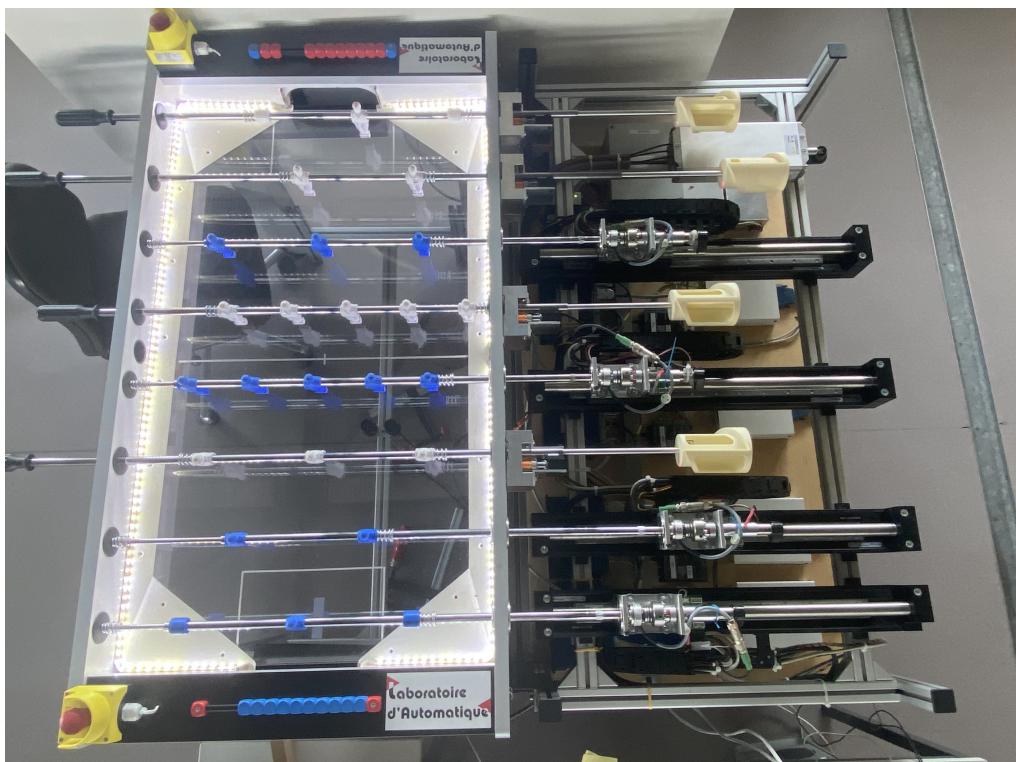




## Projet de Semestre - Baby-foot Printemps 2023



## Identification et Compréhension Approfondie des Systèmes Mécaniques

Louis GAVINET

Supervisé par Professeur Ch. SALZMANN

# Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
1.1	Remarques générales . . . . .	3
1.2	Réalisation . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Les servomoteurs</b>	<b>4</b>
2.1	Condition de saturation . . . . .	4
2.2	Facteurs de gains . . . . .	6
2.3	Angle de frappe . . . . .	9
2.4	Mise en commun des résultats . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Les moteurs linéaires</b>	<b>12</b>
3.1	Capacité de Déplacement . . . . .	12
3.2	Fréquence . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>16</b>
4.1	Conclusion Générale . . . . .	16
4.2	Pistes à développer . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Annexes</b>	<b>17</b>

# 1 Introduction

## 1.1 Remarques générales

Le système étudié au cours de ce projet est un Baby-foot automatisé, une équipe de joueurs est contrôlée par un humain tandis que son adversaire est un ordinateur. Les quatre différentes barres de joueurs sont actionnées chacune par un moteur linéaire et un servomoteur permettant respectivement des mouvements en translation et rotation. La partie vision du baby-foot est primordiale afin de rendre le système réactif et produisant les réponses adéquates à tout type de situation.

L'objectif de ce projet de semestre est d'améliorer la compréhension du système général tant dans ses temps de réactions que dans ses limites. L'accent principal est porté sur les moteurs, car nous ne connaissons pas leurs caractéristiques exactes. Jusqu'à présent, nous donnons des commandes qui semblent acceptables aux moteurs sans savoir réellement si ceux-ci peuvent exécuter la commande.

Dans ce projet, nous allons donc identifier les propriétés des moteurs linéaires et servomoteurs pour améliorer la façon dont nous les commandons, améliorer la pertinence des commandes que nous leurs envoyons, améliorer leurs algorithmes de contrôle. Ces résultats permettront aux futurs étudiants réalisant des projets sur le baby-foot de créer des stratégies en utilisant les moteurs aux maximums de leurs capacités.

## 1.2 Réalisation

Dans un premier temps il a fallu assimiler la structure générale du code, comprendre comment sont mis en oeuvre les différentes stratégies, connaître les obligations d'attribution et libération des moteurs... Tout ceci permet ensuite de gagner en rapidité et efficacité dans la création de nouvelles fonctions du baby-foot.

Dans un second temps il a fallu écrire le code nécessaire à l'identification des moteurs et tester qu'il fonctionne correctement.

La dernière partie consiste à effectuer les différentes mesures permettant de caractériser de la façon la plus complète possible les deux types de moteurs. De plus, les moteurs de même type (linéaires ou servomoteurs) ont des propriétés légèrement différentes en fonction de la barre de joueurs à laquelle ils sont associés.

Au cours de nos échanges avec le Professeur Christian SALZMANN, nous avons pu approfondir l'identification du système. Ses conseils, les problèmes qu'il a identifié et les questions qu'il apportait m'ont permis de compléter fortement mon étude. Pour cela je tiens à exprimer mes sincères remerciements à l'égard du Professeur Christian SALZMANN qui m'a été d'une grande aide tout au long de ce projet.

## 2 Les servomoteurs

Nous allons dans un premier temps décrire le mouvement de rotation des barres de joueurs produit par les servomoteurs. La rotation est régulée par un contrôleur PI, préexistant car absolument nécessaire dans l'utilisation du baby-foot. Nous pouvons agir sur différents éléments du contrôleur pour changer l'attitude du baby-foot. Les facteurs que nous allons chercher à optimiser sont la condition de saturation, MAX ou MIN ci-dessous, ainsi que les gains proportionnel K<sub>p</sub> et intégral K<sub>i</sub>.

