

Mini Projet de S.I
en classe de première
(12h)

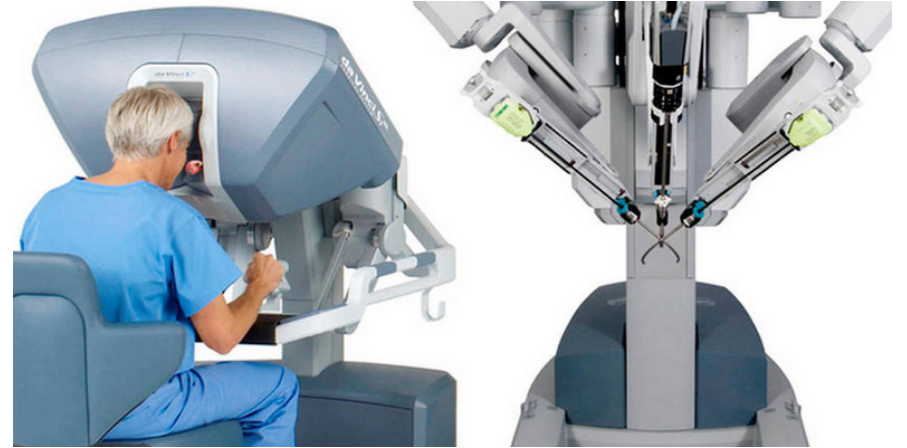
Présentation du projet

Choix du thème :

L'humain assisté, réparé, augmenté.

Le projet :

Réaliser un instrument de télé chirurgie capable de recopier, à distance, la position de la main du chirurgien.



Ressources:

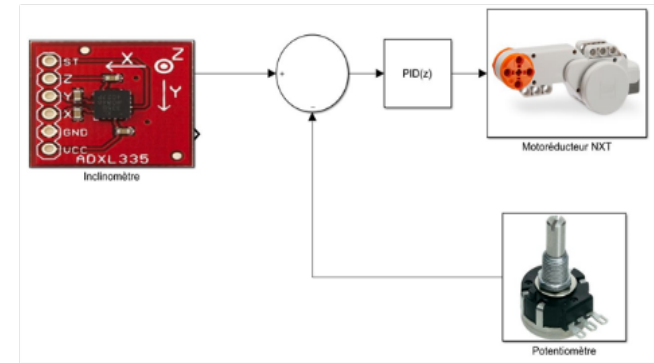
- Carte Arduino + Shield Moteur, Motoréducteur Légo NXT, inclinomètre, potentiomètre sans butée.
- Modèles multiphysiques sous Matlab/Simulink.

Synoptique

Ordinateur avec
Matlab / Simulink



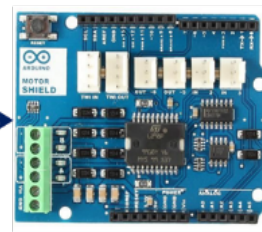
Modèle d'exécution Matlab / Simulink



Accéléromètre
utilisé en
inclinomètre



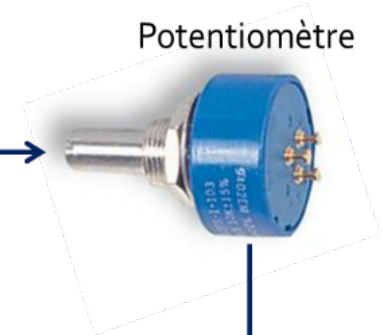
Arduino



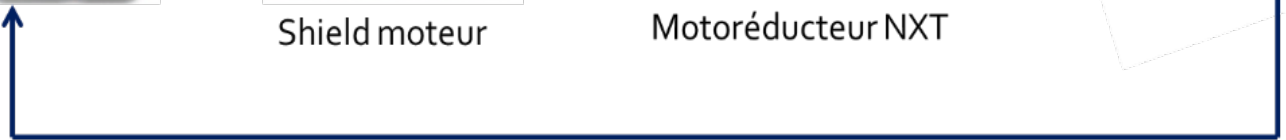
Shield moteur



Motoréducteur NXT



Potentiomètre



Matériel

Désignation	Fournisseur	Référence	Prix indicatif H.T
Module inclinomètre ADXL 335	RS Components	769-6739	38,49 €
Arduino Uno	RS Components	715-4081	21,63 €
Shield Moteur	RS Components	182-5518	21,60 €
Moteur NXT	Ebay, Amazon, etc.		Env. 35 €
Potentiomètre 5k sans butées	Farnell	9357726	13,35€

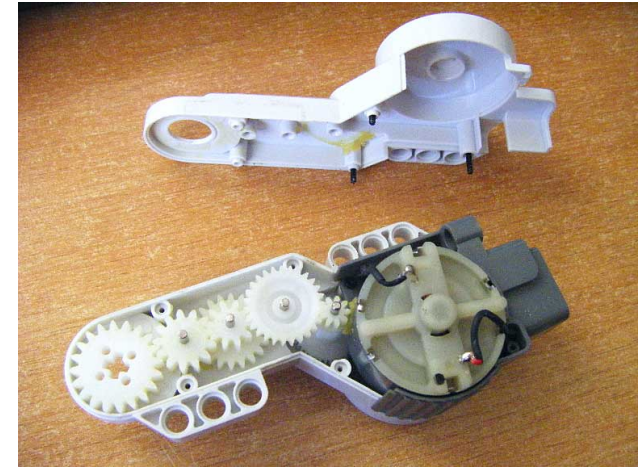
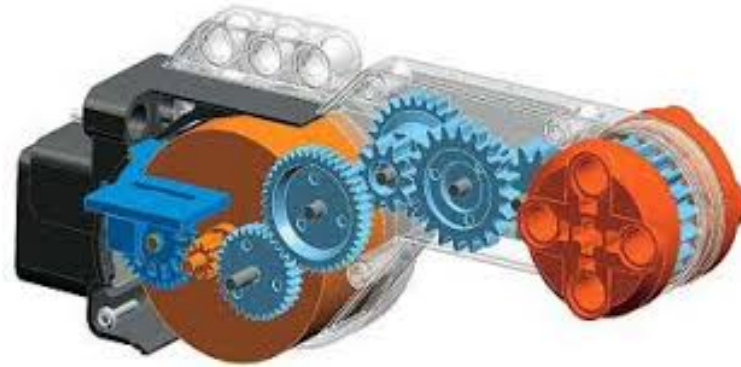
Répartition des tâches, déroulement

	ELEVE 1	ELEVE 2	ELEVE 3
H1	Découverte du projet		
H2	<u>Motoréducteur</u>	<u>Potentiomètre</u>	<u>Inclinomètre</u>
H3	Analyse : <ul style="list-style-type: none"> Etude du réducteur (détermination de r) 	Analyse : <ul style="list-style-type: none"> Etude du diviseur potentiométrique 	Analyse : <ul style="list-style-type: none"> Utilisation de l'accéléromètre en inclino.
H4	<ul style="list-style-type: none"> Etude du moteur (détermination de kv) 	<ul style="list-style-type: none"> $U=f(\theta)$ et $\theta=f(U)$ 	<ul style="list-style-type: none"> Relation $u=f(\theta)$
H5	Simulation : <ul style="list-style-type: none"> Paramétrage du modèle 		Simulation : <ul style="list-style-type: none"> Paramétrage du modèle -> Ecarts
H6	<ul style="list-style-type: none"> Tracé de $N=f(U)$ -> Ecarts 	Simulation : <ul style="list-style-type: none"> Paramétrage du modèle du potentiomètre -> Ecarts 	<ul style="list-style-type: none"> Linéarisation de la réponse
H7	Expérimentation : <ul style="list-style-type: none"> Tracé de $N=f(U)$ -> Ecarts 	Expérimentation : <ul style="list-style-type: none"> Tracé de $U=f(\theta)$ -> Ecarts 	Expérimentation : <ul style="list-style-type: none"> Mesure de $u=f(\theta)$ -> Ecarts
H8	<ul style="list-style-type: none"> Pilotage du moteur depuis Simulink (modèle d'exécution) 	<ul style="list-style-type: none"> Acquisition de θ par Arduino sous Simulink 	<ul style="list-style-type: none"> Acquisition par Arduino/Simulink et linéarisation. -> Ecarts
H9	Analyse : Etude de la boucle d'asservissement / simulation		
H10	Simulation : <ul style="list-style-type: none"> Recherche des performances optimales du modèle de simulation (réglage du correcteur PID) 		
H11	Expérimentation : <ul style="list-style-type: none"> Mise en œuvre du modèle d'exécution. Réglage du PID de l'asservissement de position et essais. 		
H12	<ul style="list-style-type: none"> Mise en œuvre de l'asservissement avec l'inclinomètre. Essais, mesures des écarts souhaité-réel. 		

Élève N°1.

