

SEQUENCE 6 :

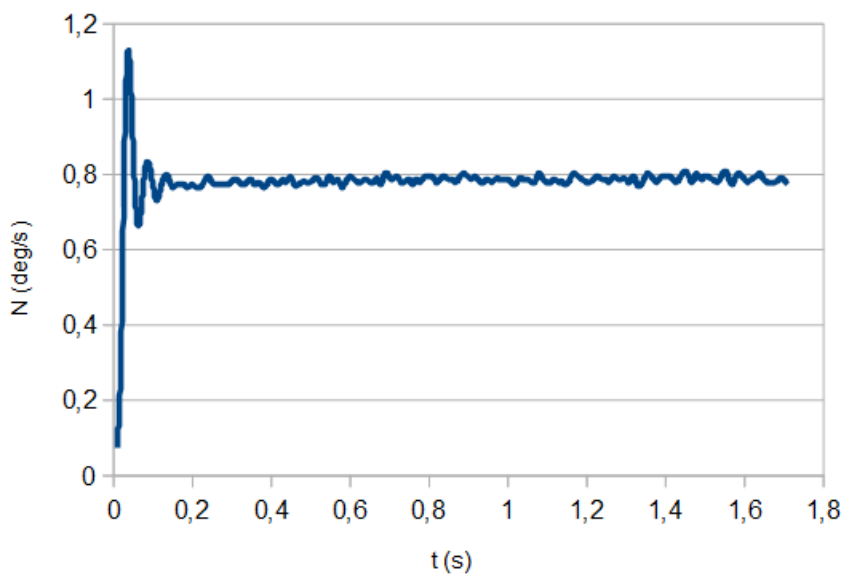
Activité : Modéliser et Simuler le comportement d'un SA.

Systeme Asservi (SA) étudié : l'ASTROLAB



Table des matières

Ressources nécessaires.....	3
Objectifs.....	3
Modéliser et simuler.....	3
Organisation du travail.....	4
Timing de l'organisation :	4
Recommandations :	4
Hypothèses de travail :	4
Activité 1 : Analyser le fonctionnement du système et les performances attendues (tout le groupe).....	5
Travail A.11 : Montage équatorial.....	5
Travail A.12: Suivi d'un objet céleste	5
Travail A.13: Justification d'une boucle fermée	5
Activité 2 : Utiliser l'EDI, manipuler la maquette et réaliser des expériences (les expérimentateurs)	5
Travail A.21: Utilisation de l'EDI Arduino	5
Travail A.22: Etude de l'influence de Kp.....	6



.....	8
Travail A.23: Choix de Kp.....	8
Recommandations :	8
Travail A.24: Influence de Ki.....	8
Travail A.25: Choix de Ki et Kp.....	8
Travail A.26: Travail complémentaire.....	8
Recommandations :	8
Activité 3 : Réaliser un modèle multi-physique dans le module SIMSCAPE de Matlab (le modélisateur) et effectuer des simulations	8
Travail A3.1 : Simulation de l'asservissement en vitesse de l'azimut	8
Travail A3.2 : Modéliser dans Matlab (Module Simulink).....	9

Travail A3.3 : Création de la correction 10

Travail A3.4 : Simulation 11

Travail A3.5 : Utilisation d'un P.I.D. (un correcteur Proportionnel Intégral Dérivé). 11

À la fin d'une séance 11

Ressources nécessaires

- le **système réel** instrumenté (avec Carte Arduino didactisée);
- le **dossier multimédia** du système (préciser sa localisation sur le réseau).

Objectifs

L'**objectif** principal de l'activité est d'étudier l'asservissement en vitesse du mouvement azimutal de l'ASTROLAB, de tracer l'évolution du déplacement et de la vitesse de la lunette par rapport au Bâti (trépieds) supposé fixe à partir de résultats issus de l'expérimentation ainsi que de la simulation et de préparer une restitution orale.

Modéliser et Simuler numériquement le comportement d'un SA.				
Analyser	Modéliser		Expérimenter	Communiquer

Il est proposé :

- de **rappeler** le principe de conception des correcteurs PID ;
- de **réaliser** un asservissement sur un système réel en le programmant;
- de **définir** et **construire** un **modèle d'asservissement** à partir de sa chaîne fonctionnelle dans un logiciel de modélisation multiphysique (module SIMSCAPE de Matlab);
- de **simuler** le **comportement du Système Asservi (SA)** ;
- **d'exploiter la simulation** en traçant des **trajectoires, vitesses et courbes** représentatives
- de **comparer** les résultats issus de l'expérimentation à ceux issus de la simulation et en **analyser** les écarts.

Les **différents travaux réalisés** seront présentés oralement et à partir d'un support écrit sous la forme d'un **Poster en A2** à la séance suivante, réalisé à partir de copies d'écran et de documents imprimés.

