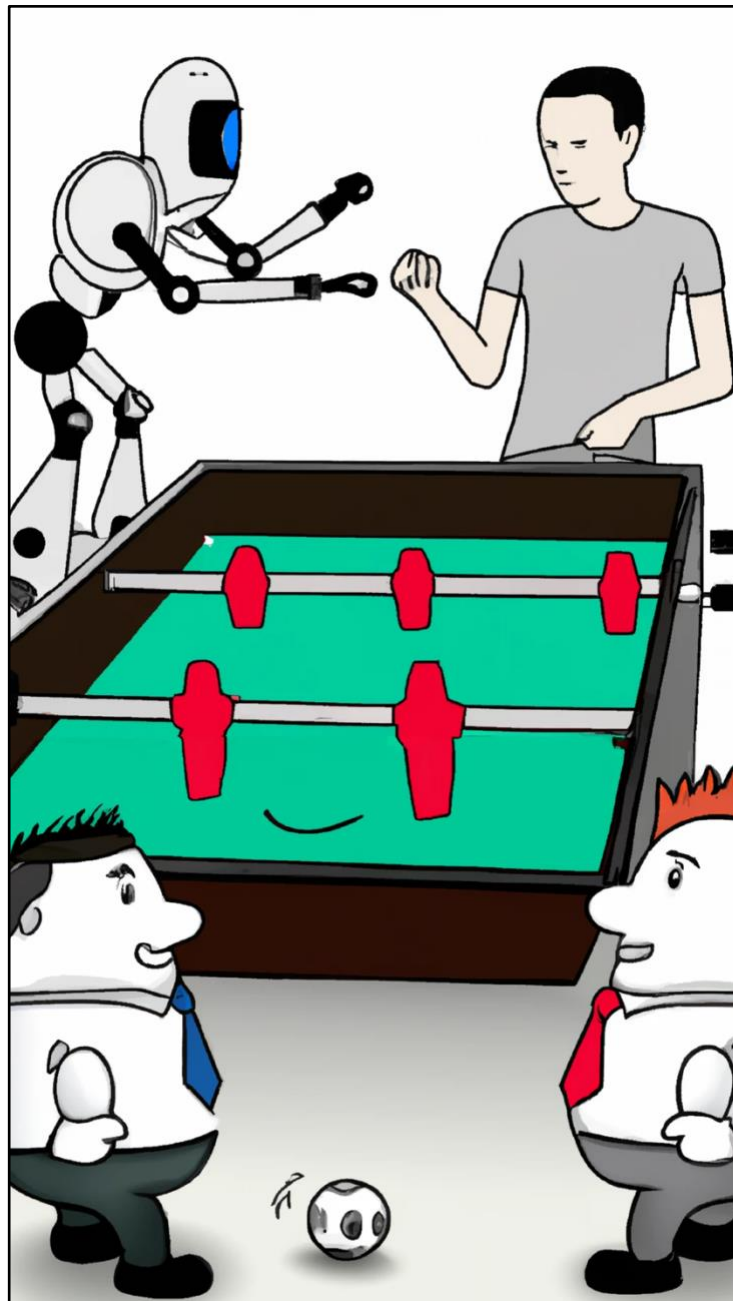


Section Génie Mécanique
Projet d'ingénierie simultanée
Printemps 2023

Laboratoire d'automatique
Christophe Salzmänn



KEUSCH Guillaume
MAURIAC Antoine

Table des matières

1. INTRODUCTION	- 1 -
1.1. CAHIER DES CHARGES	- 1 -
1.2. PREREQUIS.....	- 1 -
1.3. ÉTAT INITIAL.....	- 3 -
2. STRATEGIES DE JEU	- 4 -
2.1. FONDATIONS.....	- 4 -
<i>2.1.1. DefenseAllPlayer Filtered (Mahdi Ihdeme, 2022).....</i>	<i>- 4 -</i>
<i>2.1.2. ShootDynamic.....</i>	<i>- 4 -</i>
<i>2.1.3. Juggle (Lacroix Antoine et Montorfani Samuel, 2022).....</i>	<i>- 4 -</i>
2.2. NOUVELLES STRATEGIES DE JEU.....	- 5 -
<i>2.2.1. Multiple Tactics (Keusch Guillaume et Mauriac Antoine, 2023).....</i>	<i>- 5 -</i>
<i>2.2.2. Juggle_2023.....</i>	<i>- 8 -</i>
<i>2.2.3. Random</i>	<i>- 9 -</i>
<i>2.2.4. Replay.....</i>	<i>- 11 -</i>
<i>2.2.5. The man in the mirror.....</i>	<i>- 12 -</i>
3. ARCHITECTURE	- 14 -
4. CONCLUSION	- 16 -
5. ANNEXES.....	- 17 -

1. Introduction

1.1. Cahier des charges

Durant ce semestre, dans le cadre du projet d'ingénierie simultanée, notre objectif était d'améliorer le fonctionnement du Babyfoot, au sein du laboratoire d'automatique.

Le Babyfoot est un projet de recherche auquel près d'une cinquantaine d'étudiants ont participé depuis une dizaine d'années.