H2 à H8

Motoréducteur



10:30:40 = 1:4 9:27 = 1:3 10:20 = 1:2 10:13:20 = 1:2 Global 1:48

Activité :

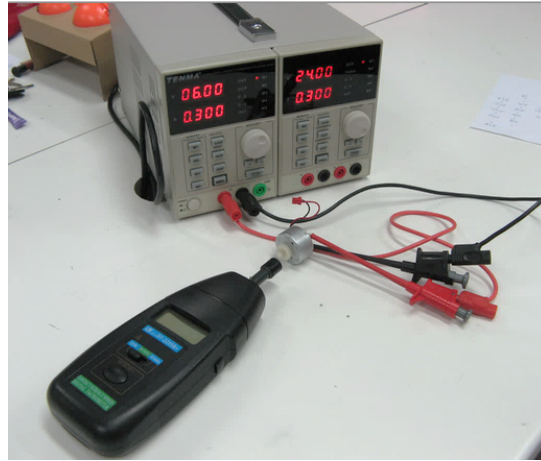
L'élève détermine le rapport de réduction, à partir d'un modèle numérique ou du système réel.

Élève N°1.

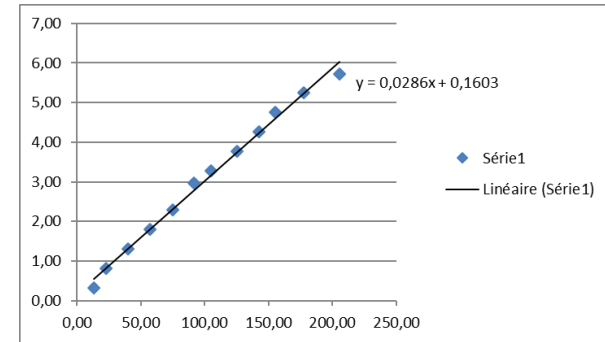
H2 à H8

Motoréducteur

Expérimentation



U(V)	N (Tour/min)	I(A)	w (rad.s ⁻¹)	E(V)	R(ohm)
0,5	129	8,00E-03	13,51	0,33	21,3
1	220	8,80E-03	23,04	0,81	21,3
1,5	385	9,00E-03	40,32	1,31	21,3
2	550	9,40E-03	57,60	1,80	21,3
2,5	720	9,80E-03	75,40	2,29	21,3
3	875	1,03E-03	91,63	2,98	21,3
3,5	1000	1,05E-02	104,72	3,28	21,3
4	1200	1,10E-02	125,66	3,77	21,3
4,5	1360	1,13E-02	142,42	4,26	21,3
5	1480	1,16E-02	154,99	4,75	21,3
5,5	1695	1,22E-02	177,50	5,24	21,3
6	1960	1,26E-02	205,25	5,73	21,3



Activité :

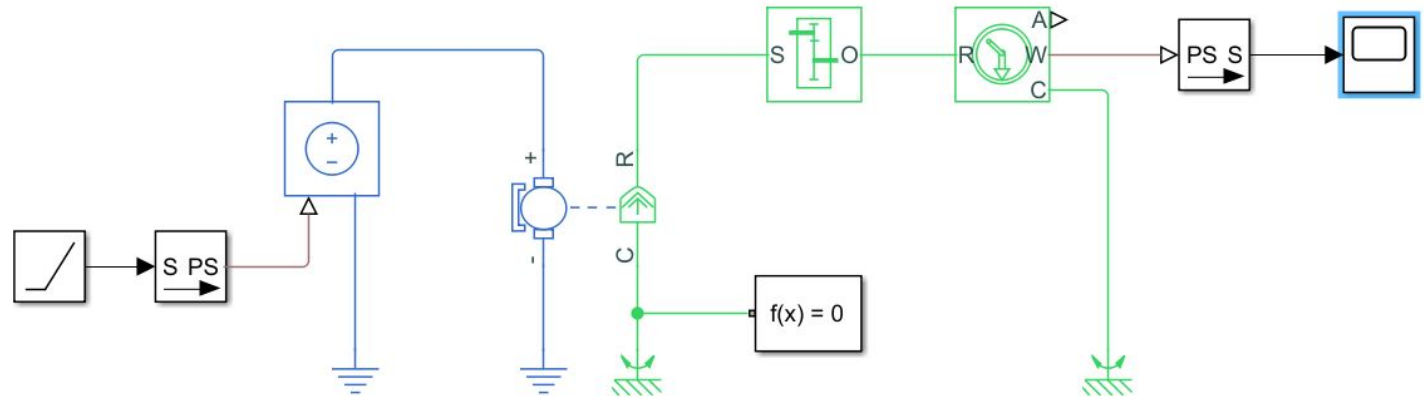
L'élève relève expérimentalement la courbe $w=f(U)$ du moteur. Il en déduit le coefficient de vitesse k_v . (On pourra éventuellement négliger la résistance d'induit).

Élève N°1.

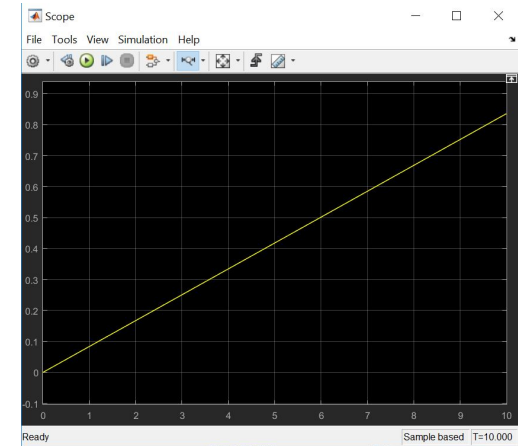
H2 à H8

Motoréducteur

Modélisation



```
2018-2019 ▸ Divers ▸ Groupe de travail SI ▸ 2 - Mardi 05 mars 19 ▸ Modeles
Editor - Z:\Travail\StElol\Divers\2018-2019\Divers\Groupe de travail SI\2 - Mardi 05
Constantes.m x +
1 % PARAMETRES DU MODELE DE SIMULATION
2
3 - r_induit = 5 % Résistance de l'induit
4 - r = 1/48 % Rapport de réduction
5 - k = 22e-3 % Coef de vitesse
```



Activité :

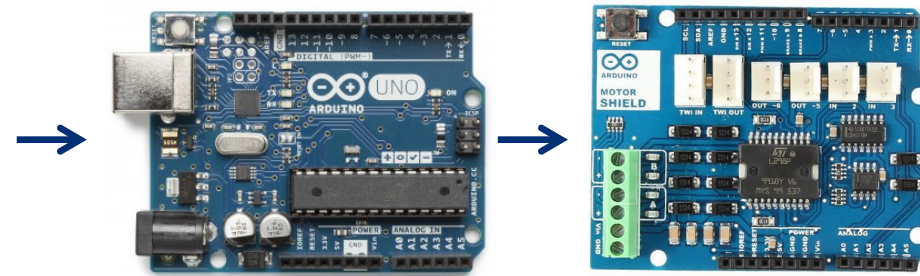
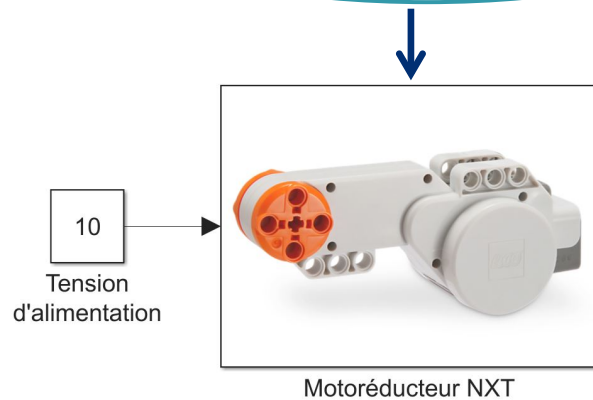
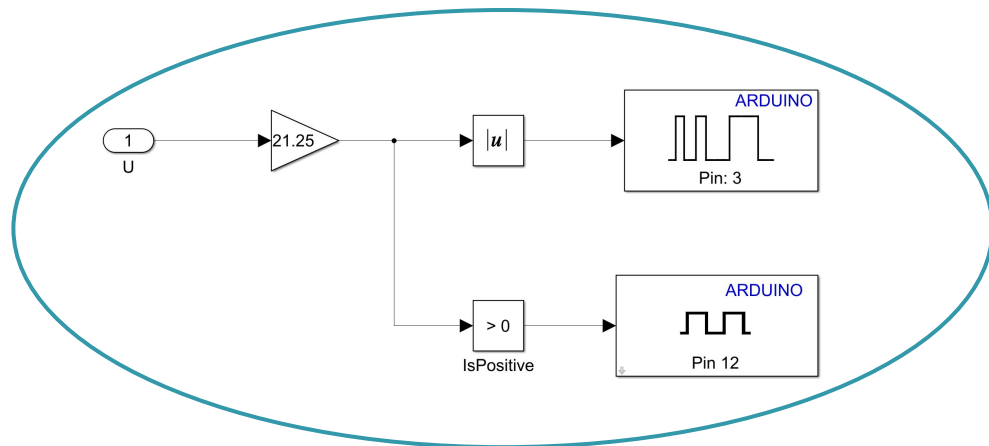
L'élève renseigne les paramètres du modèle de comportement et effectue une simulation du motoréducteur. Il peut ainsi mettre en évidence les écarts entre système réel et simulé.