Modéliser et simuler

La simulation numérique fait partie intégrante des processus de conception et d'industrialisation des systèmes. Simuler des phénomènes complexes (physiques, mécaniques, électroniques, etc.) permet d'en **étudier les comportements** et d'obtenir des résultats sans avoir nécessairement besoin de recourir à l'expérience sur un prototype ou un système réel.

Meca3d, **intégré** à SolidWorks, permet de simuler le comportement cinématique du modèle à partir de la maquette 3D de Solidworks. Il permet aussi l'analyse des efforts en quasi-statique ou en prenant en compte les termes dynamiques.

Le Module **SIMSCAPE de Matlab** est un outil de simulation **multi-physique Acausal** qui permet de modéliser et de simuler toute la chaîne fonctionnelle d'asservissement en tenant compte de l'influence multi-physique de tous les composants de la chaîne.

Le support étudié est un dispositif de poursuite d'objets interstellaires en tenant compte de la rotation de la terre ainsi que de la position terrestre de la zone où se situe l'observatoire. Ce dispositif permet de convertir un mouvement de **rotation continue** de l'Arbre moteur en Rotation de la lunette. Il se classe dans la famille des « transmetteurs linéaires ».

Organisation du travail

Travail pratique à réaliser en 2 fois **1 heure 30** par groupe de 3-4 élèves.

1 Modélisateur : il réalisera l'**activité 2** sur la modélisation multi-physique du comportement attendu

1(ou 2) Expérimentateur(s) : il(s) réalisera(ont) l'**activité 1** sur la manipulation de la maquette et l'étude expérimentale.

1 chef de projet : Il coordonne le travail de l'équipe, centralise les livrables de chacun, les synthétise dans un document de restitution (le poster) et surtout il est le maître du temps et du climat de travail.

Timing de l'organisation :

20-25 minutes de lecture de la totalité du sujet puis répartition du rôle de chacun.

30 minutes d'appropriation des environnements de travail, lecture des tutos (activité 1 & 2)

30 minutes de manipulation en totale autonomie

5-10 minutes de présentation à l'enseignant des avancées du groupe.

30 minutes d'actions correctives de la part de chaque antagoniste

60 minutes pour préparer le document pour la restitution écrite et orale (finalisation des expérimentations pour certains, nouvelles simulations pour d'autres, partage des infos, recherche sur Internet de modèles de connaissances)

Les résultats seront conservés sous la forme d'impressions écran et envoyés (partagés) au chef de projet

Recommandations :

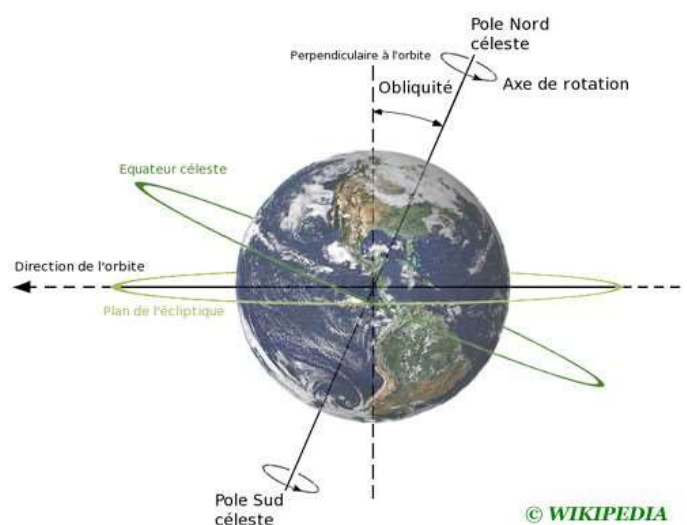
ATTENTION. La base et la fourche ont une rotation limitée.

Dans le plan horizontal des butées limitent la rotation de la fourche à 360 ° pour éviter d'endommager les liaisons électriques. Dans le plan vertical, une butée empêche l'objectif de venir frapper la fourche vers le haut, au-delà de 90° et de venir frapper l'embase vers le bas à plus de 30°.

Ne forcez pas car des dégâts irréversibles pourraient sinon en résulter.

Hypothèses de travail :

Le **montage équatorial** aligne l'axe polaire du télescope avec le pôle céleste Nord (ou Sud si vous êtes dans l'hémisphère Sud). Avec un télescope monté en mode équatorial, les objets astronomiques peuvent être suivis en déplaçant simplement le télescope sur son axe polaire (la rotation azimutale de sa fourche). Il suffit d'allumer le moteur de votre ETX et il compensera la rotation de la Terre autour de son axe et maintiendra les objets dans le champ de vision de l'oculaire. Si le télescope est bien aligné sur le pôle, les réglages de la déclinaison seront à peine nécessaires.