La première étape de notre travail a été de s'approprier ce projet, c'est-à-dire de prendre connaissance des travaux précédents et du fonctionnement précis du Babyfoot, ses atouts et ses défauts. Une fois cette première étape accomplie, nous nous sommes engagés dans la construction de nouvelles stratégies de jeu et dans la correction de certains dysfonctionnements du Babyfoot.

Enfin, après avoir complété le cahier des charges, nous avons laissé libre cours à notre imagination pour développer de nouvelles stratégies innovantes et peut-être utiles !

Ce rapport a pour objectif de rendre compte des différentes étapes du projet, des succès, mais aussi des difficultés rencontrées, des raisons qui ont motivé nos choix et nous ont orientés.

1.2. Prérequis

Il convient dans un premier temps de définir quelques éléments concernant la structure du Babyfoot.

Il est composé de deux équipes de onze joueurs, l'une de ses équipes est entièrement robotisée, l'autre est animée par des joueurs humains.

Ces équipes sont réparties sur quatre rangées. Chaque rangée est associée à un numéro et est constituée comme suit :

- Rod 0 : un gardien (ou GK),
- Rod 1 : deux défenseurs (ou DEF),
- Rod 2 : cinq milieux (ou MID),
- Rod 3 : Trois attaquants (ou FWD).

Chaque ligne de joueurs robotisés est commandée par deux moteurs indépendants. L'un permet un mouvement en translation et l'autre en rotation.

Les joueurs robotisés sont colorés en bleu, les adversaires sont en blanc.

Dans ce rapport, nous nous placerons du point de vue de la machine et nous désignerons comme « adversaire » l'équipe contrôlée par des joueurs humains.

Les lignes de joueurs adverses sont également équipées de deux lasers chacuns permettant d'obtenir à chaque instant l'état (c'est-à-dire la position et l'angle de rotation) de chaque joueur.

Le Babyfoot comporte deux caméras, de résolutions différentes, qui permettent le suivi de la position de la balle. Les deux caméras se trouvent sous le Babyfoot. Dans le cadre de ce projet, nous avons utilisé la caméra 500 fps.

Aussi, nous rappelons ci-dessous le système de coordonnées utilisé dans ce rapport et pour le développement des programmes LabVIEW.

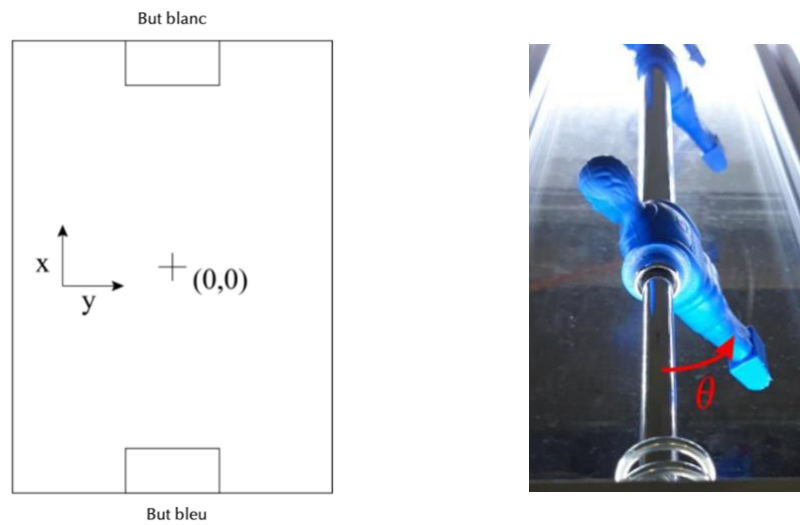


Figure 1 :Système de coordonnées du Babyfoot

Afin de faciliter la lecture de ce rapport et sa compréhension, les noms des VI sont écrits en gras.

1.3. État initial

La première étape de ce projet correspond à la prise de connaissance de l'ensemble du système : son fonctionnement, ses atouts et ses limitations.

À cet effet, nous avons dans un premier temps procédé à la lecture des rapports rédigés par les étudiants nous ayant précédés, puis à l'inspection du code LabVIEW, qui commande le robot.

Nous avons ensuite réalisé une série de tests afin de lister l'ensemble des fonctionnalités de chaque stratégie.

Ce travail nous a permis de sélectionner efficacement celles sur lesquelles nous pourrions baser notre travail. Les résultats de ces tests sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Stratégie	Joueurs horizontaux si balle derrière ?	FWD tirent ?	MID tirent ?	DEF tirent ?	GK tire ?	DEF suivent la balle ?	Remarques
Defence 1	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	DEF et GK verticaux
Defence 2	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	DEF et GK verticaux
Defence 3	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	DEF et GK verticaux
Defence All player 1	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	
Defence All player 2	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	
Defence All player 3	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	
Defence All player 3v2	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	
Mahdi_1	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	
MahdiPredTest	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	
MahdiPredTest2	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	
ShootDynamic	Oui sauf DEF	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	
Capture	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	
Capture+Shoot	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	
Capture+Juggle	Non	Non	Non	Non	Non	Non	
DynamJuggling	FWD seulement	Non	Non	Non	Non	Non	

Figure 2 : Tableau récapitulatif des capacités des stratégies existantes

Ces tests nous ont permis de relever que le Babyfoot « encaissait » de nombreux buts contre son camp, que les séquences de tirs des joueurs n'étaient pas efficaces (rotation vers l'avant puis l'arrière répétée plusieurs fois) et qu'elles pouvaient donc sûrement être optimisées.