Élève N°1.

H2 à H8

Motoréducteur

Pilotage du
motoréducteur par
carte Arduino sous
Matlab/Simulink



Activité :

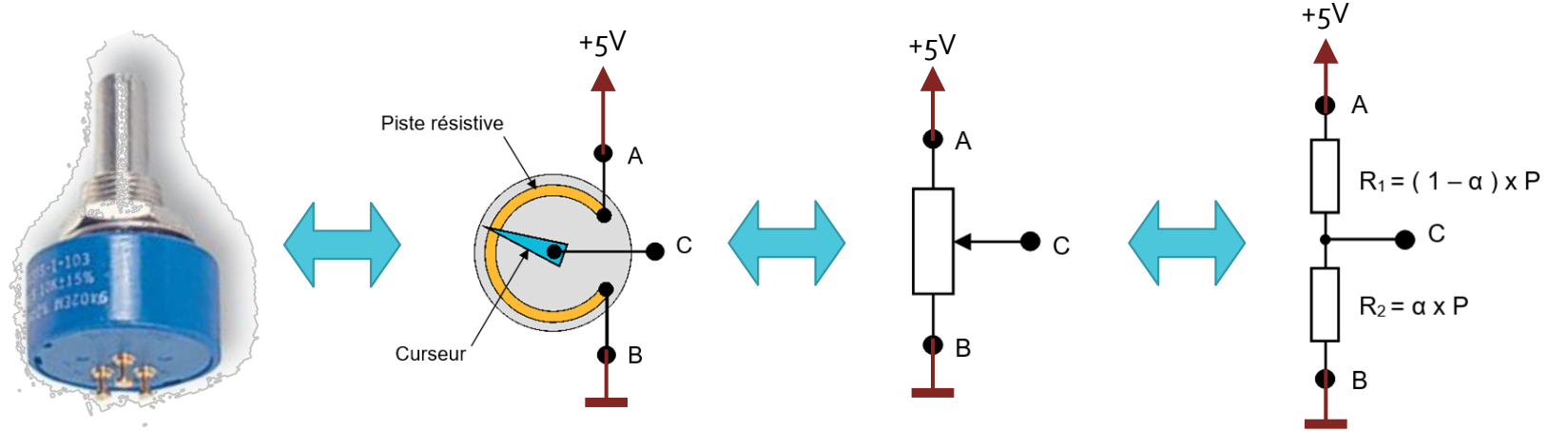
L'élève pilote le motoréducteur Lego avec une carte Arduino et un shield moteur sous Matlab/Simulink.

Élève N°2.

H2 à H8

Potentiomètre :

Analyse



Electrical Characteristics ¹	6539 Servo Mount	6639 Bushing Mount
Standard Resistance Range.....	1 K to 100 K ohms.....	1 K to 100 K ohms
Total Resistance Tolerance.....	±15 %.....	±15 %
Independent Linearity.....	±2.0 %.....	±2.0 %
Effective Electrical Angle.....	340 ° ±3 °.....	340 ° ±3 °
End Voltage.....	0.5 % maximum.....	0.5 % maximum
Output Smoothness.....	0.1 %.....	0.1 %
Dielectric Withstanding Voltage (MIL-STD-202, Method 301)		
Sea Level.....	750 VAC minimum.....	750 VAC minimum
Power Rating (Voltage Limited By Power Dissipation or 300 VAC, Whichever is Less)		
+70 °C.....	1.0 watt.....	1.0 watt
+125 °C.....	0 watt.....	0 watt
Insulation Resistance (500 VDC).....	500 megohms minimum.....	500 megohms minimum
Resolution.....	Essentially infinite.....	Essentially infinite

$$V_s = V_{cc} \left(\frac{1}{2} + \frac{\theta}{340} \right)$$

$$-170^\circ < \theta < 170^\circ$$

Activité :

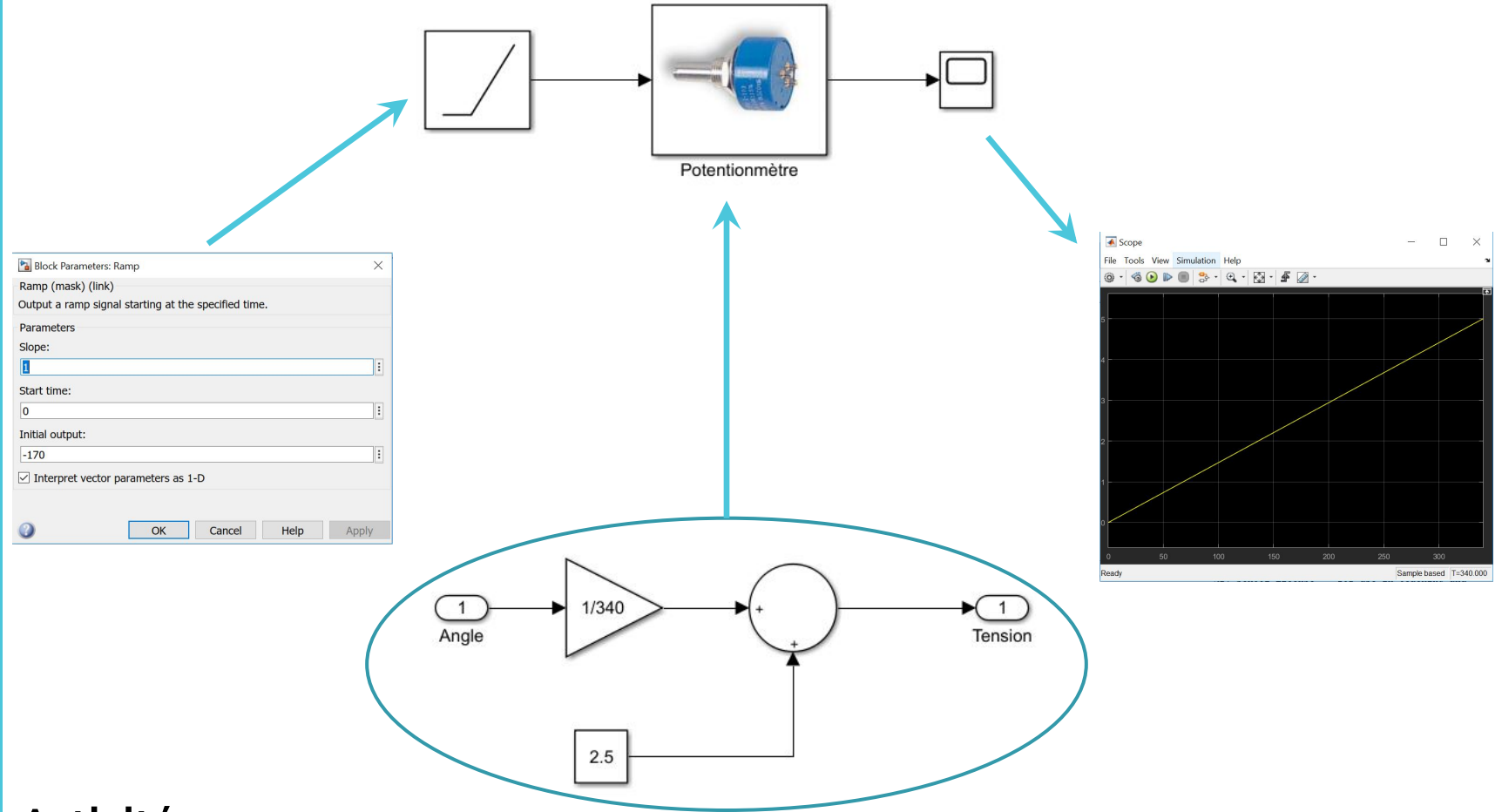
L'élève étudie le potentiomètre et trouve la fonction de transfert $V_s = f(\theta)$.

Élève N°2.

