 118.
- Dans l'onglet PI Vitesse, régler les valeurs des paramètres du correcteur de la boucle de vitesse avec les valeurs suivantes :
 - K_P . Gain Proportionnel = 685 ;
 - K_I . Gain intégral = 10.

Une fois les valeurs saisies, les enregistrer dans la carte EPOS2 de l'axe Boule en cliquant sur  puis quitter le menu en cliquant sur .



Activité 5: Après avoir activé le laser situé sur l'axe Optique, recréer un mouvement équivalent à celui du porteur du système (exemple : hélicoptère) en agissant sur la poignée manuelle noire et observer simultanément les mouvements du laser sur le mur de projection et ceux sur la fenêtre de visualisation dynamique.

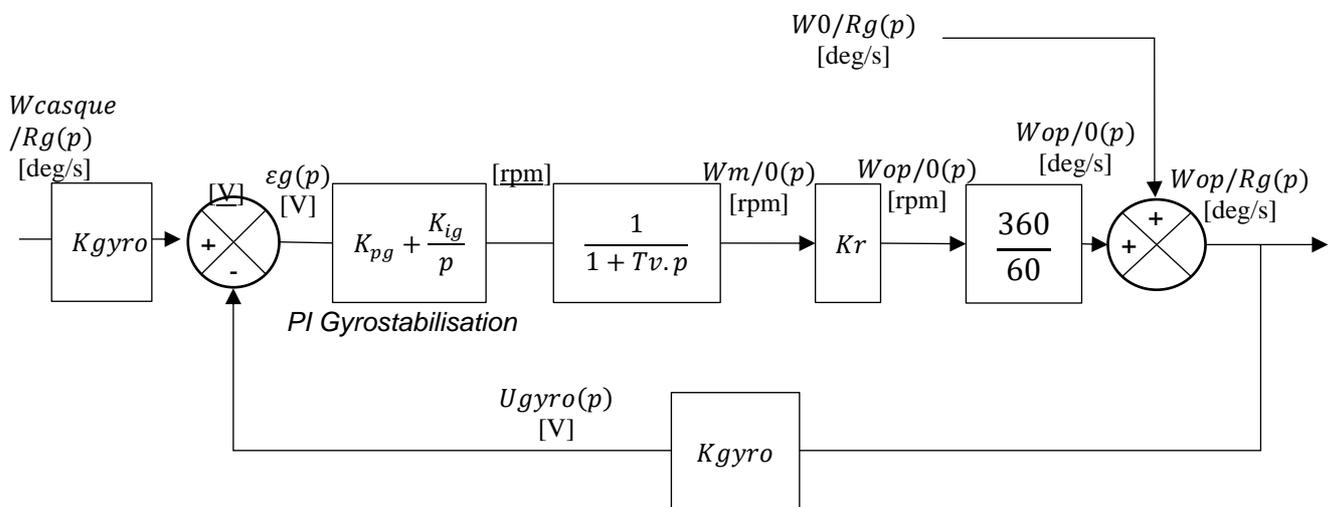
Question 10 : Conclure quant au comportement du système lors de mouvements du porteur et à la nécessité de mettre en œuvre une boucle d'asservissement externe à la boucle de vitesse.

3 GYROSTABILISATION DE L'AXE BOULE SEUL ET OPTIMISATION DE SES PERFORMANCES

Objectif : mettre en œuvre une boucle de gyrostabilisation faisant intervenir le gyromètre situé physiquement sur l'axe optique afin de rendre le système insensible aux mouvements du porteur par rapport à référentiel galiléen.

Afin de palier le problème identifié dans la question précédente, une solution proposée par le constructeur du système est de mettre en place une boucle de gyrostabilisation à l'aide d'un gyromètre localisé sur l'axe Optique du système.