Quant à la défense, nous avons remarqué que le GK ne tirait pas.

Enfin, nous avons noté que la visibilité limitée de la caméra est une source de dysfonctionnement.

2. Stratégies de jeu

Les principes de fonctionnement du Babyfoot sont très simples :

- Pour attaquer, les joueurs doivent taper dans la balle vers le but adverse, dès que cette dernière est à portée.
- Pour défendre, les joueurs doivent se positionner sur la trajectoire de la balle.

Afin de développer de la manière la plus efficace nos propres stratégies de jeu, nous avons choisi de réutiliser de nombreux VI existants. Les principaux VI sur lesquels nous avons basé notre travail sont présentés brièvement ci-dessous. Il s'agit de VI déjà complets et éprouvés.

2.1. Fondations

2.1.1. DefenseAllPlayer Filtered (Mahdi Ihdeme, 2022)

Cette stratégie de défense, très efficace, se base sur la vitesse de la balle afin d'adapter son fonctionnement. De plus, elle comporte un modèle de prédiction de la trajectoire de la balle. Si la vitesse de la balle est faible, alors le robot placera les joueurs en face de la balle, afin de l'intercepter.

Si la vitesse de la balle est élevée, le VI déterminera une prédiction de la trajectoire de la balle. Ainsi, les joueurs seront positionnés sur cette trajectoire. En effet, puisque la vitesse des moteurs linéaires est limitée, cela permet une défense plus efficace. La méthode de prédiction employée est une régression linéaire conditionnée.

2.1.2. ShootDynamic

Cette stratégie d'attaque permet la réalisation de tirs droits ainsi que de tirs croisés. Le choix entre ces deux méthodes est basé sur la position des joueurs adverses. En effet, si les défenseurs ne se trouvent pas sur la trajectoire de la balle jusqu'au but, alors un tir droit sera réalisé. Sinon, un tir croisé, dont l'angle sera déterminé par itération, sera effectué. Cela est permis par l'intégration du VI **AvoidOpponents**.

2.1.3. Juggle (Lacroix Antoine et Montorfani Samuel, 2022)

Cette stratégie doit permettre la réalisation de jongles avec les attaquants. L'implémentation de cette stratégie a pour but d'améliorer l'efficacité du Babyfoot en attaque.

Malheureusement, nous ne sommes pas parvenus à refaire fonctionner cette stratégie de manière stable. Les difficultés rencontrées sont probablement dues à une mauvaise calibration du Babyfoot.

2.2. Nouvelles stratégies de jeu

2.2.1. Multiple Tactics (Keusch Guillaume et Mauriac Antoine, 2023)

2.2.1.1. Fonctionnement général

Cette stratégie est la plus complète et fiable que nous sommes parvenus à construire. Elle permet au Babyfoot d'attaquer et de défendre de manière très satisfaisante. Aussi, afin de la rendre la plus complète et la plus efficace que possible, elle comporte des cas d'exceptions.

Multiple Tactics s'appuie principalement sur la combinaison des VI **DefenceAllPlayer Filtered** et une version modifiée de **ShootDynamic, ShootDynamicsAMGK-2**. Cette nouvelle version comporte une séquence de tir optimisée (absence de rotations parasites, cf. §1.3.) et permet de tirer avec le GK.

De plus, afin d'améliorer son efficacité en attaque, elle permet la réalisation d'un jonglage dynamique avec les FWD, grâce à une version modifiée du VI **juggle and shoot for**.

Afin que le jonglage soit réalisable plus facilement, nous avons utilisé le VI **Capture**, car il permet de faire un contrôle de la balle avec les FWD. Pour cela, les FWD s'inclinent pour amortir la balle et permettre l'amorçage du jonglage, ou du moins qu'elle ne retourne pas dans les pieds des DEF adverses.

En effet, les conditions initiales du jonglage jouent un rôle capital dans l'obtention de son succès et le fait que la balle se retrouve à l'arrêt, ou presque, dans cette position est un élément très favorable.

Le fonctionnement de Multiple Tactics repose sur l'alternance de sous-stratégies. Le choix d'une sous-stratégie est effectué par le VI **TacticsSelector**. Il constitue le « cerveau » de Multiple Tactics. Les différentes sous-stratégies sont :

- ShootDynamic (actif)
- Capture (inactif)
- Juggle (actif)
- Exceptions (actif)
- Pause (actif)

Cette alternance est basée sur la vitesse mesurée de la balle :

Si la balle est lente (c'est-à-dire $vit\ balle < vit\ lim\ capture$) et qu'elle se trouve dans la zone d'action des FWD, alors l'objectif est de contrôler la balle, jongler puis tirer (grâce à ShootDynamic). Si la vitesse de la balle est trop élevée (c'est-à-dire $vit\ balle > vitlim\ juggle$) alors les FWD tirent.