H2 à H8

Potentiomètre :

Simulation



Activité :

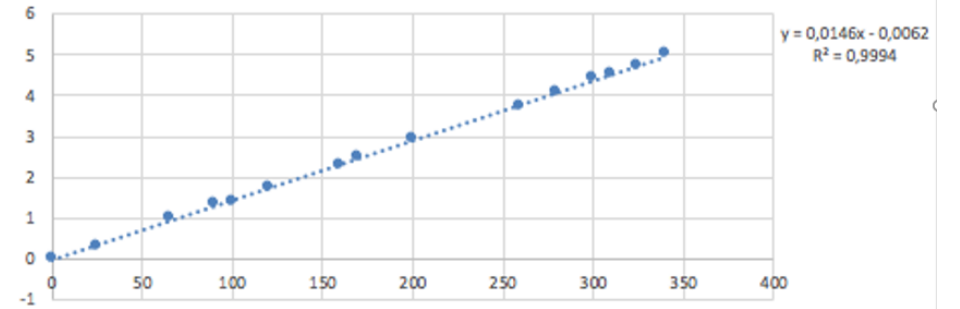
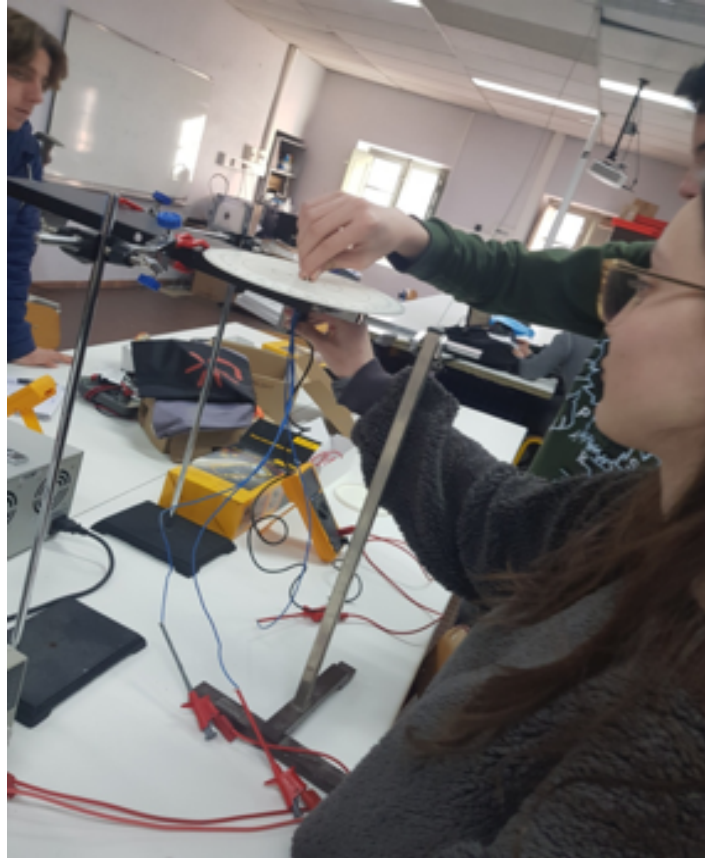
L'élève étudie le potentiomètre et trouve la fonction de transfert $V_s = f(\theta)$.

Élève N°2.

H2 à H8

Potentiomètre :

Expérimentation



Activité :

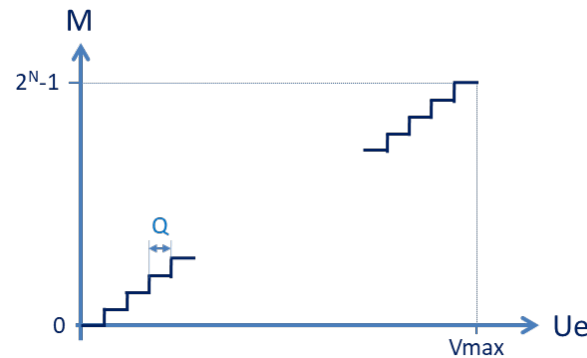
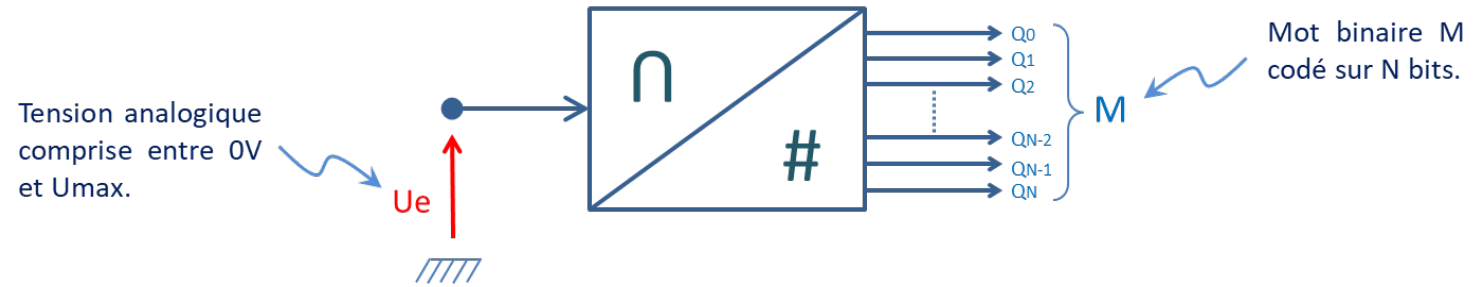
L'élève relève expérimentalement la fonction de transfert $V_s = f(\theta)$ et mesure des écarts avec le modèle de simulation.

Élève N°2.

H2 à H8

Potentiomètre :

Étude de la chaîne d'acquisition de la position angulaire du moteur



$$Q = V_{ref} / 2^n \quad M \approx V_e / Q$$

$$M \approx V_{cc} / Q \left(1/2 + \theta / 340 \right)$$

Activité :

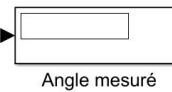
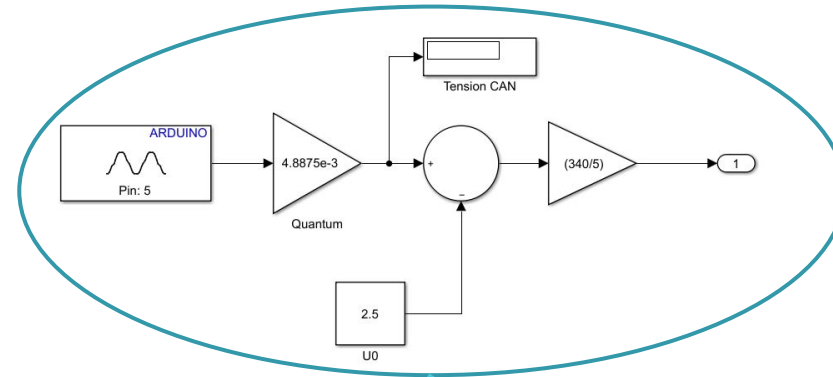
L'élève s'intéresse à la fonction de transfert du CAN de la chaîne d'acquisition. Il détermine $M = f(\theta)$.

Élève N°2.

H2 à H8

Potentiomètre :

Étude et
expérimentation de la
chaîne d'acquisition



Activité :

L'élève vérifie expérimentalement ses résultats en effectuant l'acquisition de la position angulaire du moteur sous Matlab/Simulink.

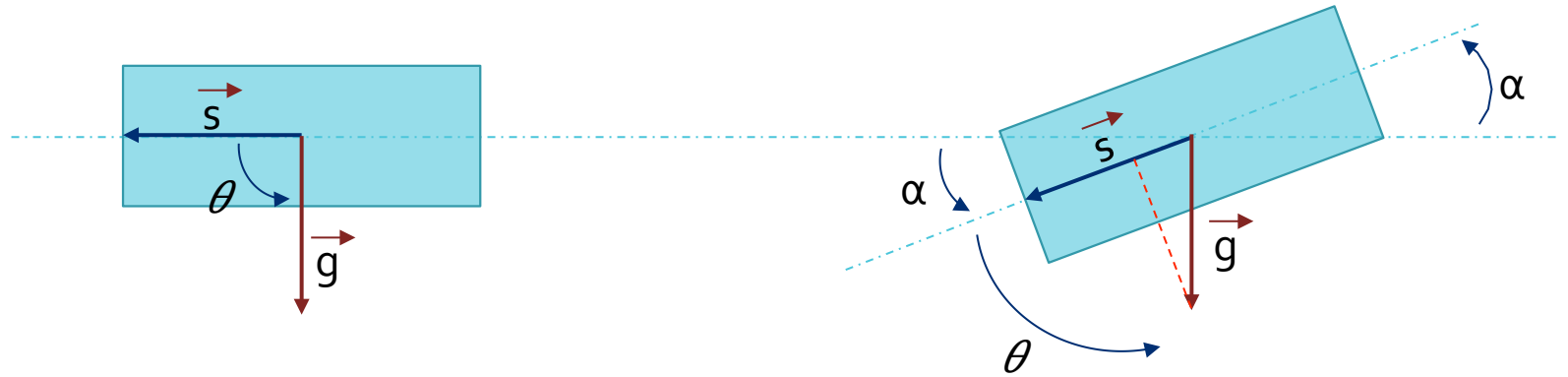
Élève N°3.