Le modèle de la gyrostabilisation de l'axe Boule implanté dans le système prend alors la forme suivante :



Avec :

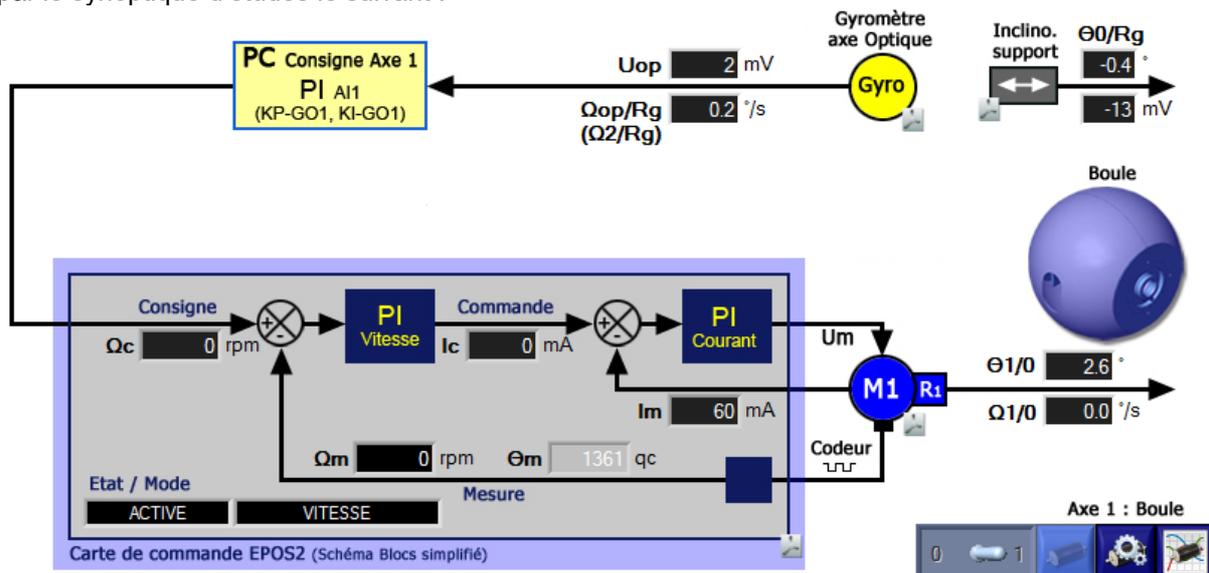
- K_{gyro} en V/deg/s ;
- $W_{casque}/Rg(p)$ la vitesse de consigne correspondant à la vitesse angulaire de la tête du pilote par rapport au référentiel galiléen ;
- $W_0/Rg(p)$ la vitesse angulaire du porteur 0 par rapport au référentiel galiléen ;
- $W_{op}/0(p)$ la vitesse angulaire de l'optique du BGR par rapport au porteur 0. Dans ce tp cela correspond aussi à la vitesse angulaire de l'axe Boule 1 par rapport au porteur 0 ;
- $W_{op}/Rg(p)$ la vitesse angulaire de l'optique du BGR par rapport au référentiel galiléen.

Remarque : ce modèle a toutefois été simplifié compte-tenu de l'incidence du réglage de la boucle de courant et de la boucle de vitesse par compensation de pôles. On ne retient donc ici qu'un modèle d'ordre 1 concernant le comportement du moteur de l'axe Boule, asservi en vitesse et en courant.

Question 11 : Déterminer l'expression de la $FTBO2(p) = \frac{U_{gyro}(p)}{\varepsilon g(p)} \Big|_{W0/Rg=0}$ du modèle de la boucle de gyrostabilisation de l'axe Boule seul donné précédemment. En choisissant un réglage du correcteur « PI Gyrostabilisation » par compensation de pôle, déterminer l'expression du rapport $\frac{Kpg}{Kig}$ en fonction de Tv .

Question 12 : Compte-tenu du réglage précédent, déterminer l'expression de la $FTBF2(p) = \frac{Wop/Rg(p)}{Wcasque/Rg(p)} \Big|_{W0/Rg=0}$ du modèle de la boucle de gyrostabilisation de l'axe Boule seul donné précédemment.

L'implantation réelle de la boucle de gyrostabilisation dans le BGR par le constructeur est synthétisée par le synoptique d'études le suivant :



Structure de la boucle de gyrostabilisation implantée réellement dans le système avec vitesse de consigne du pilote par rapport au référentiel galiléen $\Omega_{casque}/Rg = 0$

avec :

- $KP - GO1 = Kpg$
- $KI - GO1 = Kig \cdot Te$ avec $Te = 0.026s$ la période d'échantillonnage de la boucle de gyrostabilisation.