À noter que ces différents paramètres sont modifiables depuis le front panel.

Jusqu'alors, la transition entre le jonglage et le tir était permise uniquement grâce à l'action de l'utilisateur sur le front panel. À l'aide d'un bouton, il devait activer le mode tir.

Nous avons essayé ce semestre d'affranchir le système de toute intervention de l'utilisateur durant une partie. Nous avons alors cherché à définir une condition permettant la transition intelligente de Juggle à ShootDynamic.

- Compter le nombre de jongles réalisées, à partir du changement de signe de la vitesse de la balle selon l'axe y.
- Attendre quelques secondes.
- Tirer lorsqu'une fenêtre de tir existe, c'est-à-dire qu'aucun adversaire ne se trouve sur la trajectoire de la balle vers le but.

Nous ne sommes cependant pas parvenus à obtenir des résultats satisfaisants avec l'implémentation du jonglage dynamique.

Aussi, nous avons également rendu inactif Capture car les résultats obtenus n'étaient pas satisfaisants et que cette sous-stratégie apportait plus d'inconvénients que d'avantages dans le fonctionnement de la stratégie Multiple Tactics. En effet, le contrôle de la balle est rendu très compliqué par la dureté élevée de la balle et le faible coefficient de frottement du terrain, fait d'une plaque en Plexiglas. Aussi, la sous-stratégie Capture avait tendance en cas d'échec dans son exécution, à engendrer des « tirs mous », c'est-à-dire des tirs involontaires (non produits par **ShootDynamic**), avec une vitesse faible de la balle et donc qui étaient inefficaces.

Cependant, il est certain que si le jonglage dynamique était maîtrisé correctement, son implémentation constituerait un véritable atout pour le Babyfoot. De plus cela rendrait Capture inutile car le jonglage dynamique n'aurait pas besoin de balle statique pour fonctionner efficacement.

Nous avons constaté que le robot encaissait de nombreux buts contre son camp. Le plus souvent ils étaient marqués par les DEF, lors d'une tentative de reprise. En effet, lorsque la vitesse de la balle est trop faible, la séquence de tir s'effectue avant que la balle ne se trouve devant le joueur et par conséquent elle est renvoyée vers l'arrière.

Afin de limiter l'occurrence de cet événement, nous avons modifié, dans le VI **ShootDynamicsAMGK-2**, la séquence de tir des DEF si la balle se trouve derrière eux et que sa vitesse est suffisamment lente. Ainsi, les DEF effectuent désormais une révolution complète, vers l'avant. Cela permet de réaliser des tirs très efficaces en réduisant considérablement le risque de l'envoyer vers l'arrière, et avec l'avantage non négligeable de surprendre l'adversaire par un mouvement peu habituel !

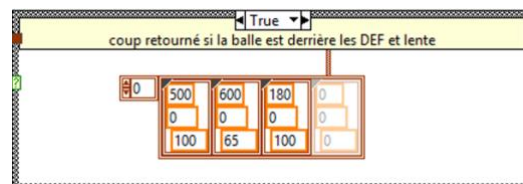


Figure 3 : Coup retourné des DEF

Enfin, pour faciliter la réalisation de tests, nous avons intégré à Multiple Tactics une sous-stratégie permettant d'interrompre les mouvements des joueurs sans pour autant interrompre le fonctionnement du VI principal. Lorsque la sous-stratégie Pause est activée, le robot continue de suivre la position de la balle.

La pause peut être activée depuis le front panel, à l'aide d'un bouton, ou encore avec la commande F5.

2.2.1.2. Cas d'exceptions

La sélection des cas d'exception est permise par le VI **TacticsSelector**. Les différents cas d'exceptions sont :