Activité 1 : Analyser le fonctionnement du système et les performances attendues (tout le groupe)

Travail A.11 : Montage équatorial

- **Expliquer** le montage équatorial. En particulier **vous donnerez** la valeur de l'angle d'inclinaison du plateau sur lequel repose l'embase par rapport à l'horizontale ; et **vous donnerez** aussi la valeur, ainsi que le sens, de la vitesse de rotation azimutale qui permet le suivi d'un astre.

On veut conserver un objet céleste dans le champ du télescope pendant **au moins deux heures**. Pour simplifier l'étude on se place dans le cas d'une monture équatoriale.

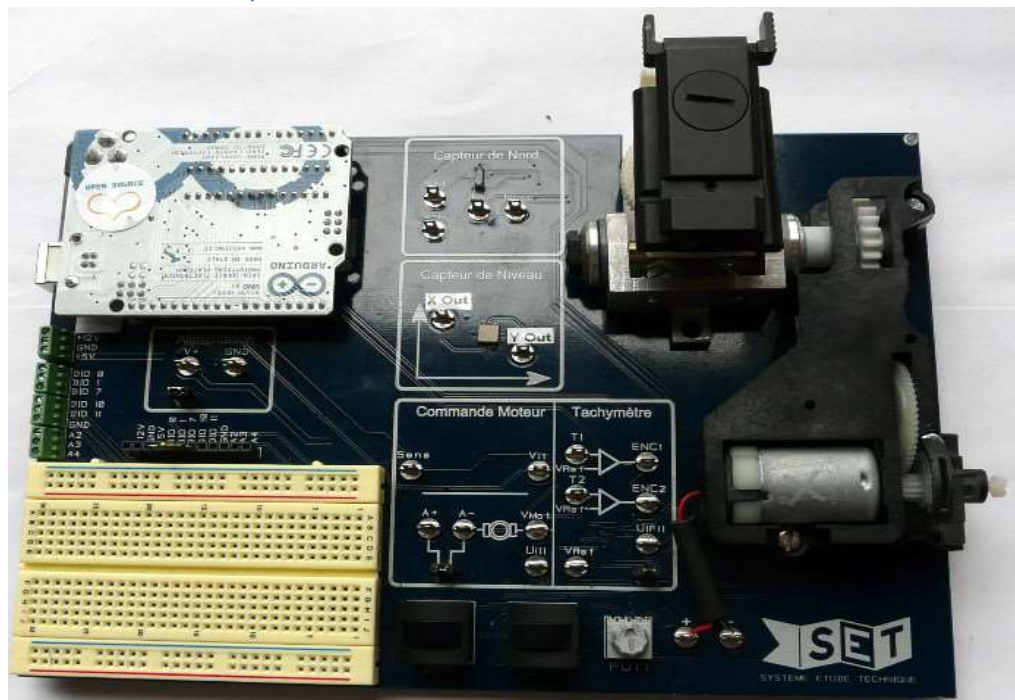
Travail A.12: Suivi d'un objet céleste

- Sachant que le rapport de réduction entre l'axe de sortie (15) de l'embase et l'arbre du moteur (1) d'azimut vaut **1/12320**, à **quelle vitesse doit tourner** ce moteur pour assurer le suivi d'un objet céleste ?

Travail A.13: Justification d'une boucle fermée

- Sachant qu'un système de commande de moteur à courant continu en boucle ouverte permet de stabiliser la vitesse au mieux à $\pm 5\%$ de la valeur de consigne, **est-ce que** la commande en boucle fermée **est justifiée**. On se placera dans le cas extrême où la vitesse a toujours une erreur de $+5\%$ par exemple.