H2 à H8

Inclinomètre :

Analyse

L'accéléromètre est utilisé en inclinomètre :



$$V_s = V_0 + \|g\| \times \|s\| \times \cos(\theta)$$

$$\theta + \alpha = \pi/2 \Rightarrow \theta = \pi/2 - \alpha$$

$$V_s = V_0 + \|g\| \times \|s\| \times \cos(\pi/2 - \alpha) = V_0 + \|g\| \times \|s\| \times \sin(\alpha)$$

Activité :

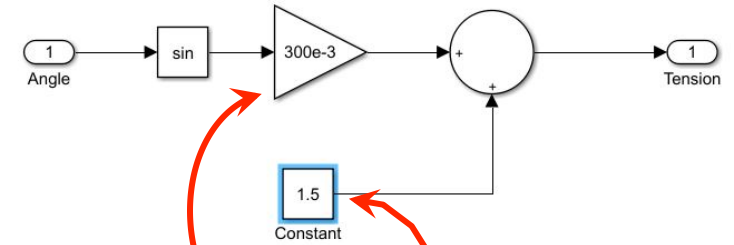
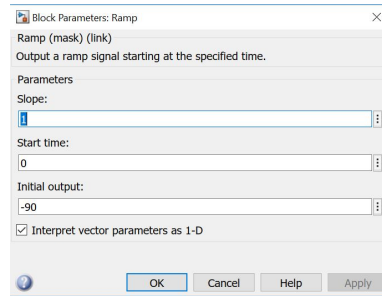
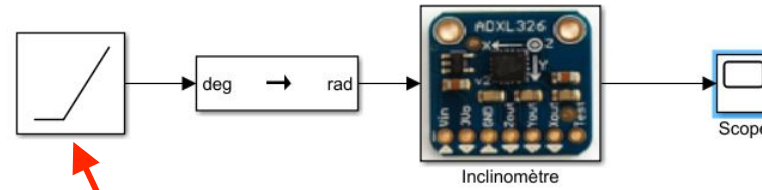
L'élève s'intéresse au principe de mesure de l'inclinaison par un accéléromètre. Il constate que la réponse du capteur ne sera pas linéaire.

Élève N°3.

H2 à H8

Inclinomètre :

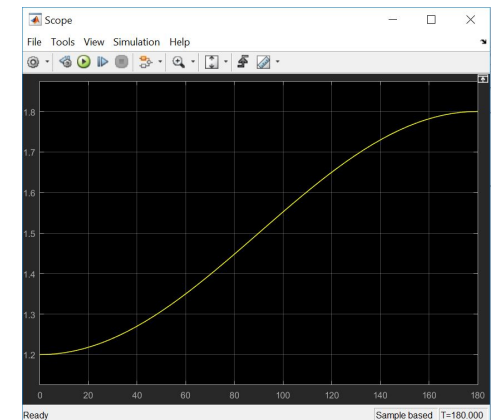
Modélisation



Cross-Axis Sensitivity ¹		±1	%		
SENSITIVITY (RATIOMETRIC) ²	Each axis				
Sensitivity at X _{OUT} , Y _{OUT} , Z _{OUT}	V _S = 3 V	270	300	330	mV/g
Sensitivity Change Due to Temperature ³	V _S = 3 V		±0.01		%/°C
ZERO g BIAS LEVEL (RATIOMETRIC)					
0 g Voltage at X _{OUT} , Y _{OUT}	V _S = 3 V	1.35	1.5	1.65	V
0 g Voltage at Z _{OUT}	V _S = 3 V	1.2	1.5	1.8	V
0 g Offset vs. Temperature			±1		mg/°C
NOISE PERFORMANCE					
Noise Density X _{OUT} , Y _{OUT}			150		µg/√Hz rms

Activité :

L'élève consulte la documentation du capteur pour en tirer les paramètres du modèle de comportement. Il renseigne le modèle et effectue la simulation

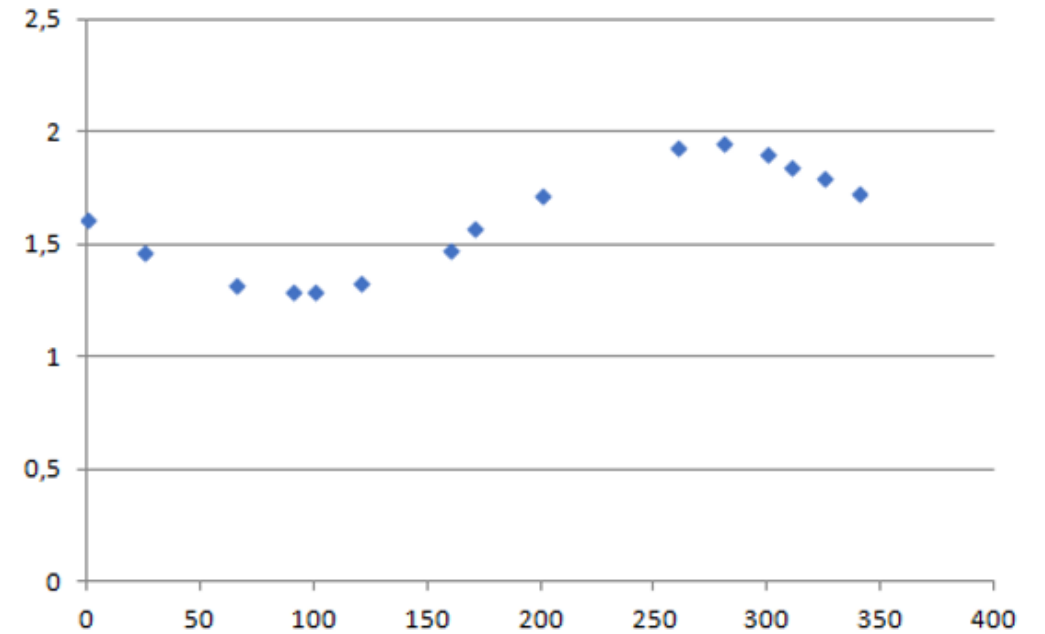
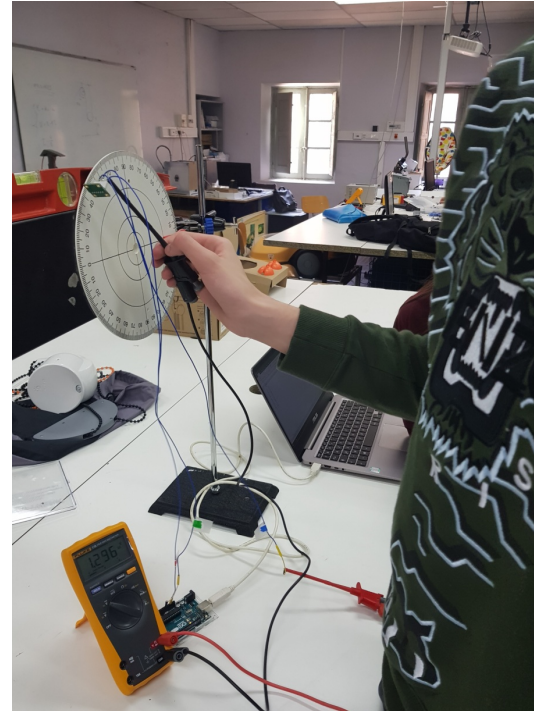


Élève N°3.

H2 à H8

Inclinomètre :

Expérimentation



Activité :

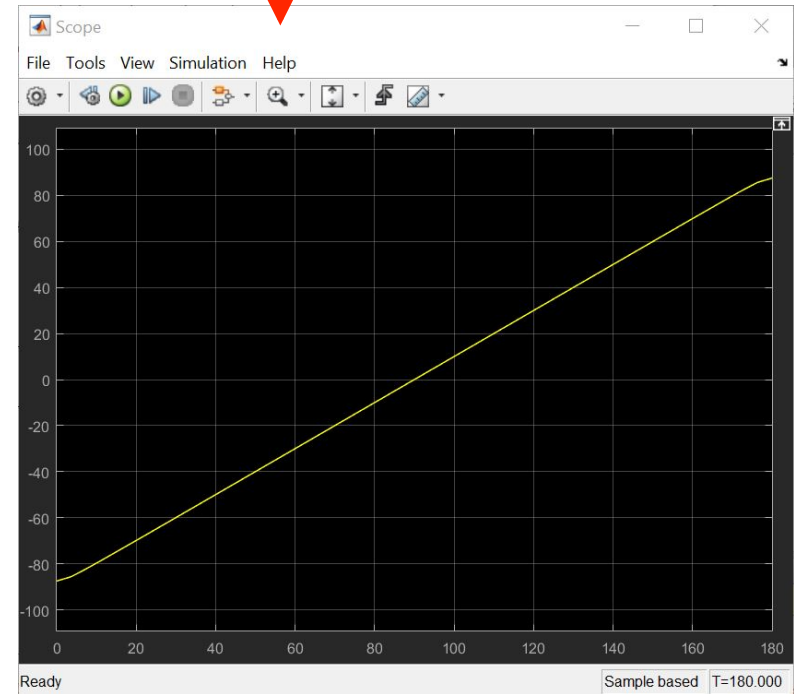
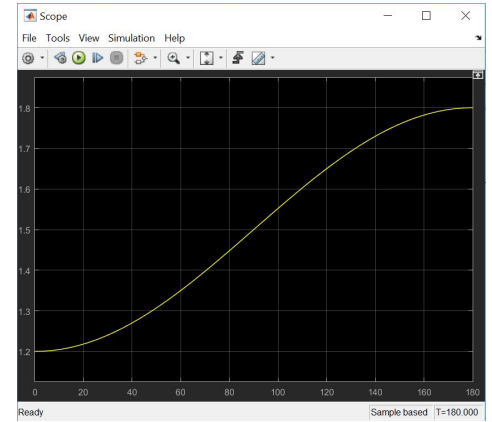
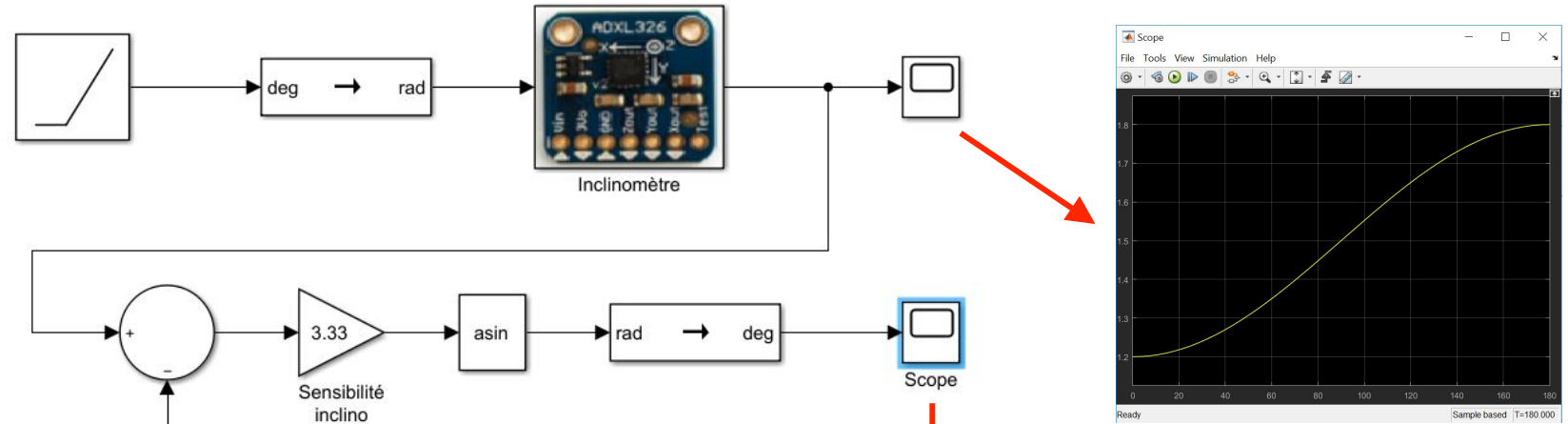
L'élève relève expérimentalement la caractéristique du capteur. Il mesure un écart avec le résultat de simulation. Il en déduit la sensibilité et la tension de décalage de son capteur, et corrige les paramètres du modèle de simulation pour minimiser les écarts.