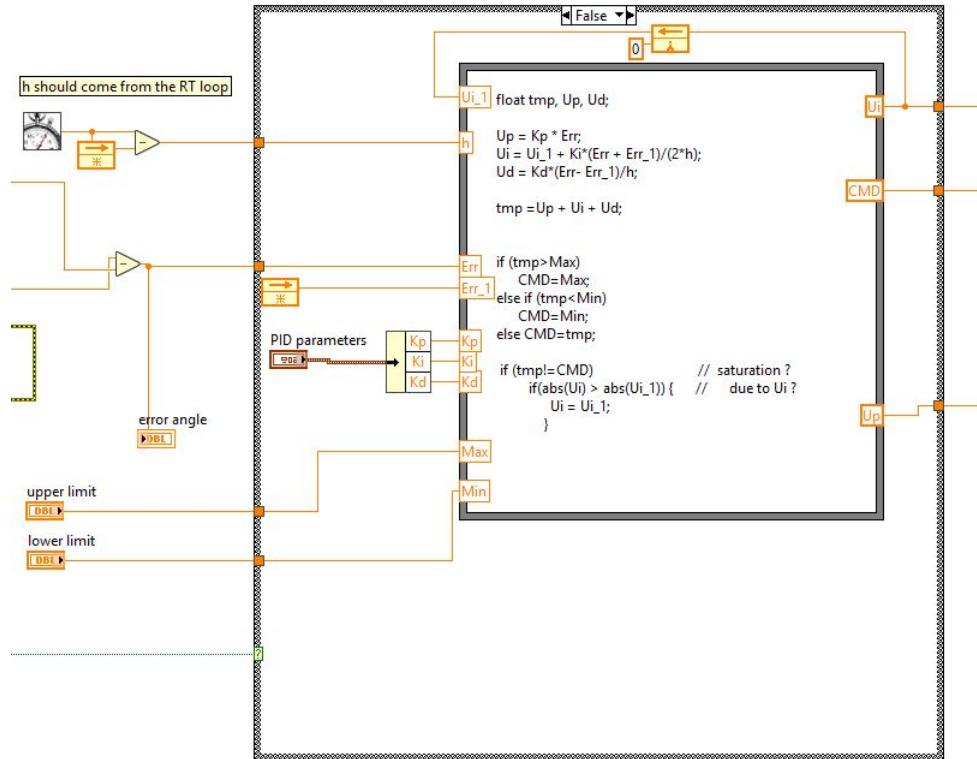


Figure 1: Code LabVIEW du contrôleur PI

### 2.1 Condition de saturation

La condition de saturation dans un contrôleur est utilisée pour s'assurer que la commande envoyée au moteur reste dans des limites acceptables et ne dépasse pas les capacités de l'actionneur. Si la valeur de sortie du contrôleur excède la condition de saturation maximale ou minimale, alors on limite la commande à cette condition. Pour limiter les comportements inappropriés du baby-foot, la limite de saturation était fixée à 3 dans un premier temps.

Pour effectuer les tests de rotation, il a fallu effectué la même rotation de la barre de joueurs avec des facteurs de gains identiques tout en variant la condition de saturation. Il suffit ensuite de mesurer le temps mis par le moteur pour effectuer la rotation demandée. L'angle choisi pour réaliser ces tests est 150°, il semble pertinent car c'est un angle similaire à l'angle pour tirer dans la balle.

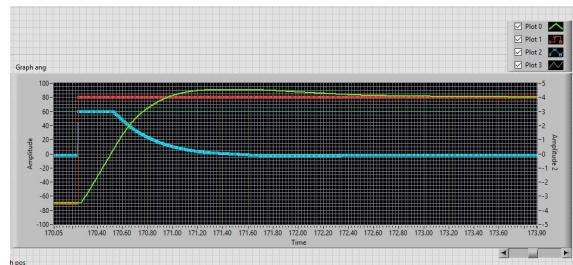
La condition de saturation qui sera retenue optimisera le plus le temps de montée par rapport à l'augmentation de la valeur de la condition. Le dépassement sera un facteur pénalisant de façon proportionnelle à sa valeur.

Les résultats obtenus sont détaillés dans le tableau ci-dessous. Nous faisons varier la condition de saturation entre 3 et 10 pour étudier le temps de montée et le dépassement. Le temps de

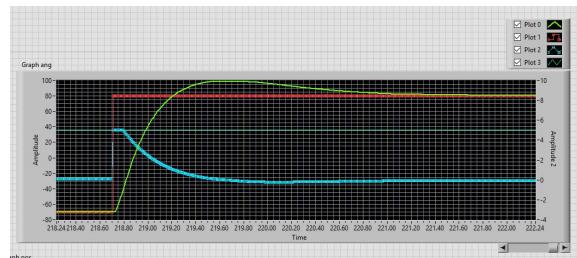
montée est défini comme le temps mis par un moteur pour atteindre la valeur finale la première fois, ce n'est pas le temps que met le moteur à se stabiliser à cette valeur.

Saturation	Temps de Montée (ms)	Temps de Stabilisation (ms)	Dépassemement (%)
3	150	600	13.7
5	100	538	22.5
6	94	520	28.7
7	84	498	32.5
9	84	574	32.5
10	84	570	32.5

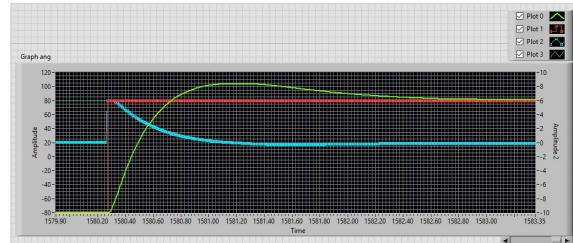
Les courbes ci-dessous sont celles qui ont permis de calculer les valeurs du tableau. En rouge nous avons la commande demandée manuellement, en bleu la commande envoyée par le contrôleur au moteur, et en vert la position du moteur en temps réel. A titre informatif, les unités de l'axe des abscisses ne sont pas représentatifs du temps exact, 0.01 unités sur l'axe correspondent à la période de d'échantillonnage de 2ms.