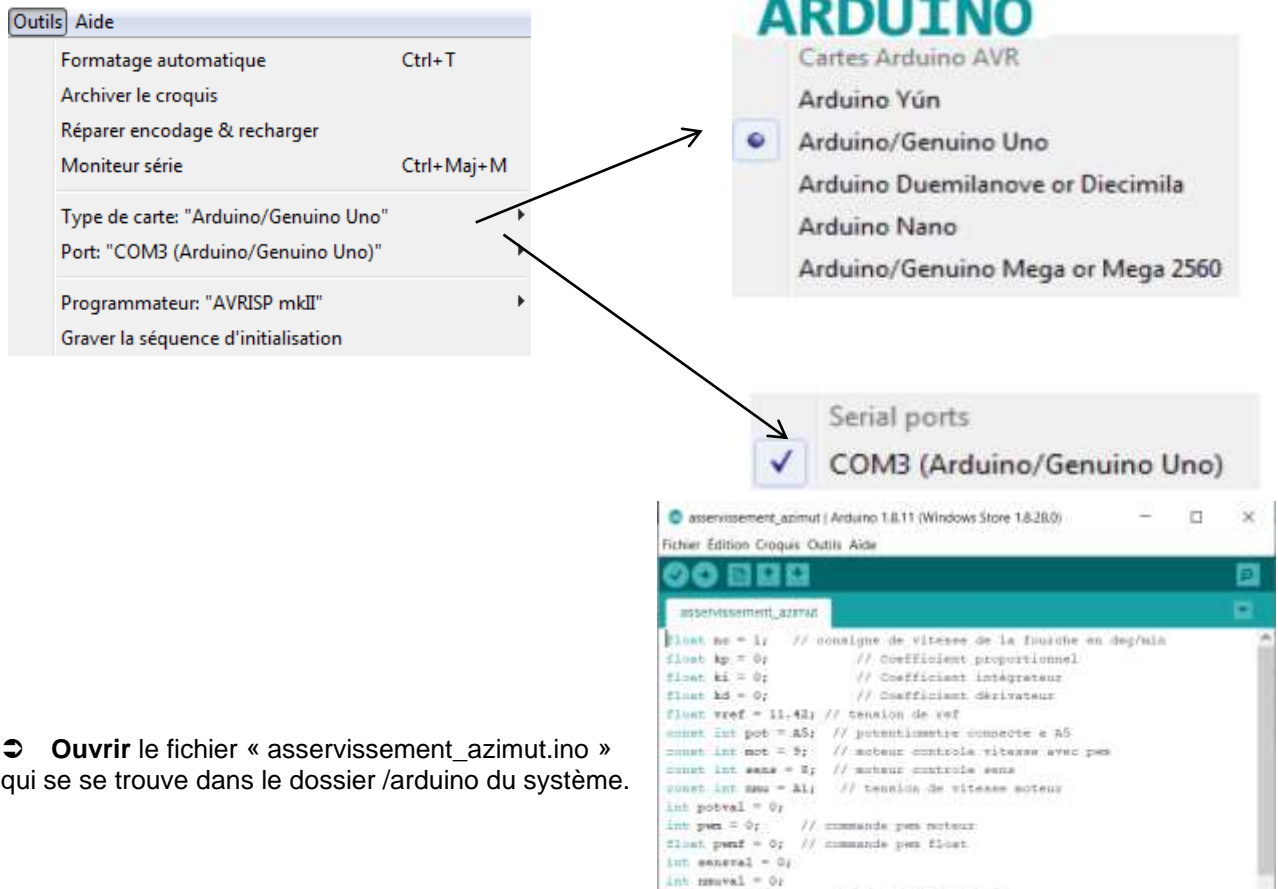
Activité 2 : Utiliser l'EDI, manipuler la maquette et réaliser des expériences (les expérimentateurs)



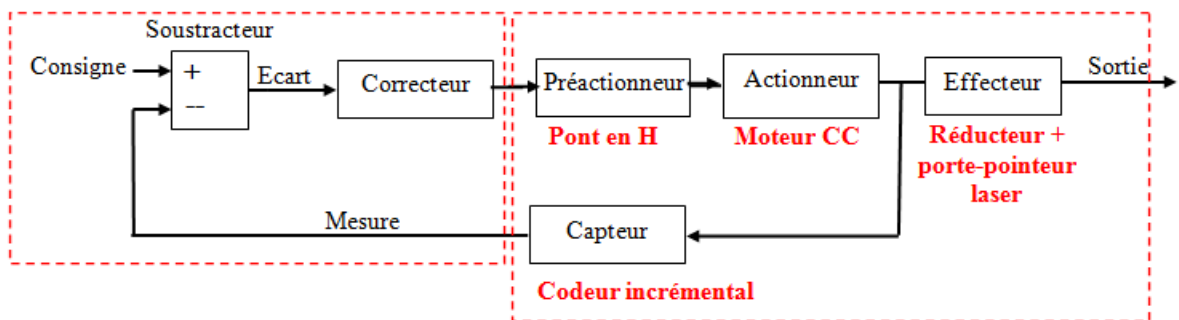
Travail A.21: Utilisation de l'EDI Arduino

- **Lancer** le logiciel **Arduino**.

⇒ **Vérifier** si la carte Arduino et le port série Com3 sont bien sectionnés.



⇒ **Ouvrir** le fichier « asservissement_azimut.ino » qui se se trouve dans le dossier /arduino du système.



Ci-dessus la chaine fonctionnelle d'asservissement de l'Astrolab.

Travail A.22: Etude de l'influence de Kp

Etudions l'influence du correcteur proportionnel seul Kp avec une consigne de vitesse Nc = 1°/s de rotation de la fourche.