- GK perdu droite
- GK perdu gauche
- Balle dos aux FWD
- Balle face aux FWD

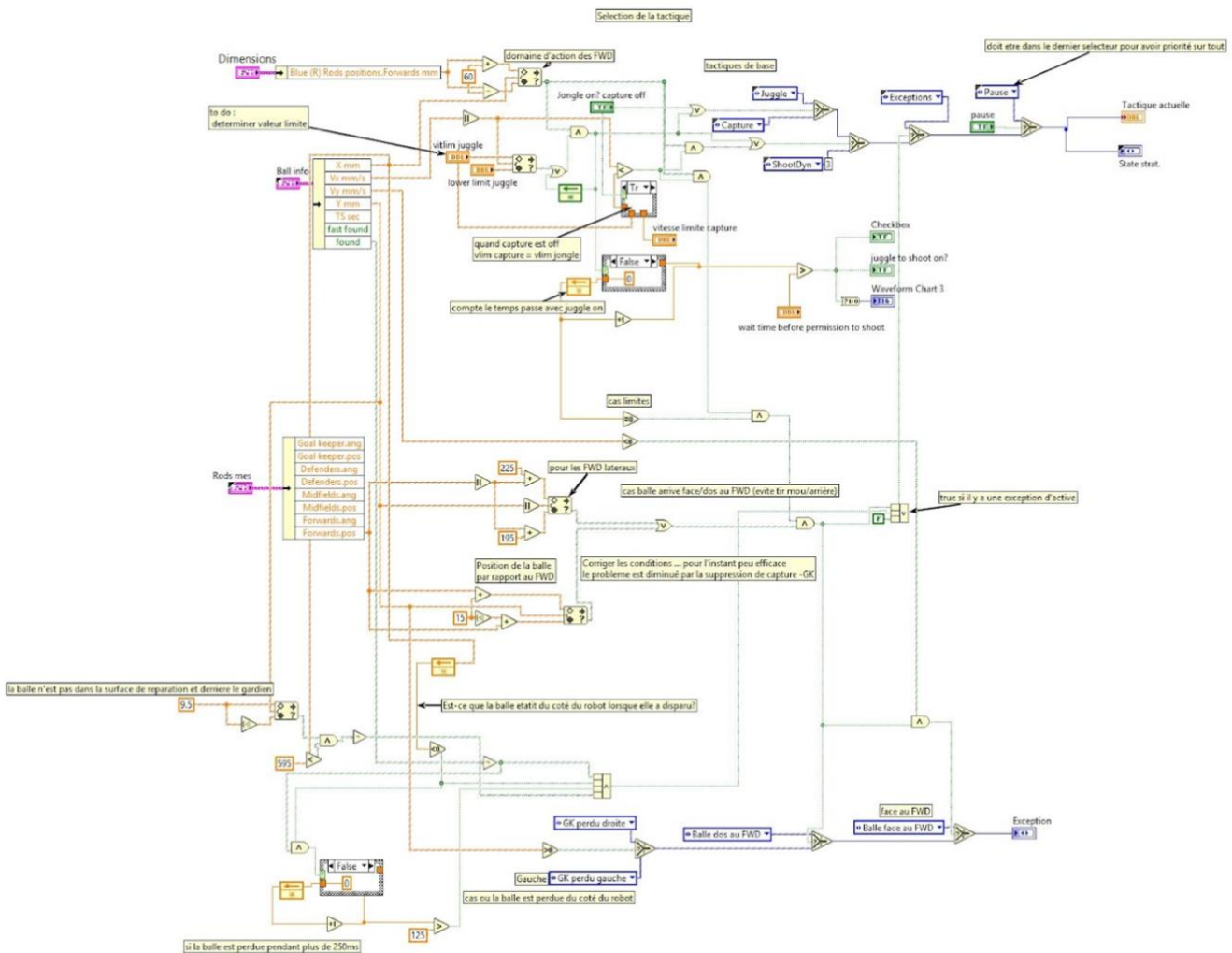


Figure 4 : VI TacticsSelector

Nous avons remarqué qu’une partie importante des buts encaissés par le robot ne sont pas dus à des tirs directs des adversaires, mais sont fortuits. En effet, la balle roule lentement sur un des plans inclinés qui se trouvent dans les coins du Babyfoot puis passe derrière le GK, sans qu’il ne puisse l’intercepter. Ce problème est dû à l’architecture particulière du Babyfoot, et on ne le retrouve pas forcément sur un babyfoot classique (terrain incurvé au lieu de plans inclinés et espace entre la barre du GK et le but).

Puisque les plans inclinés sont opaques, la balle n'est plus visible par la caméra et le GK n'est pas capable de se positionner convenablement.

Nous avons par conséquent décidé, pour limiter l'occurrence de ce type de but, de positionner le GK dans une région précise du terrain lorsque la balle est perdue par la caméra. Par exemple, si la balle est perdue dans le camp des joueurs bleus et sur la partie gauche du terrain, le GK sera décalé au maximum vers la gauche et incliné afin de réduire au maximum l'espace disponible pour laisser passer la balle.

Cependant, cela n'a pas suffi à éradiquer ce problème et nous avons donc décidé de légèrement modifier l'architecture du Babyfoot (cf. §4).