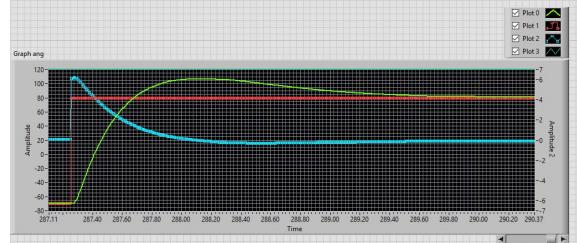
(a) Réaction des moteurs lorsque Saturation = 3



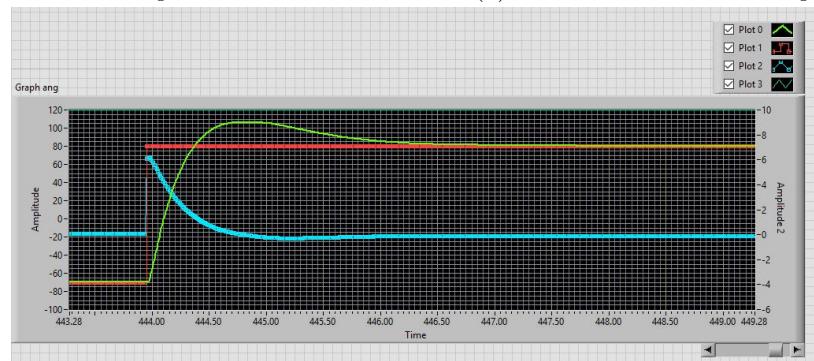
(b) Réaction des moteurs lorsque Saturation = 5



(c) Réaction des moteurs lorsque Saturation = 6



(d) Réaction des moteurs lorsque Saturation = 7



(e) Réaction des moteurs lorsque Saturation = 10

Je préconise donc de choisir 6 comme saturation du système. Cette valeur est un bon compromis entre le dépassement qui rend le système moins précis et les temps de montée et stabilisation. La différence des temps de montée lorsque la saturation est supérieure ou égale à 6 est minime ou nulle, alors qu'elle est plus importante quand elle est inférieure à 6. Le temps de stabilisation est le meilleur pour une saturation égale à 6 ou 7 mais ne se distingue pas particulièrement des autres temps obtenus avec le reste des valeurs de saturations. Quand au dépassement, il est très élevé, même avec une saturation faible, il vaut mieux limiter au maximum la valeur de saturation.

## 2.2 Facteurs de gains

Les facteurs de gain sont certainement les paramètres les plus importants du contrôleur mais également les plus complexes à déterminer.

Le gain proportionnel  $K_p$  est responsable de la réponse instantanée du contrôleur en fonction de l'erreur du système. Plus sa valeur est élevée, plus la réponse du contrôleur est rapide et influente, mais cela peut entraîner un dépassement, de l'instabilité et des oscillations. Initialement on avait:

$$K_p = 0,04 \quad (1)$$

Le gain intégral  $K_i$  est responsable de la correction de la réponse du contrôleur en fonction de l'accumulation d'erreur dans le temps. Initialement on avait:

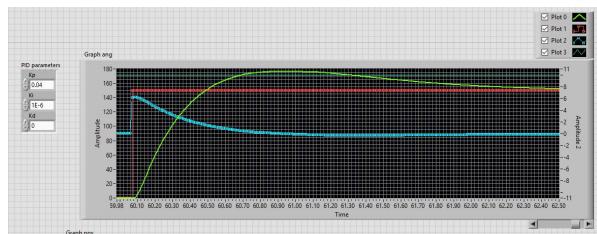
$$K_i = 1e - 6 \quad (2)$$

Définir des critères pour déterminer quels facteurs sont optimum est assez dur au vu du nombre de paramètres à prendre en compte. Par rapport à la commande envoyée aux moteurs, il faut faire attention à ne pas dépasser la limite de rotation maximum des moteurs, limiter au maximum les oscillations et limiter la saturation. Par rapport à la position du moteur, il faut minimiser le temps d'accès à la position demandée et minimiser le dépassement de la valeur finale.

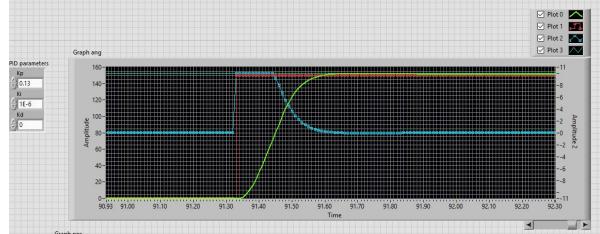
En procédant de la même façon que pour trouver la condition de saturation optimale, nous fixons ce dernier paramètre et faisons varier les gains  $K_p$  et  $K_i$  séparément et simultanément. De même, nous effectuons une rotation de  $150^\circ$  avant de mesurer le temps pour atteindre la valeur demandée, le dépassement et le nombre d'oscillation.

Les courbes affichées ci-dessous ont été obtenues en utilisant le moteur du gardien, mais tous les moteurs ont été testés pour obtenir les résultats finaux. Les couleurs correspondent aux mêmes courbes que précédemment.

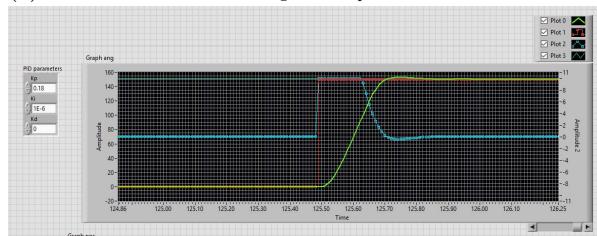
Variation du gain proportionnel  $K_p$ :



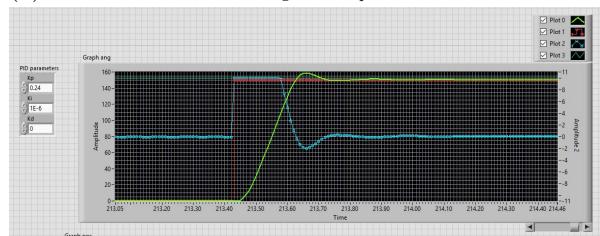
(a) Réaction des moteurs pour  $K_p = 0.04$  et  $K_i = 1e - 6$



(b) Réaction des moteurs pour  $K_p = 0.13$  et  $K_i = 1e - 6$

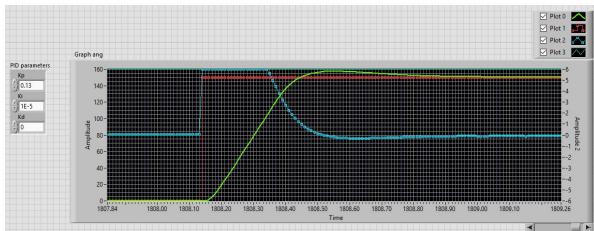


(c) Réaction des moteurs pour  $K_p = 0.18$  et  $K_i = 1e - 6$

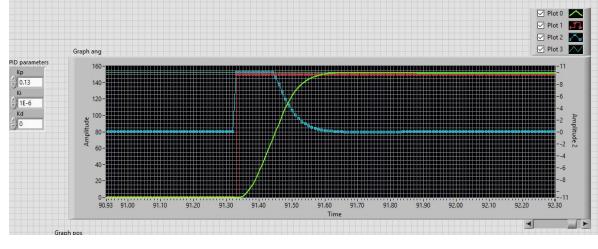


(d) Réaction des moteurs pour  $K_p = 0.24$  et  $K_i = 1e - 6$

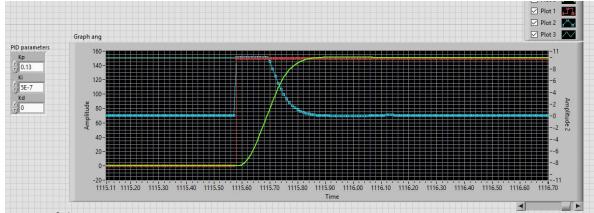
Variation du gain intégral  $K_i$ :