Vous allez réaliser une série d'essais avec différentes valeurs de Kp :

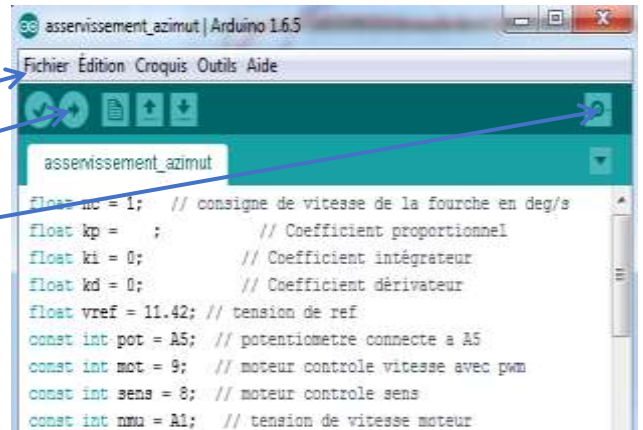
Kp	50	100	200	300	500
-----------	----	-----	-----	-----	-----

Après chaque modification de Kp, réaliser les actions suivantes

1/ **Enregistrer** la modification (ctrl + s)

2/ **Téléverser** le programme

3/ **Visualiser** les résultats



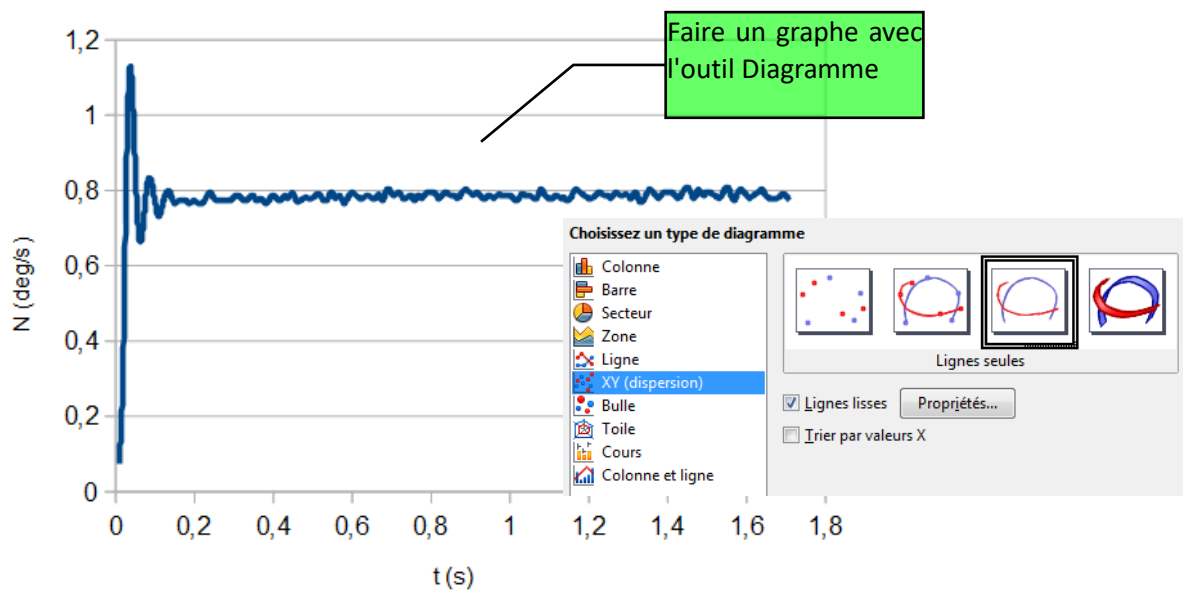
4/ **Enregistrer** les données dans un tableur Excel à partir d'un COPIER-COLLER

COM3 (Arduino/Genuino Uno)

0.0000						
50	2.2392	0.0000	N (degrés/s)			
50	2.2392	0.0000	11.420	255	300.000	
0.010	0.071	11.420	255	278.577		
0.020	0.307	9.270	207	207.882		
0.030	0.885	1.523	34	34.357		
0.040	1.128	0.000	0	-38.481		
0.050	0.900	1.344	30	30.072		
0.060	0.686	4.210	94	94.341		
0.070	0.686	4.210	94	94.341		
0.080	0.800	2.687	60	60.064		
0.090	0.828	2.284	51	51.495		
0.100	0.778	2.956	66	66.491		
0.110	0.728	3.628	81	81.487		
0.120	0.757	3.224	72	72.918		
0.130	0.793	2.777	62	62.206		

Annotations: Temps (s), N (degrés/s), Cette Valeur doit être de 9600 baud (bits/s), Arrêter le défilement pour copier les données.

Tracer les courbes dans le tableur et sauvegarder les résultats dans le fichier « fourche ».



Travail A.23: Choix de K_p

- Sachant qu'on souhaite une stabilité maximale **quelle est la valeur** la plus adaptée du coefficient K_p . **Justifier** votre choix.

Recommandations :

ATTENTION. N'oubliez pas de faire des photos pour votre poster.

Travail A.24: Influence de K_i

- Etude de l'influence de la correction intégrale K_i seule, avec une consigne de vitesse $N_c = 1$ deg/min de rotation de la fourche.