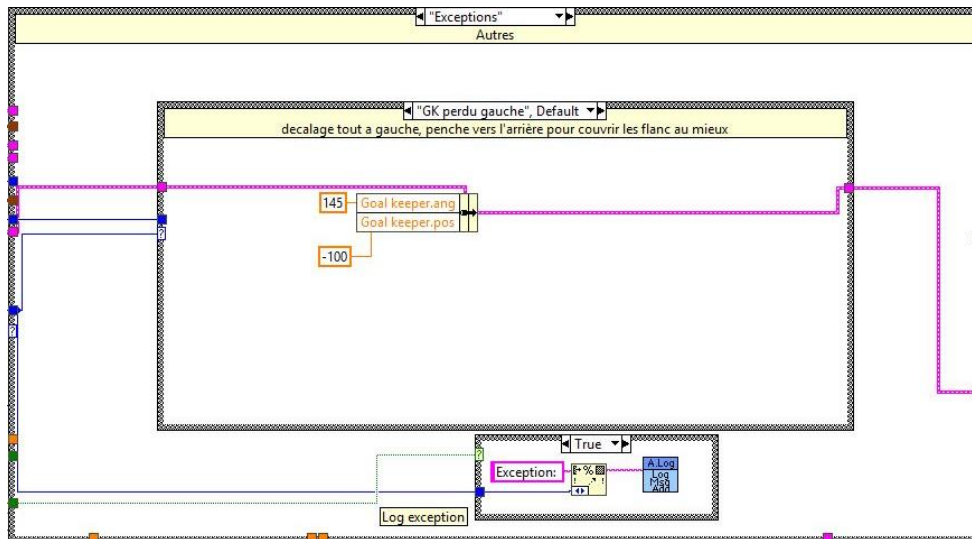


Figure 5 : Exception GK perdu gauche

Les exceptions « balle face/dos aux FWD » ne sont pas encore efficaces.

2.2.2. Juggle 2023

Le VI **Juggle_2023** est une copie du VI **Juggle**, réalisé par Lacroix et Montorfani en 2022. Nous avons comme objectif de rendre dynamique le jonglage permis par le VI **Juggle**. Cependant, nous avons rencontré de nombreuses difficultés à reproduire un jonglage simple, avec des conditions initiales stables et sans le faire tirer. Malgré les preuves de fonctionnement du jonglage, nous ne parvenions pas à obtenir des résultats similaires. Au lieu d'un jonglage de plusieurs dizaines de secondes, nous obtenions au maximum quelques jongles. Le jonglage est interrompu lorsque les joueurs perdent le contrôle de la balle et ne sont plus capables d'adapter leur position angulaire pour ramener la balle vers leurs coéquipiers.

Nous avons donc investigué les raisons à l'origine de ce dysfonctionnement. Nos hypothèses sont les suivantes :

- Les surfaces latérales des pieds des joueurs sont trop irrégulières (usure de la pièce, rainure due à la fabrication par injection plastique).
- Les positions des joueurs sont mal calibrées. Afin de corriger cela, les étudiants Lacroix et Montorfani ont ajouté des offsets : $OffAng_{for}$ et $OffYPos_{for}$. Cependant, les valeurs de ces paramètres doivent être modifiées à chaque installation du Babyfoot car la calibration des joueurs est faite « à l'œil ».

- La vitesse des moteurs est trop élevée, ce qui produit un déplacement latéral trop rapide des joueurs et donc une vitesse trop grande de la balle. Par conséquent le contrôle de la balle n'est plus assuré.

Ainsi, afin de corriger le dysfonctionnement, nous avons décidé de :

- Poncer les surfaces latérales des pieds des joueurs.
- Concevoir un outil pour normaliser la calibration du babyfoot (cf. §4).
- Adapter la puissance des moteurs.

Ces modifications nous ont permis d'obtenir de meilleurs résultats. Notre record de durée de jonglage est de 40 secondes.

2.2.3. Random

Random est une stratégie qui permet de générer des déplacements aléatoires des joueurs. Deux modes de fonctionnement sont disponibles, ils diffèrent par la nature des déplacements angulaires :

- Mode Perceuse : Les joueurs réalisent des révolutions complètes.
- Mode Poisson : Les joueurs oscillent.

Ainsi, les déplacements latéraux des joueurs sont similaires pour les deux modes énoncés précédemment.

La position latérale de chaque ligne de joueurs est déterminée selon un sinus avec un déphasage aléatoire. À chaque ligne de joueurs sont imposées des bornes particulières. Cela permet de ne pas endommager le babyfoot en imposant des déplacements excessifs

Ce mode n'a pas d'application particulière, cependant il permet de démontrer que même sans stratégie le babyfoot parvient tout de même à marquer des buts et à défendre. Aussi, le développement de ce VI et la mise en pratique du mode « Perceuse » nous ont permis de relever une différence notable entre la vitesse des différents moteurs angulaires. Le moteur angulaire du GK est significativement plus lent que celui des MID, qui est plus lent que celui des DEF. Ce résultat est contre-intuitif puisque si chaque moteur fournissait la même puissance nous nous attendrions à obtenir :

$$\dot{\theta}_{GK} > \dot{\theta}_{DEF} > \dot{\theta}_{MID}$$

Où $\dot{\theta}$ correspond à la vitesse angulaire de chaque ligne de joueurs. En effet, les lignes GK, DEF et MID sont respectivement composées d'un, deux et cinq joueurs, de mensuration identique.

Nous avons également pu remarquer que le CANAL Z n'était pas actif uniquement pour le moteur de la ligne d'attaquants. Nous l'avons activé pour tous les moteurs angulaires. Ainsi, lorsque la commande d'angle est supérieure à 360° (ou 2π rad), l'opération modulo est appliquée. Ainsi les valeurs 360° (ou 2π rad) sont les valeurs maximales.