Remarque : compte-tenu du fait que, pour des raisons économiques, le constructeur du système du laboratoire a opté pour une gestion de l'acquisition de la consigne du pilote (via le casque) ainsi que la gestion de la gyrostabilisation par le PC et ses liaisons usb, les temps de communication étant grands, il ne lui a pas été possible de les gérer simultanément. Ainsi, en mode gyrostabilisation, le système du laboratoire considère que la consigne de vitesse du pilote (Ω_{casque}/Rg) est nulle.

Afin de pouvoir compenser les mouvements du porteur par rapport au référentiel galiléen, une étude annexe a permis de déterminer la bande passante à -3dB de la boucle fermée de gyrostabilisation devait être au minimum de $BP_{-3dB}|_{mini} \approx 5rad/s$.

Question 13 : Compte-tenu de la structure de la boucle de gyrostabilisation réellement implantée dans le système par le constructeur et des résultats obtenus précédemment, en déduire une valeur numérique maximale pour chacun de paramètres $KP - GO1$ et $KI - GO1$.

Le modèle de l'axe Boule ainsi Gyrostabilisé a été saisi sous la forme d'un modèle Scilab-Xcos dans le fichier nommé « 03-Modèle axe boule - boucle de gyrostabilisation ».

Le mouvement du porteur par rapport au référentiel galiléen a été modélisé par une perturbation en trapèze de vitesse de rampe $\pm 20^\circ/s$ pendant 0,5s et avec un régime constant à vitesse maximale d'une durée de 1s.

Activité 6: Ouvrir le fichier nommé « 03-Modèle axe boule - boucle de gyrostabilisation » à l'aide du logiciel Scilab-Xcos.

Modifier dans le contexte les valeurs des paramètres de correction du correcteur « PI Gyrostabilisation » trouvés précédemment.

Exécuter la simulation et analyser les courbes obtenues.

Question 14 : Conclure quant à la validité du principe de la gyrostabilisation retenue pour annuler les effets du mouvement du porteur par rapport au référentiel galiléen sur la ligne de visée du pilote. Quelles sont les exigences qui peuvent être vérifiées entre le système ainsi simulé et le système souhaité ? Le sont-elles ?

Activité 7: Implanter dans l'interface du BGR les paramètres du correcteur « PI » de la boucle de gyrostabilisation trouvés précédemment à partir du menu PARAMETRES BGR-300



(icône de l'écran d'accueil de l'interface BGR).

- Dans l'onglet « Choix FONCTIONS », sélectionner GYROSTABILISATION Axe 1 « Boule » dans la liste déroulante.



Remplacer les valeurs par défaut pour les paramètres paramètres $KP - G01$ et $KI - G01$.



- Sortir ensuite du menu en cliquant sur

Activité 8: Ouvrir la fenêtre de visualisation dynamique et paramétrer l'affichage comme suit :



- Cliquer sur de la zone AXE 2 : OPTIQUE et sélectionner seulement l'affichage de θ_0 ;



- Cliquer sur de la zone AXE 1 : BOULE et sélectionner l'affichage de θ_m , Ω_c , Ω_m et Ω_{op} .

Activité 9: Après avoir activé le laser situé sur l'axe Optique et la fonction de gyrostabilisation, recréer un mouvement équivalent à celui du porteur du système (exemple : hélicoptère) en agissant sur la poignée manuelle noire et observer simultanément les mouvements du laser sur le mur de projection et ceux sur la fenêtre de visualisation dynamique.



Enregistrer une séquence de ce mouvement d'aller/retour de puis l'affichage dynamique.

Question 15 : En analysant les courbes obtenues, conclure quant à la validité du principe de la gyrostabilisation retenue pour annuler les effets du mouvement du porteur par rapport au référentiel galiléen sur la ligne de visée du pilote. Quelles sont les exigences qui

peuvent être vérifiées entre le système ainsi réel et le système souhaité ? Le sont-elles ?

Fin du sujet