Pour la **valeur choisie** du coefficient de correction proportionnelle K_p ; vous **ferez** des expériences pour des valeurs de $K_i = 50 ; 100 ; 500 ; 1000 ; 1500 ; 2000$

Travail A.25: Choix de K_i et K_p

- Sachant qu'on souhaite une stabilité et une précision optimale, **choisir** les valeurs les plus adaptées des coefficients de correction intégrale K_i et proportionnelle K_p . Vous **apporterez** des justifications.

Travail A.26: Travail complémentaire

- Si vous avez le temps vous **pouvez étudier** l'influence de la correction dérivée avec K_d , et imposer une autre consigne de vitesse de rotation de la fourche, par exemple $N_c = 0.5$ deg /s .

Recommandations :

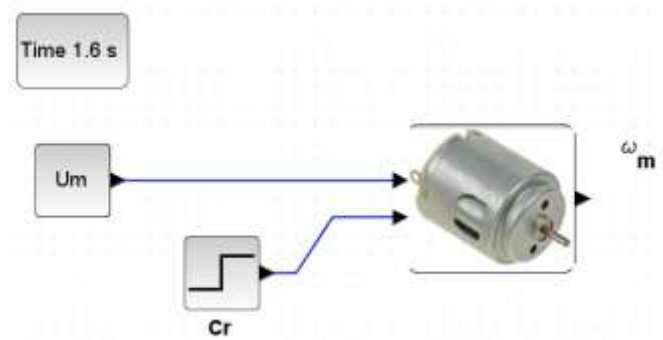
ATTENTION. N'oubliez pas de faire des photos pour votre poster.

Activité 3 : Réaliser un modèle multi-physique dans le module SIMSCAPE de Matlab (le modélisateur) et effectuer des simulations

Travail A3.1 : Simulation de l'asservissement en vitesse de l'azimut

Ouvrir le fichier '[moteur_astrolab.slx](#)' du dossier **MATLAB/**

Compléter les valeurs des paramètres (les données du moteur et du réducteur sont fournies ci-dessous).

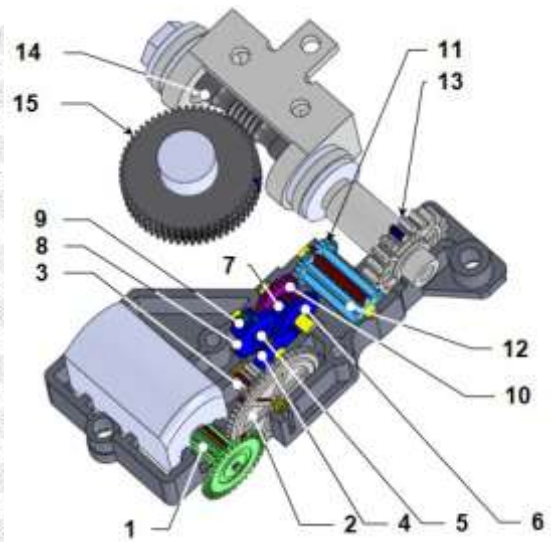


Vous définirez toutes les variables utiles avec leurs valeurs données au fur et à mesure de la construction de votre schéma.

Le rapport de réduction entre l'entrée (1) et la sortie (15), $R = 1/12320$.

SPECIFICATIONS TECHNIQUES

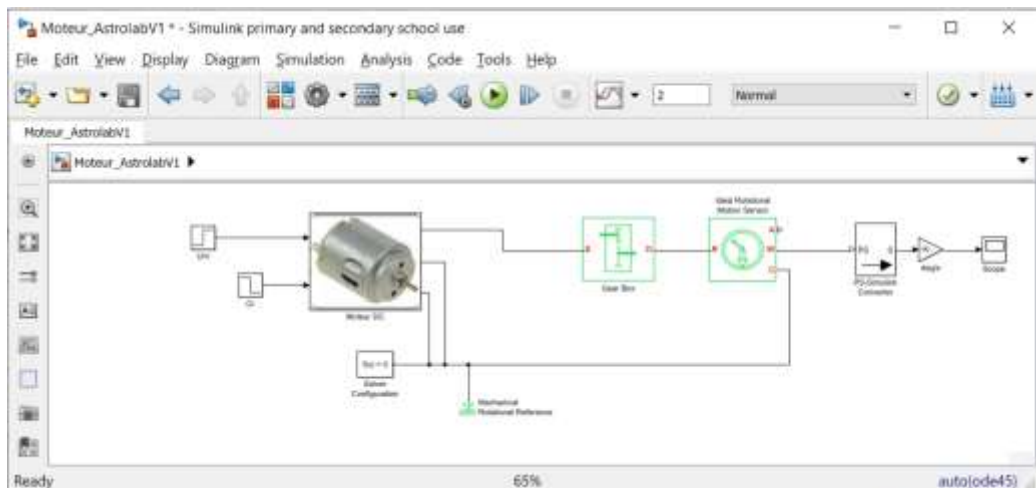
Tension d'alimentation (Ua)	V	12V
Vitesse au courant In	tr/mn	8572
Couple au courant In	mNm	4
Courant max permanent (In)	mA	620
Vitesse à vide à Ua à +/- 10%	tr/mn	12232
Courant à vide à +/- 50%	mA	92
Couple de démarrage à Ua	mNm	13
Courant de démarrage à Ua	mA	1691
Constante de couple	mNm/A	8,6
Constante de vitesse	tr/mn/V	1108
Pente vitesse/couple	tr/mn/mNm	915
Vitesse limite	tr/mn	15000
Puissance utile max, à Ua	W	4,3
Rendement maximum	%	53
Constante de temps électromécanique	ms	24
Inertie	gcm ²	3,5
Résistance aux bornes	Ohm	7,1
Inductivité	mH	5,3