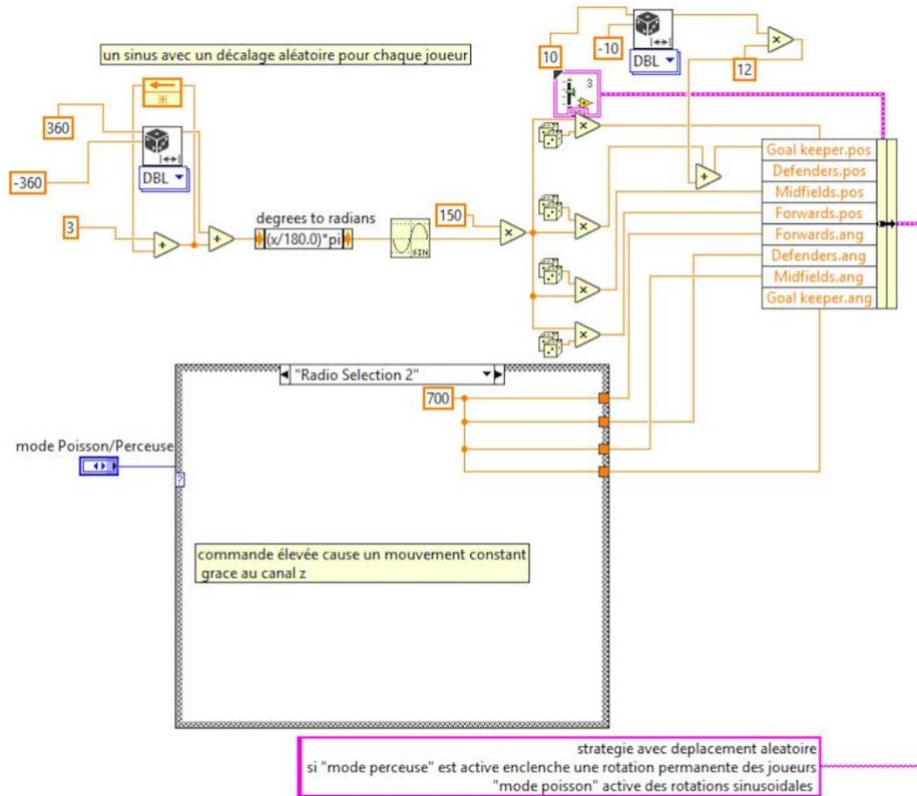


Figure 6 : VI Random : Mode Perceuse

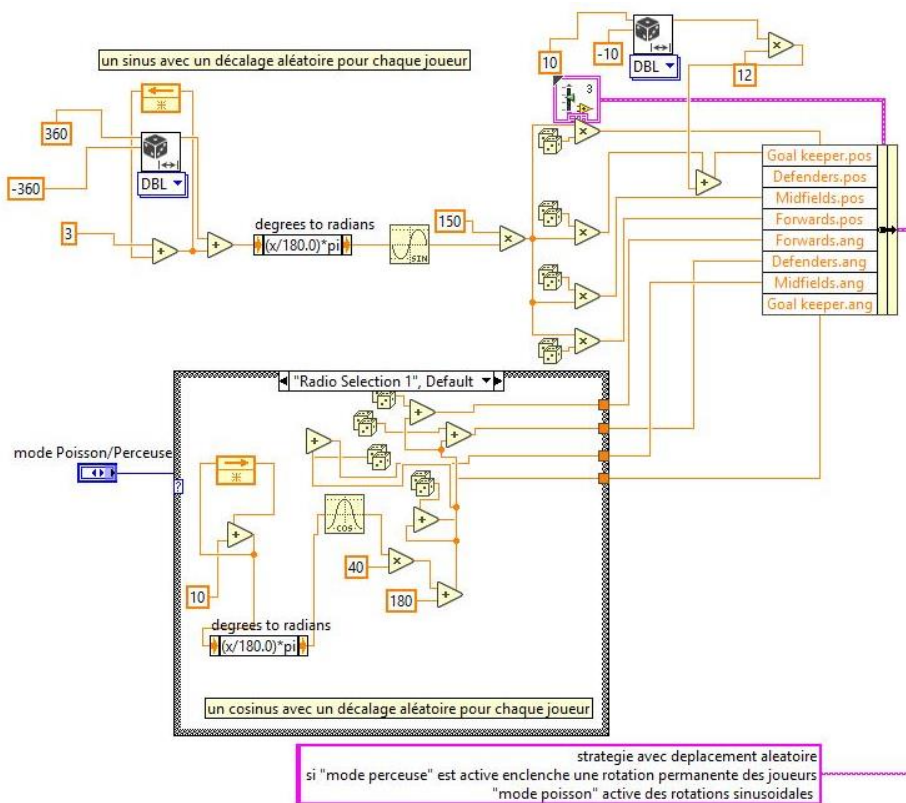


Figure 7 : VI Random : Mode Poisson

2.2.4. Replay

Replay est une stratégie qui permet de redonner aux moteurs les commandes jouées précédemment par les adversaires. À terme, cela pourrait être utilisé afin d’enseigner au Babyfoot de nouvelles séquences de jeu spécifiques sans avoir à les coder. Par exemple en les ajoutant à un cas d’exception de Multiple Tactics.