Élève N°3.

H2 à H8

Inclinomètre :

Linéarisation.



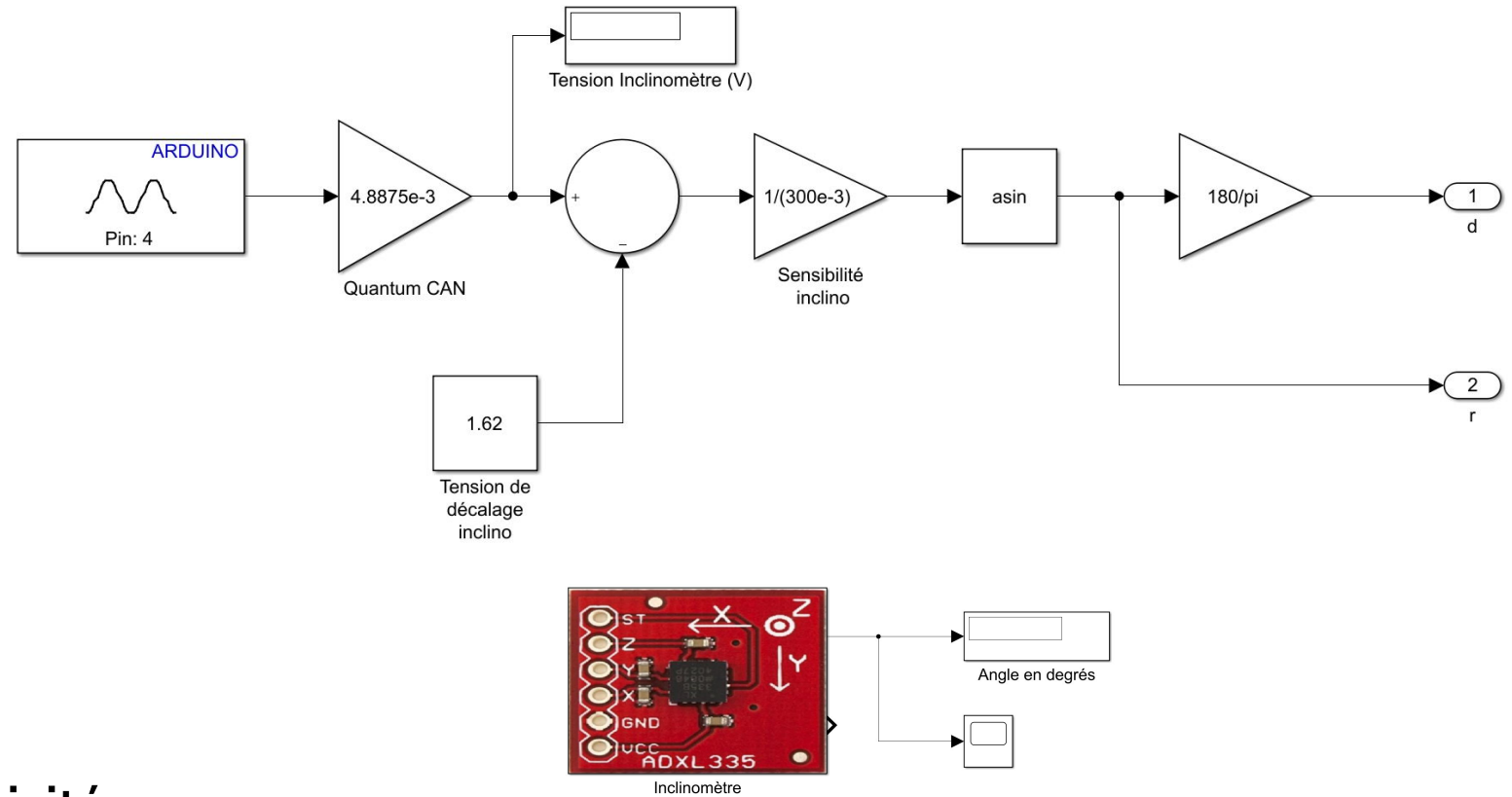
$$\alpha = \sin^{-1}(V_c - V_o/s)$$

Élève N°3.

H2 à H8

Inclinomètre :

Acquisition et
Linéarisation.



Activité :

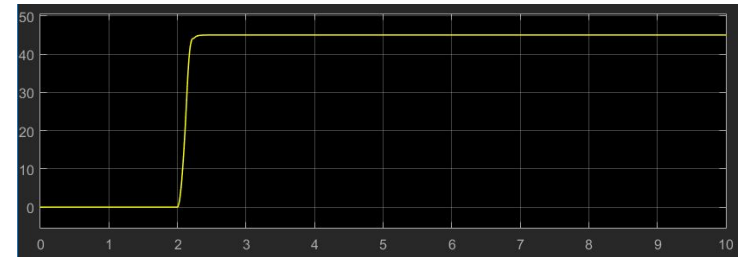
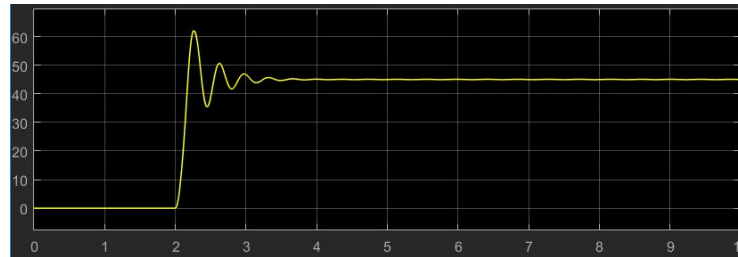
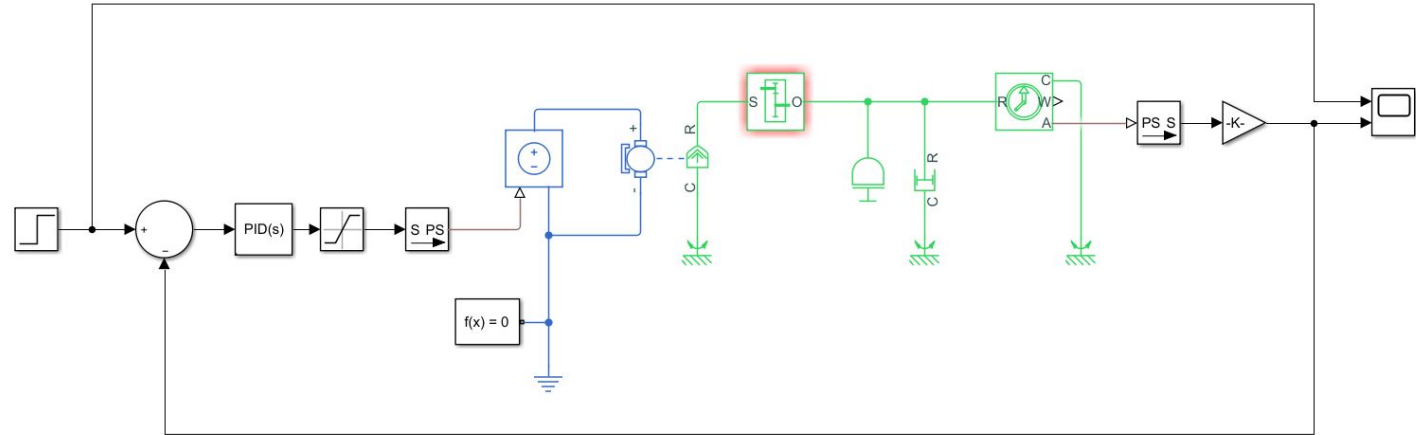
L'élève connecte l'inclinomètre à la carte Arduino, et reporte les paramètres trouvés précédemment dans le modèle d'exécution. Il peut alors lire, en temps réel, l'angle mesuré par l'inclinomètre après linéarisation de la caractéristique. Il quantifie les écarts entre valeur attendue et valeur mesurée.