Travail A3.2 : Modéliser dans Matlab (Module Simulink)

Compléter ce schéma bloc sous **Simulink**, il correspond à une alimentation du moteur sous une tension constante $U_m = 8$ (V).

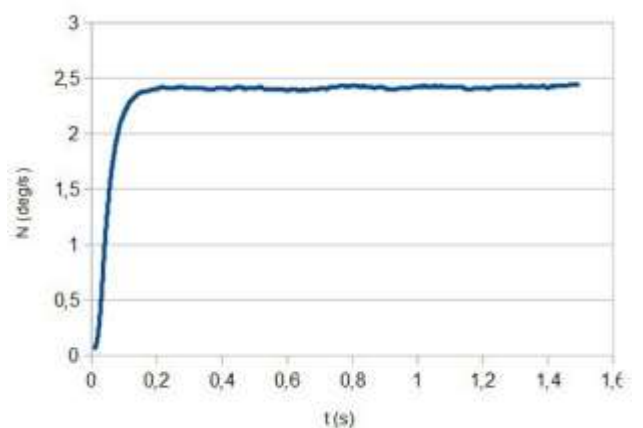
Vous prendrez un **couple résistant** $C_r = 0.0003$ Nm constant et une inertie totale des masses en mouvement ramenée sur l'axe moteur $J = 0.00000035$ (Kg m²). Le **temps de calcul** total sera de 2 s.



Vous comparerez le résultat de votre simulation à la courbe expérimentale ci-contre.

Ajuster la valeur du couple résistant dans vos simulation pour obtenir la valeur de la vitesse de rotation aux temps long.

Ajuster ensuite si nécessaire la valeur de l'inertie J pour obtenir la bonne 'rapidité' (demander conseil à votre enseignant).

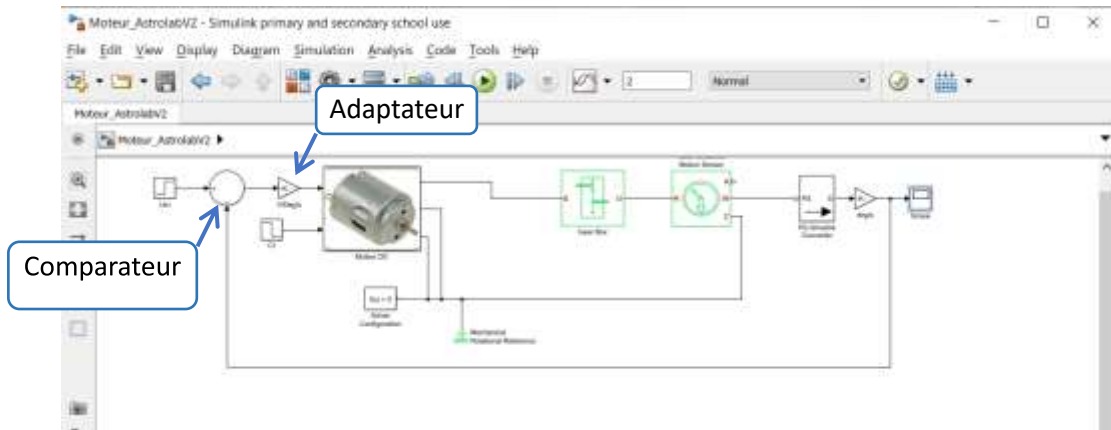


Travail A3.3 : Création de la correction

Création de la chaîne de retour 'brute' et **observer** le signal de sortie ; la vitesse de rotation de l'axe de la fourche $N(t)$ (**exprimés en deg/s**) pour une consigne représentée par un échelon $N_c(t) = 1 \times u(t)$ (**exprimés en deg/s**).