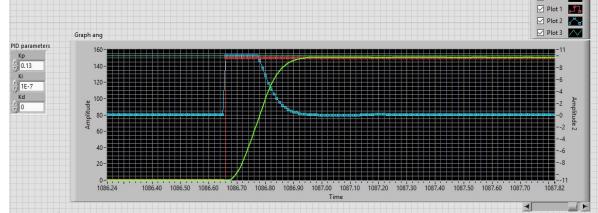
(a) Réaction des moteurs pour  $K_p = 0.13$  et  $K_i = 1e-5$



(b) Réaction des moteurs pour  $K_p = 0.13$  et  $K_i = 1e-6$

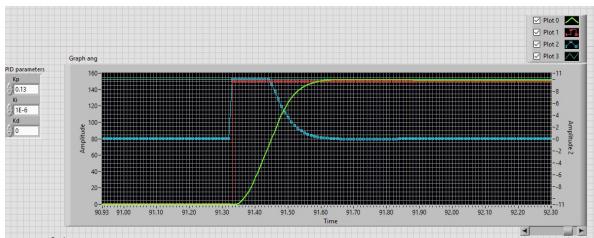


(c) Réaction des moteurs pour  $K_p = 0.13$  et  $K_i = 5e-7$

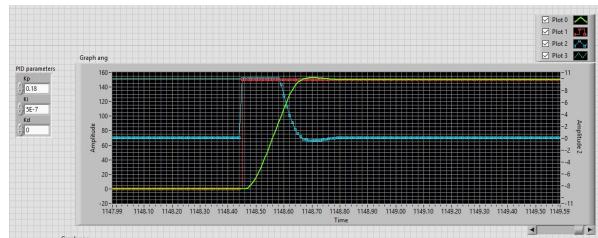


(d) Réaction des moteurs pour  $K_p = 0.13$  et  $K_i = 1e-7$

Variation simultanée des deux gains:



(a) Réaction des moteurs pour  $K_p = 0.13$  et  $K_i = 1e-6$



(b) Réaction des moteurs pour  $K_p = 0.18$  et  $K_i = 5e-7$

On peut remarquer dans un premier temps que l'impact du gain proportionnel est plus important que celui du gain intégral. Lorsqu'on augmente la valeur de  $K_p$ , la réponse instantanée du contrôleur est plus forte, donc la réponse du moteur est plus rapide et le temps de montée réduit fortement. Le moteur reçoit plus longtemps la valeur de saturation comme commande car le gain est multiplié avec l'erreur, ce résultat augmente donc avec le gain et a pour conséquence l'amélioration du temps de réaction du moteur.

On repère également des problèmes lorsque le gain proportionnel devient trop grand. En effet, les barres de joueurs se mettent à vibrer lorsqu'on atteint 0.2 comme valeur de gain proportionnel pour le moteur du gardien. Le dépassement réduit puis augmente, cela est sûrement du à l'amélioration de la réaction du contrôleur qui devient trop forte lorsqu'on augmente plus le gain.

Les variations du gain intégral montrent bien son impact sur la stabilisation du moteur vers la valeur finale. Mais dans la configuration actuelle du système sa valeur initiale permet de créer les effets recherchés en incluant un intégrateur dans un contrôleur, il n'y a donc pas la nécessité de modifier ce gain. Son effet est satisfaisant tel quel pour les quatre servomoteurs.

Les mesures pour les moteurs de chaque barre de joueurs sont répertoriées dans les tableaux ci-dessous :

Gardien :

$K_p$	$K_i$	Temps de montée (ms)	Nombre d'oscillation	Vibration	Dépassement (%)
0.04	1e-6	88	0	Non	16.6
0.13	1e-6	40	0	Non	1.3
0.13	10e-6	62	0	Non	5
0.13	0.5e-6	54	0	Non	1.3
0.13	0.1e-6	56	0	Non	1.3
0.18	1e-6	44	1	Non	3.3
0.24	1e-6	40	2	Oui	6

Défenseur :

$K_p$	$K_i$	Temps de montée (ms)	Nombre d'oscillation	Vibration	Dépassement (%)
0.04	1e-6	60	0	Non	12.6
0.09	1e-6	48	0	Non	1.3
0.12	1e-6	42	1	Non	3.3
0.17	1e-6	4	3	Oui	7.3

Milieu :

$K_p$	$K_i$	Temps de montée (ms)	Nombre d'oscillation	Vibration	Dépassement (%)
0.04	1e-6	72	0	Non	14.3
0.09	1e-6	60	0	Non	2
0.12	1e-6	52	2	Oui	2.6
0.16	1e-6	48	4	Oui	8.3

Attaquant :

$K_p$	$K_i$	Temps de montée (ms)	Nombre d'oscillation	Vibration	Dépassement (%)
0.04	1e-6	58	0	Non	12.6
0.08	1e-6	50	1	Non	2
0.11	1e-6	42	2	Oui	3.3
0.13	1e-6	40	3	Oui	6

Les résultats et des observations personnelles amènent à la conclusion de suggérer deux modes de tir différents pour des actions spécifiques:

- Mode de tir puissant. Il permet de tirer fort vers le but adverse, pour finir le point de façon quasi-instantanée. Le mieux est de ne pas avoir d'oscillation ou très faible de la commande envoyée aux moteurs (la courbe bleue) pour limiter les risques d'imprécisions. De même, il ne faut pas que le tir provoque des vibrations dans le baby-foot pour ne pas risquer d'abîmer les moteurs et la structure. Ces deux facteurs peuvent limiter la diminution du temps de montée vers la valeur finale. Il faut donc faire un compromis entre les oscillations de la commande et le temps de montée, les vibrations débutent après plusieurs oscillations. Dans cet objectif je suggère de choisir les valeurs de  $K_p$  suivantes:

Joueur	Gain Proportionnel $K_p$	Gain Intégral $K_i$
Gardien	0.13	1e-6
Défenseur	0.12	1e-6
Milieu	0.09	1e-6
Attaquant	0.08	1e-6

- Mode de passe. Utilisé pour produire moins de puissance au moment de l'impact avec la balle. La situation appropriée serait celle d'interceptions de balles rapides, ne pas tirer de façon trop puissante permet de garder la balle dans l'aire de jeu et pas la faire rebondir en dehors. Pour se faire, je suggère de choisir un gain proportionnel inférieur à celui du tir puissant, relativement proche du gain initial.