Travail en groupe

H9 à H12

Asservissement -
Simulation :

Étude de la stabilité et
de la précision de
l'asservissement



Activité :

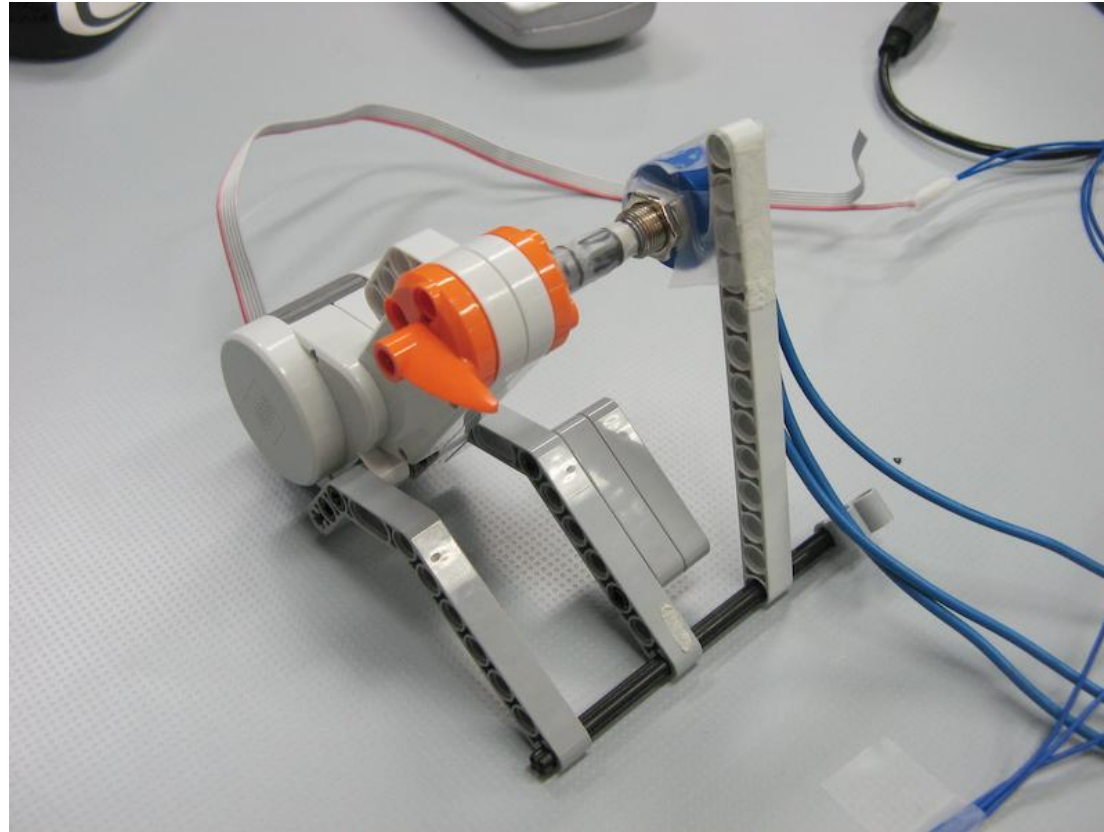
À l'aide d'un modèle de simulation, les élèves prennent conscience des problèmes de stabilité et de précision des systèmes asservis du second ordre. Ils ajustent, de manière empirique, les paramètres du correcteur PID afin d'optimiser les performances du système.

Travail en groupe

H9 à H12

Asservissement -
Expérimentation :

Réalisation de
l'asservissement.



Activité :

Les élèves assemblent le motoréducteur et le potentiomètre de recopie, et les connectent à l'ensemble Arduino-Shield.

Travail en groupe

H9 à H12

Asservissement -
Expérimentation :

Réglage de
l'asservissement.

Controller parameters

Source: [Compensator formula](#)

Proportional (P):

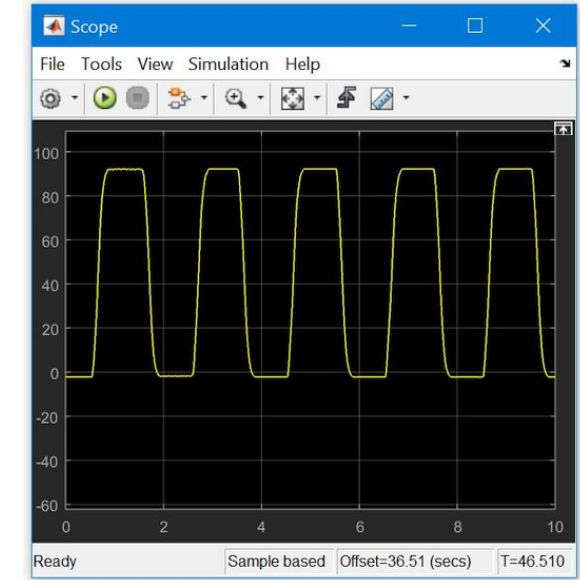
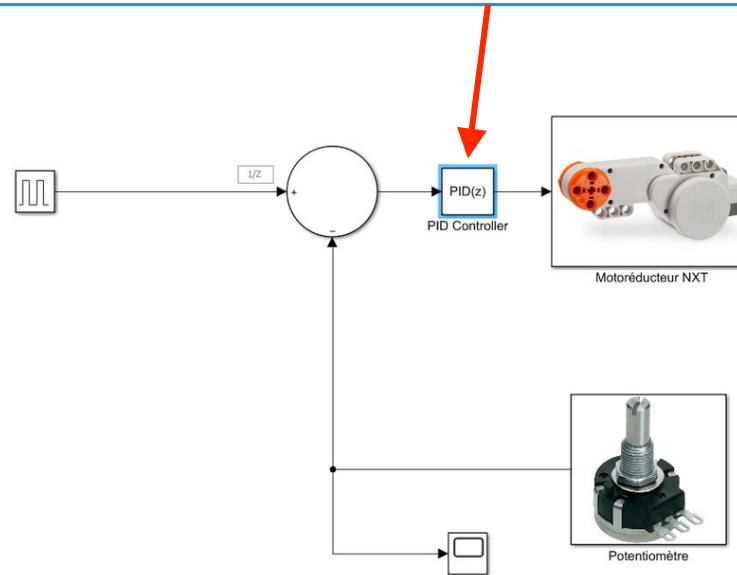
Integral (I):

Derivative (D):

Use filtered derivative

Filter coefficient (N):

Select Tuning Method:

$$P + I \cdot T_s \frac{1}{z-1} + D \frac{N}{1 + N \cdot T_s \frac{1}{z-1}}$$


Activité :

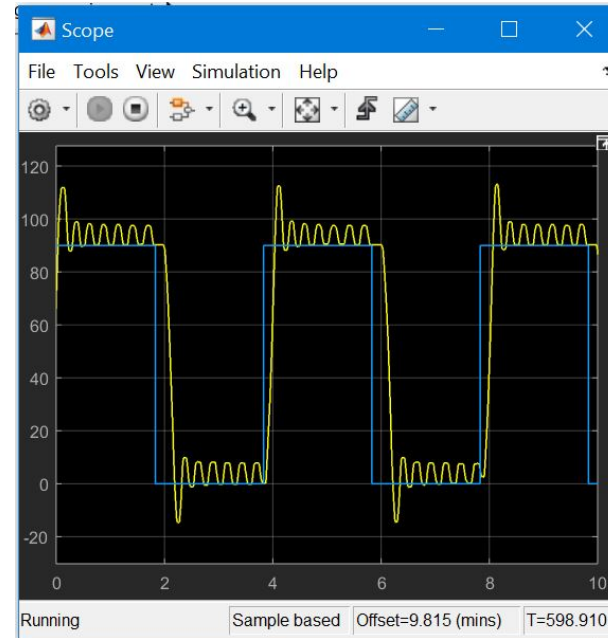
Les élèves implantent, dans la carte Arduino, un modèle d'exécution leur permettant de régler expérimentalement le correcteur PID.