Il faut **intégrer** un comparateur et un adaptateur qui transforme l'écart entre la vitesse de rotation de consigne et la vitesse de rotation de l'axe de la fourche en une tension de commande du moteur. Cet adaptateur est modélisé par un bloc de gain de valeur $K_{adap} = 11.42$

255 (11.42 représente la tension d'alimentation maximale du moteur et 255 la valeur maximale du signal numérique de la sortie de la carte Arduino qui commande le moteur).



Travail A3.4 : Simulation

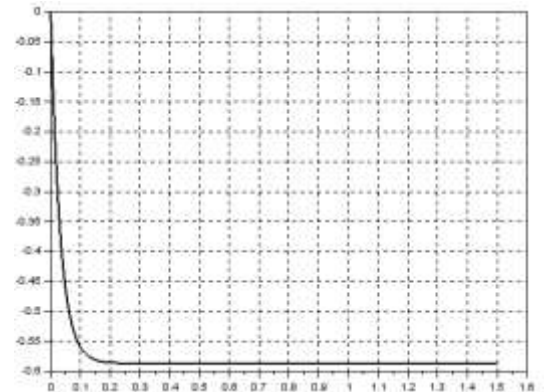
Vous ferez une simulation avec les valeurs suivantes et pour des conditions initiales $N(t=0) = 0$.

La consigne de vitesse de rotation est un échelon un échelon $N_c(t) = 1 \times u(t)$ (**exprimés en deg/s**).

Le couple résistant est $C_r = ? Nm$ déterminé au travail (E.2).

L'inertie totale $J = 3.5 \cdot 10^{-7}$ des masses en mouvement ramenée sur l'axe moteur en **Kg m²**.

Expliquer ce que vous observez.



Travail A3.5 : Utilisation d'un P.I.D. (un correcteur Proportionnel Intégral Dérivé).

Vous allez **insérer** un PID après le comparateur.

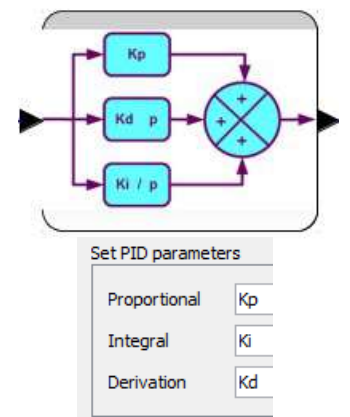
Cet élément module le signal de commande du moteur en fonction de l'écart $\epsilon = N_c - N$.

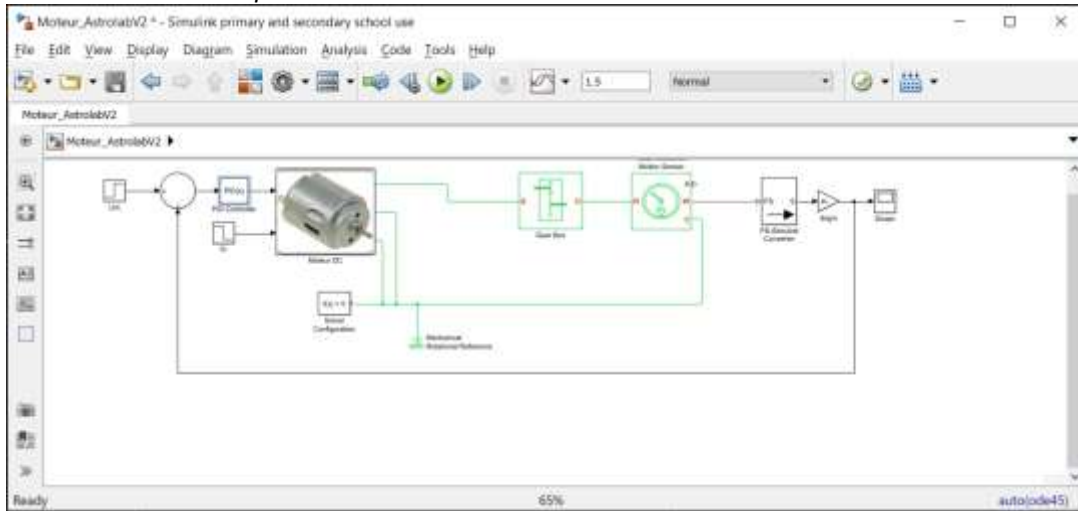
Le coefficient K_p multiplie l'écart.

Le coefficient K_d multiplie la dérivée de l'écart.

Le coefficient K_i multiplie l'intégration de l'écart.

Si on note $s(t)$ la sortie du PID, elle est reliée à l'écart par :





$$s(t) = K_p \varepsilon + K_d \dot{\varepsilon} + K_i \int \varepsilon .$$

Après avoir relancer la simulation **Expliquer** ce que vous observez.

À la fin d'une séance

Éteindre le système. Fermer les sessions et éteindre les ordinateurs en fin de journée.

Merci de laisser votre espace de travail plus propre que vous ne l'avez trouvé, chaises rangées et tables nettoyées !