### 2.3 Angle de frappe

La rotation des barres de joueurs doit être précise dans le temps car le point de frappe de la balle est important. En effet la position angulaire dans laquelle est le joueur au moment de l'impact change l'énergie transmise à la balle et donc sa vitesse.

Dans cette partie nous étudierons les différences de vitesse de la balle suite à une frappe sur une balle statique. La position initiale de la balle change de quelques centimètres à chaque fois afin de modifier l'angle des joueurs au point d'impact. Le but est de déterminer la plage angulaire sur laquelle le joueur doit frapper la balle pour que le tir soit le plus puissant possible.

Nous allons mesurer le temps que met la balle à parcourir le terrain. Connaissant la longueur de la table de baby-foot et la position du gardien nous connaissons donc la distance parcourue par la balle et pouvons en déduire la vitesse moyenne de traversée. La distance totale à parcourir est :

$$dist = \frac{longueur}{2} + pos\_gardien + \delta = \frac{1207}{2} + 525 + \delta = 1128.5mm + \delta \quad (3)$$

avec  $\delta$  le changement de position initiale de la balle à chaque tir. La vitesse moyenne est donc obtenue avec l'équation suivante :

$$Vitesse = \frac{dist}{temps\ de\ traversée} = \frac{1128.5 + \delta}{temps\ de\ traversée} \quad (4)$$

Les différentes positions de frappe sont explicitées ci-dessous:



(a) Angle de tir 30°



(b) Angle de tir 20°



(c) Angle de tir 0°



(d) Angle de tir -20°



(e) Angle de tir -40°



(f) Angle de tir -50°

Les résultats de chaque frappe sont regroupés dans le tableau ci-dessous:

Angle de frappe	Temps de traversée (s)	Vitesse Moyenne (mm/s)
30	0.33	3415.2
20	0.32	3523.4
0	0.2	5642.5
-20	0.23	4910.9
-40	0.21	5383.3
-50	0.26	4350

On peut donc remarquer que la vitesse de la balle est la plus élevée pour un angle de frappe entre  $-40^\circ$  et  $0^\circ$ . Le temps de traversée de la balle pour un angle de  $-50^\circ$  est bon, mais il ne représente pas bien la situation. En effet, à cette position, il est assez fréquent que la balle se bloque sous le joueur et ne parte pas bien. Le temps présent ci dessus est le meilleur obtenu, ne prenant pas en compte des échecs.

## 2.4 Mise en commun des résultats

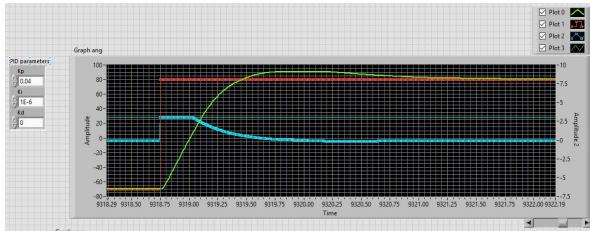
Maintenant que nous avons trouvé les valeurs optimales pour les différents paramètres nous pouvons les tester sur une frappe simple avec le gardien. Dans un premier temps nous garderons les valeurs initiales des paramètres en plaçant la balle pour obtenir un angle de frappe nul, le moteur fera la même rotation que lors des tests à savoir de  $-70^\circ$  à  $80^\circ$ . Puis dans un second temps nous modifierons les paramètres vers les valeurs suggérées précédemment pour effectuer la frappe puissante avec l'angle de frappe à  $0^\circ$ .

Pour rappel voici les différentes valeurs des paramètres utilisés:

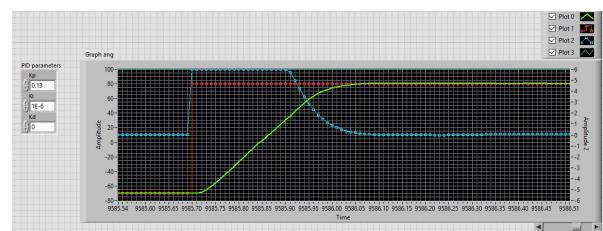
	Ancien Paramètre	Nouveau Paramètre
Saturation	3	6
$K_p$	0.04	0.13
$K_i$	1e-6	1e-6

L'objectif de ces deux expériences est de vérifier que les différences de temps de traversée de la balle et de vitesse sont notables et suffisantes pour justifier ces changements.

Nous obtenons les deux graphes suivants dont les valeurs caractéristiques sont détaillées dans le tableau ci-dessous:



(a) Réaction des moteurs avec les paramètres originaux



(b) Réaction des moteurs avec les nouveaux paramètres

	Anciens Paramètres	Nouveaux Paramètres
Temps de montée (ms)	140	70
Temps de stabilisation (ms)	600	130
Dépassement (%)	12.5	2.5
Temps de traversée (s)	0.64	0.29
Vitesse (mm/s)	1763.3	3891.4

On peut observer que le tir avec les nouveaux paramètres est meilleur sur tous les points par rapport à celui avec les anciens paramètres. En effet le temps de montée diminue de moitié et celui de stabilisation diminue d'un facteur 6, le temps de traversée de la balle est plus faible donc il en résulte que sa vitesse est deux fois plus grande, le dépassement est 5 fois inférieur, et dans les deux cas il n'y a pas d'oscillation de la commande envoyée au moteur.

Pour un tir de puissance, la nouvelle configuration du système est donc fortement conseillée, elle surpassé fortement l'ancienne configuration dans tous les secteurs. Si elle est utilisée avec l'unique objectif de marquer un but, le tir sera très difficilement arrêtable à cause de la vitesse de la balle. Ce tir sera utile pour passer du gardien à l'avant ou pour finir le point avec les attaquants.

Pour un tir de passe, il faut mieux garder l'ancienne configuration. Ce tir est utile pour contrer et intercepter les frappes adverses, pour passer des barres de défenseurs ou milieux à une barre plus avancée car la reprise de la balle sera plus aisée si elle arrive avec moins de vitesse à la barre des attaquants.