Travail en groupe

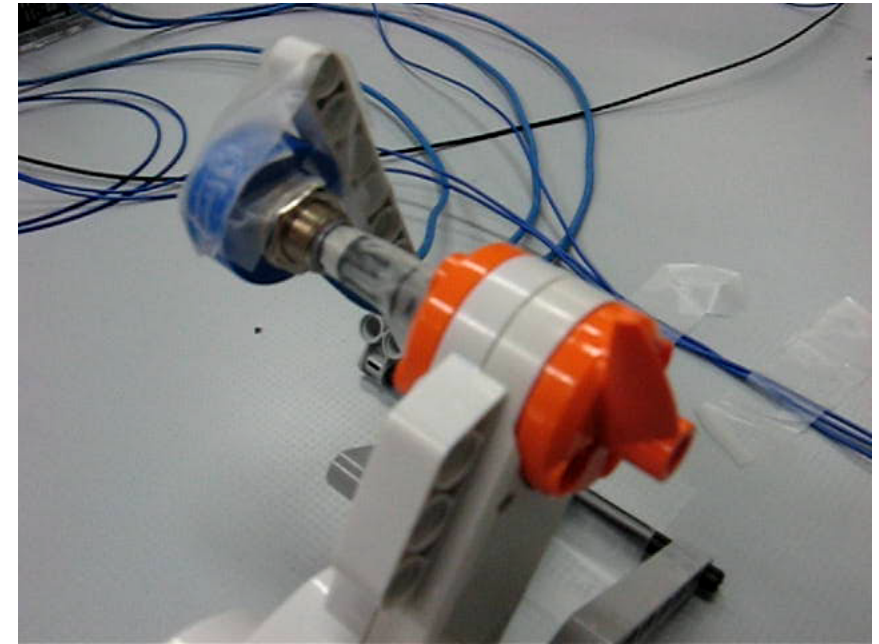
H9 à H12

Asservissement -
Expérimentation :

Réglage de
l'asservissement :



Source:	internal
Proportional (P):	1
Integral (I):	0
Derivative (D):	0.02
	<input checked="" type="checkbox"/> Use filtered derivative
Filter coefficient (N):	100



Activité :

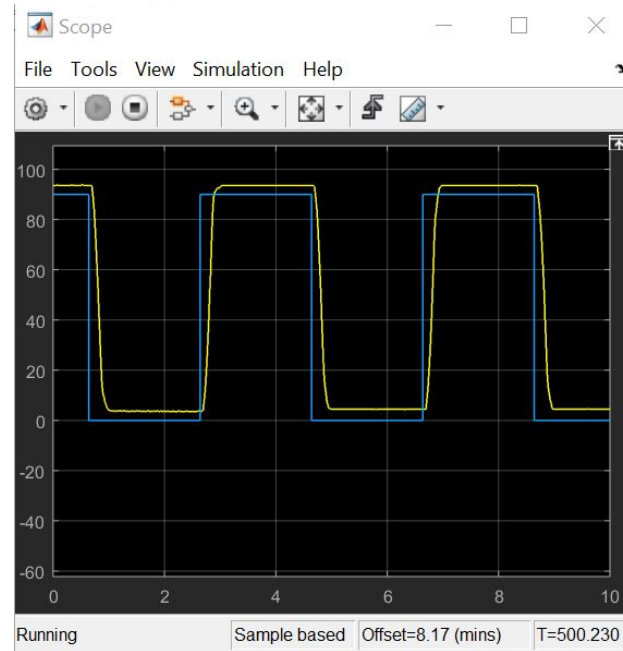
Les élèves constatent que le système est instable. Ils ajustent les paramètres du correcteur.

Travail en groupe

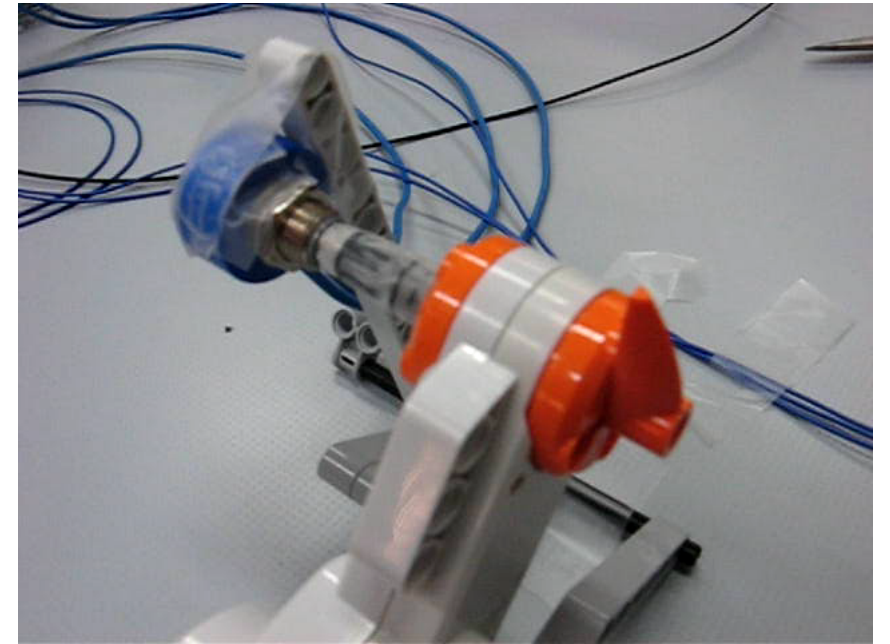
H9 à H12

Asservissement -
Expérimentation :

Réglage de
l'asservissement :



Source:	internal
Proportional (P):	1
Integral (I):	0
Derivative (D):	0.05



Activité :

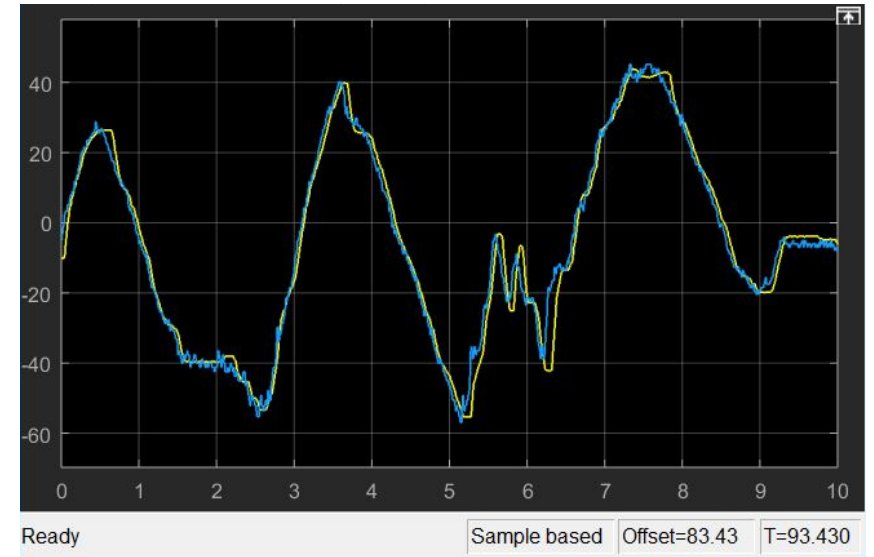
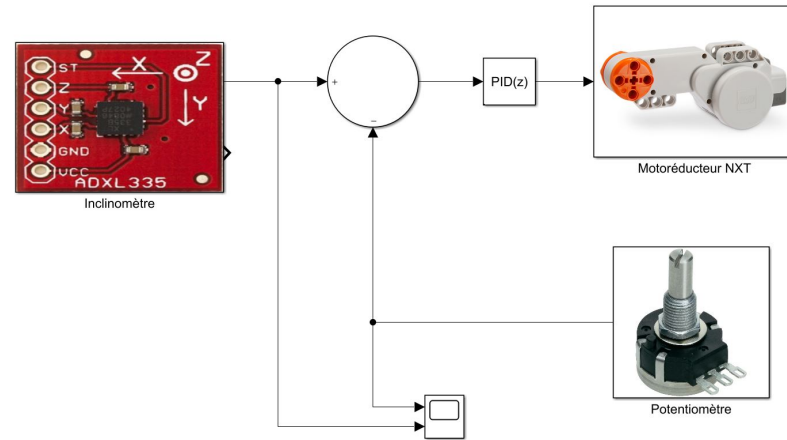
Une fois le système stable, les élèves peuvent mesurer l'erreur de positionnement.

Travail en groupe

H9 à H12

Asservissement -
Expérimentation :

Système complet.



Activité :

Une fois l'asservissement de position correctement réglé, les élèves implantent un nouveau modèle d'exécution dans lequel l'inclinomètre devient la consigne de l'asservissement. Ils peuvent alors faire fonctionner l'ensemble et caractériser les écarts entre système réel et système souhaité.

Travail en groupe

H9 à H12

Asservissement -
Expérimentation :

Systeme complet.