### 3 Les moteurs linéaires

Les moteurs linéaires ne sont pas contrôlés par un PI comme les servomoteurs. Il n'a pas été codé à la main mais le système utilise un boîtier de calcul. Il s'agit du boîtier de calcul *XENUS XTL-230-18-S* produit par *copley controls*. Le logiciel *CME 2* développé par le même groupe permet de configurer le contrôleur. La fonction auto-set du logiciel a été utilisée pour définir les paramètres.

Pour ces moteurs on va chercher à connaître leurs capacités de déplacement. Comme on utilise un auxiliaire de calcul, il faut trouver à quelle fréquence nous pouvons communiquer et la limite mécanique de déplacement.

#### 3.1 Capacité de Déplacement

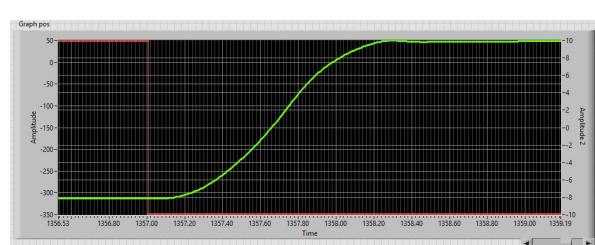
Dans cette partie nous nous pencherons sur le mouvement de translation des barres de joueurs et plus particulièrement sur sa vitesse de déplacement. L'objectif est de savoir combien de temps mettra le moteur pour amener un joueur au point de rencontre avec la trajectoire de la balle, ceci permettra d'améliorer la prédition de trajectoire et la stratégie car nous ne bougerons uniquement une barre de joueurs si elle est en capacité d'intercepter la balle.

Le mouvement de translation se produit en envoyant au moteur un voltage entre -10V et 10V pour qu'il se déplace, le voltage est proportionnelle à la distance entre chaque joueur de la barre. Si la barre est centrée en position zéro, une entrée de 10V va faire aller la barre tout à droite du baby-foot, inversement -10V la fera bouger tout à gauche. Ce voltage correspond au déplacement de l'intervalle entre deux joueurs d'une barre, c'est le plus critique. On peut considérer également le déplacement d'un bord à l'autre du baby-foot qui a une amplitude de 20V.

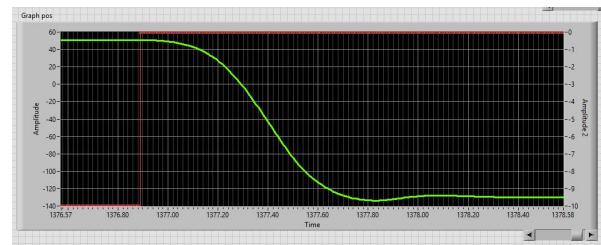
L'évolution de la position du moteur en fonction du temps et du voltage d'entrée est supposée linéaire. On peut donc associer une fonction au déplacement des barres pour déterminer le temps que mettra la barre à se déplacer à un point donné et donc savoir si un joueur de la barre peut intercepter la balle. Nous pouvons une nouvelle fois distinguer le temps de montée qui suffira à intercepter une balle du temps de stabilisation du moteur.

En bougeant chaque barre avec des amplitudes de 10V et 20V nous obtenons les résultats suivants:

Temps de montée (ms) pour l'entrée	10V	20V
Gardien	178	258
Défenseurs	160	244
Milieux	132	200
Attaquants	106	166
Temps de stabilisation (ms) pour l'entrée	10V	20V
Gardien	230	324
Défenseurs	222	290
Milieux	214	288
Attaquants	144	206



(a) Réaction des moteurs pour une entrée de 20V



(b) Réaction des moteurs pour une entrée de 10V

Les courbes présentent globalement la même dynamique, les dépassements sont relativement similaires. Les pentes de montée sont quasi identiques en valeur absolue, avec respectivement un coefficient directeur de 228,75 et 193,75, le moteur présente donc une réponse linéaire. On peut donc en conclure que l'évolution du temps de parcours en fonction voltage fourni en entrée sera affine.

Nous pouvons donc établir les fonctions suivantes, elles prennent en entrée un voltage qui correspond à une distance à parcourir sur le baby-foot, proportionnel à la distance entre deux joueurs d'une barre:

Joueurs	Temps de montée fonction du voltage	Temps de stabilisation fonction du voltage
Gardien	$8 * amplitude + 98$	$9.4 * amplitude + 136$
Défenseurs	$8.4 * amplitude + 76$	$6.8 * amplitude + 154$
Milieux	$6.8 * amplitude + 64$	$7.4 * amplitude + 140$
Attaquants	$6 * amplitude + 46$	$6.2 * amplitude + 82$

### 3.2 Fréquence

Dans cette partie nous chercherons quelle est la fréquence maximum à laquelle les moteurs peuvent recevoir des commandes et les exécuter sans atteindre la limite mécanique de l'actionneur.

Une fonction a été ajoutée dans le Vi de mesure, son objectif est de produire un mouvement sinusoïdal de la barre d'un joueur. L'amplitude du mouvement et la pseudo-fréquence sont les deux facteurs modifiables. L'amplitude correspond au voltage d'entrée qui va définir l'amplitude maximale du mouvement du moteur. La pseudo-fréquence définit la fréquence d'échantillonage de la sinusoïde et induit la fréquence finale du mouvement réalisé par le moteur de la façon suivante:

$$fréquence = \frac{pseudo - fréquence}{p\_échantillonnage * 2\pi} = \frac{pseudo - fréquence}{\frac{2}{1000} * 2\pi} \quad (5)$$

Les expériences consistent à choisir une amplitude de mouvement puis de faire varier la pseudo-fréquence pour trouver la fréquence réelle à laquelle le moteur n'arrive plus à suivre mécaniquement. Comme on peut le voir sur le graphique ci-dessous, la limite mécanique est fortement visible et marquée par une diminution de l'amplitude la courbe de suivi du mouvement du moteur (la courbe verte).

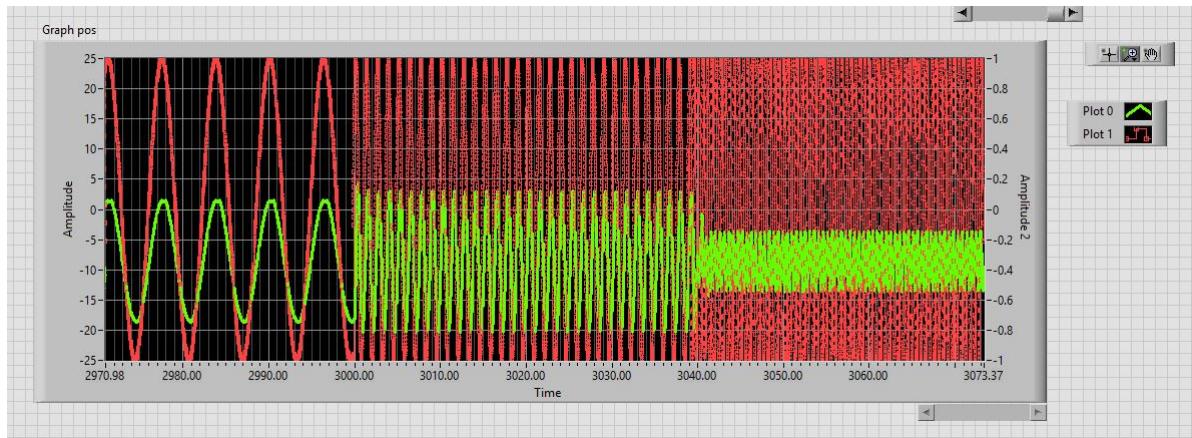


Figure 9: Graphique du mouvement sinusoïdal d'un moteur pour une amplitude de 1 et les pseudo-fréquences de 0.01, 0.05 et 0.11 (de gauche à droite)

Les expériences ont été réalisées avec des amplitudes de 4, 3, 2, 1 et 0.5, et les résultats sont contenus dans le tableau suivant:

Amplitude	Pseudo-Fréquence	Fréquence de Mouvement (Hz)	Mouvement complet
4	0.01	0.79	Oui
4	0.04	3.18	Oui
4	0.05	3.97	Non
3	0.02	1.59	Oui
3	0.04	3.18	Oui
3	0.05	3.97	Non
2	0.02	1.59	Oui
2	0.05	3.97	Oui
2	0.06	4.77	Non
2	0.09	7.16	Non
1	0.05	3.97	Oui
1	0.08	6.37	Oui
1	0.09	7.1	Non
1	0.11	8.75	Non
0.5	0.05	3.98	Oui
0.5	0.1	7.95	Oui
0.5	0.11	8.75	Non

Evolution de la fréquence max en fonction de l'amplitude

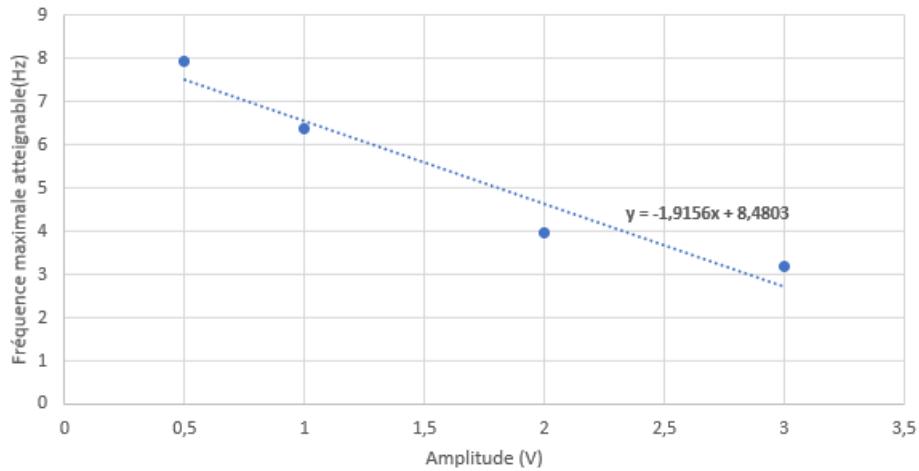


Figure 10: Graphique représentant la relation entre la fréquence et l'amplitude

On remarque que la fréquence de mouvement maximum varie en fonction de l'amplitude donnée au mouvement. En effet, plus l'amplitude est petite, plus le moteur à le temps de bouger et donc la fréquence des mouvements peut augmenter. On remarque que la fréquence maximale de mouvement suivie par le moteur est liée linéairement avec l'amplitude jusqu'à 3, en effet la fréquence diminue quand l'amplitude augmente. Pour des amplitudes supérieures à 3, la fréquence maximale se stabilise autour de 3Hz.

Pour assurer une efficacité généralisée des moteurs linéaires, il faudrait donc limiter la fréquence des mouvements demandés aux moteurs à 3Hz si l'amplitude est supérieur à 3V, sinon il faut se référer à la fonction suivante :

$$fréquence = -1.92 * amplitude + 8.48 \quad (6)$$

## 4 Conclusion

### 4.1 Conclusion Générale

Trouver de nouvelles valeurs de paramètres pour améliorer les performances des servomoteurs était un objectif de ce projet, les propositions faites ci-dessus semblent cohérentes et pertinentes. En effet, l'impact du changement des valeurs est visible immédiatement. La recherche des nouveaux paramètres a pris en compte la durabilité et sécurité du baby-foot, tous les paramètres prennent de la marge par rapport aux limites mécaniques des moteurs, et ne créent pas de vibrations du baby-foot.

De même pour les moteurs linéaires, l'identification de leurs performances et limites permet de garder une sorte de sécurité mécanique. Cela ajoute de la robustesse au système car on peut maintenant limiter les commandes à celles faisables dans toutes les conditions.

La difficulté principale rencontrée dans ce projet fut de bien considérer l'ensemble des différents paramètres à améliorer ensemble et de ne pas mélanger entre les deux types de moteurs. En effet, à de nombreuses reprises j'ai réalisé ne pas avoir testé une configuration précise, ou réalisé qu'un autre test serait plus approprié. Sinon, ajouter un paramètre parmi tous ceux déjà présents augmente le nombre d'expériences à réaliser de façon exponentielle, ce qui rend le travail particulièrement long.

### 4.2 Pistes à développer

La prochaine étape que je conseille pour développer le baby-foot est de réutiliser les nouvelles informations pour améliorer la prédiction. Nous connaissons maintenant le temps que mettra chacune des barres pour se déplacer latéralement à un point donné. Ce dernier point peut être considéré comme le point de rencontre entre un joueur de la barre et la trajectoire de la balle. La prédiction préexistante calcule le temps que mettra la balle pour arriver au point de rencontre avec la barre, et nous pouvons maintenant déterminer le temps que met la barre à y aller. Ainsi nous ne bougerons une barre de joueurs que si elle a le temps de se rendre au point de rencontre, sinon on passe à la barre plus en arrière.

Voici les différentes étapes qui permettront de réaliser cette fonction:

- Déterminer la barre de joueurs la plus proche de la balle et qui est la plus proche du but
- Calculer le point de rencontre entre la barre et la trajectoire
- Calculer le temps que met la balle à s'y rendre
- Déterminer le joueur de la barre qui est le plus proche du point de rencontre
- Calculer le temps qu'il mettra à s'y rendre (temps de montée)
- Si le joueur sera au point de rencontre dans les temps :
  - Si la barre est le gardien ou les attaquants, utiliser le tir de puissance
  - Sinon utiliser le tir de passe

Sinon recommencer avec la barre juste derrière

Les points 1 à 3 sont déjà existant dans le code de la prédiction actuelle.

## 5 Annexes

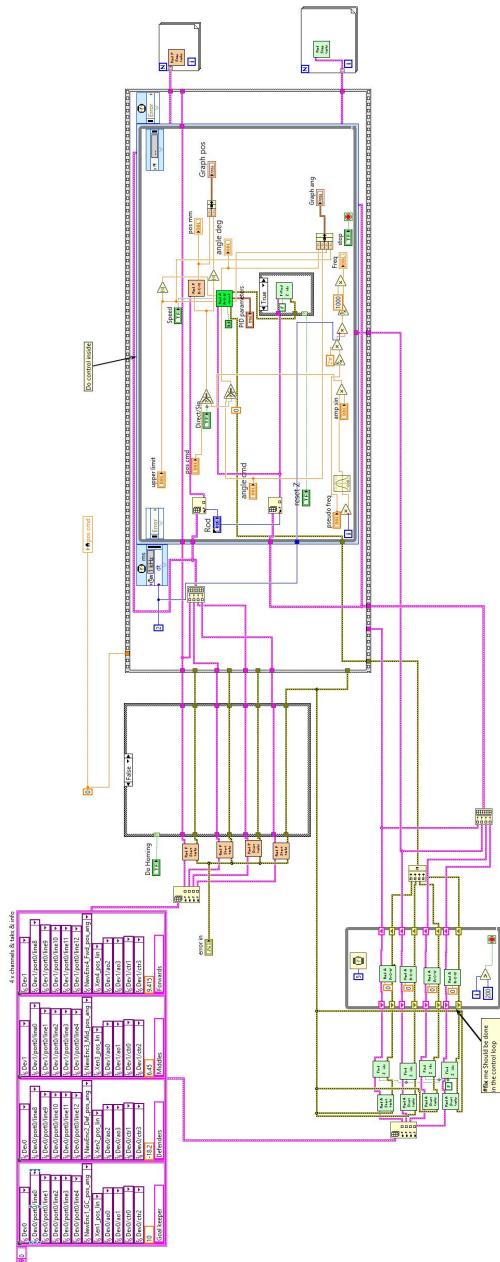


Figure 11: Fenêtre de code du Vi de mesure

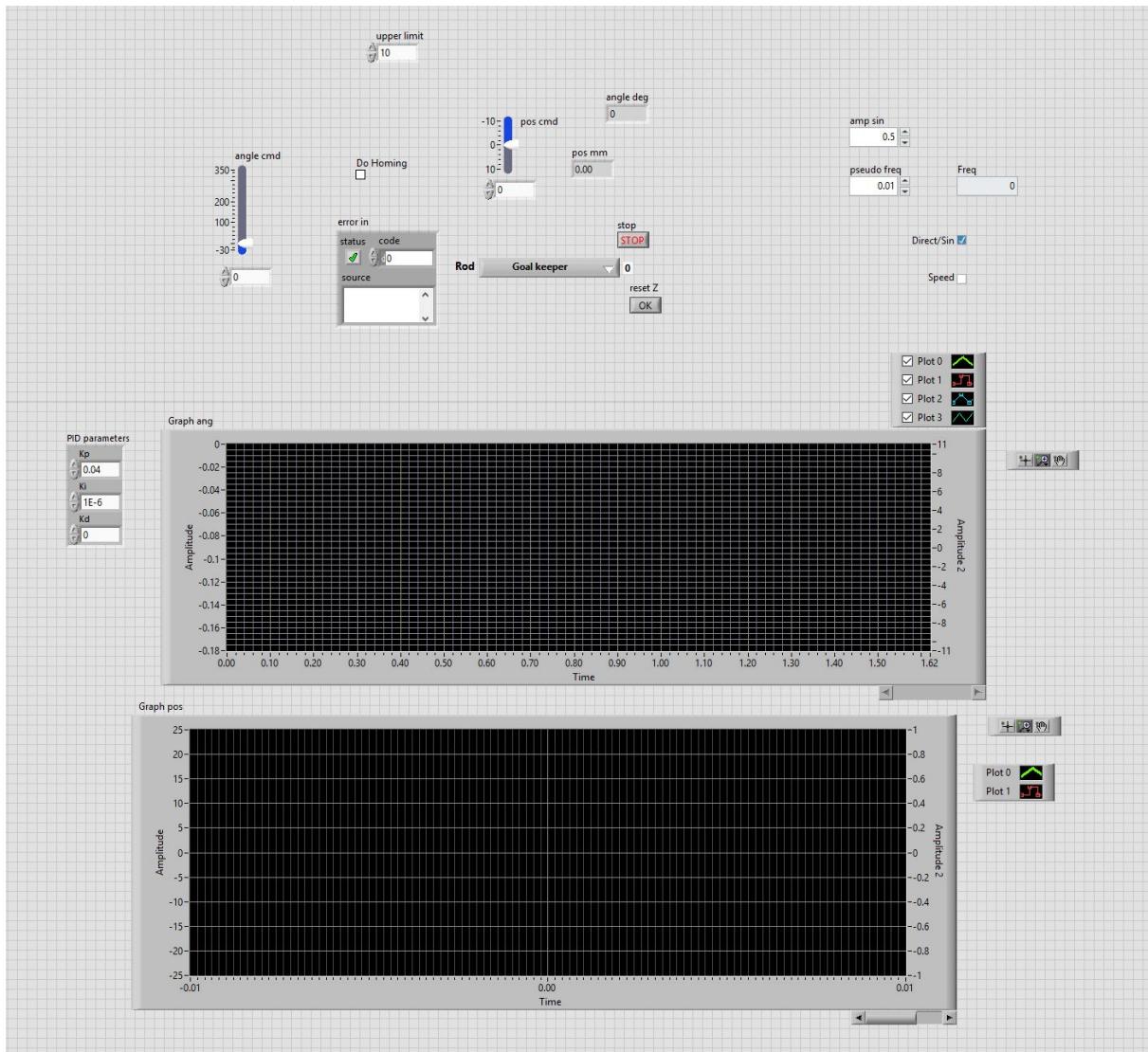


Figure 12: Front panel du Vi de mesure