Les commandes des parties précédemment jouées sont stockées dans un fichier de logs.

L’enregistrement d’un nouveau fichier de logs s’effectue lorsque le bouton SaveMemory est activé. Il est interrompu lors de l’arrêt du fonctionnement du VI principal. Les commandes enregistrées correspondent à celles effectuées durant les quarante dernières secondes avant l’interruption du VI principal.

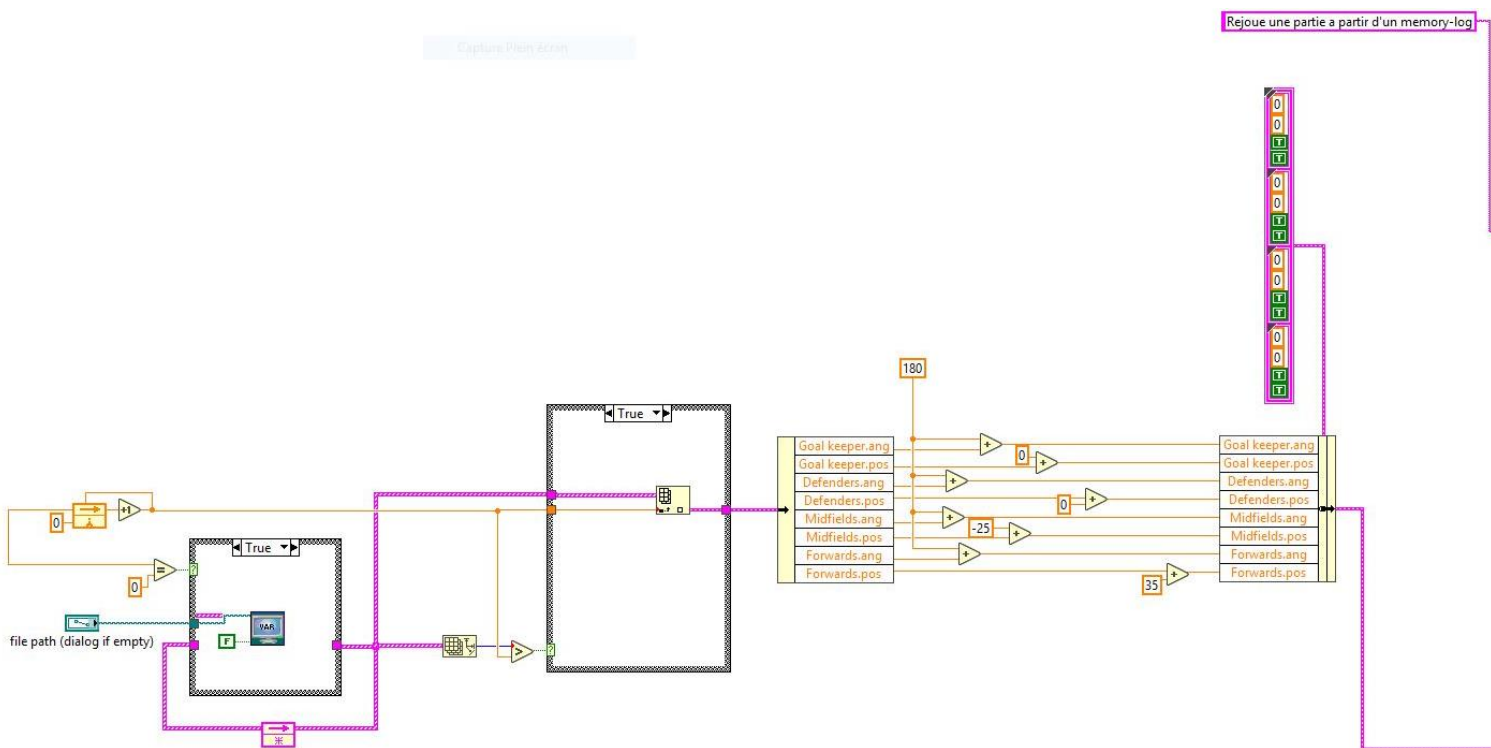


Figure 8 : VI Replay

Le fonctionnement de la stratégie Replay est basé sur le VI **VAR**.

Ce dernier permet de revoir, à l’aide d’animations, des parties qui ont été précédemment jouées.

Les parties peuvent être visionnées à différentes vitesses, en modifiant le paramètre Images sautées. Afin de visionner la partie à vitesse réelle, la valeur du paramètre Images sautées doit être égale à 1.

Cependant, nous avons remarqué que certaines fois cela ne fonctionnait pas correctement et qu’il était nécessaire de fixer à 18 la valeur du paramètre Images sautées.

Le fichier d’entrée du VI **VAR** est un fichier de logs.

Le développement de cette stratégie s'inscrit également dans une démarche de normalisation des essais et des expériences afin d'obtenir les résultats les plus fiables possible. En effet, en raison de sa grande rapidité, il est difficile d'analyser le fonctionnement précis du Babyfoot et il est fréquent d'en interpréter mal une action. Par exemple un tir qui n'en est pas un.

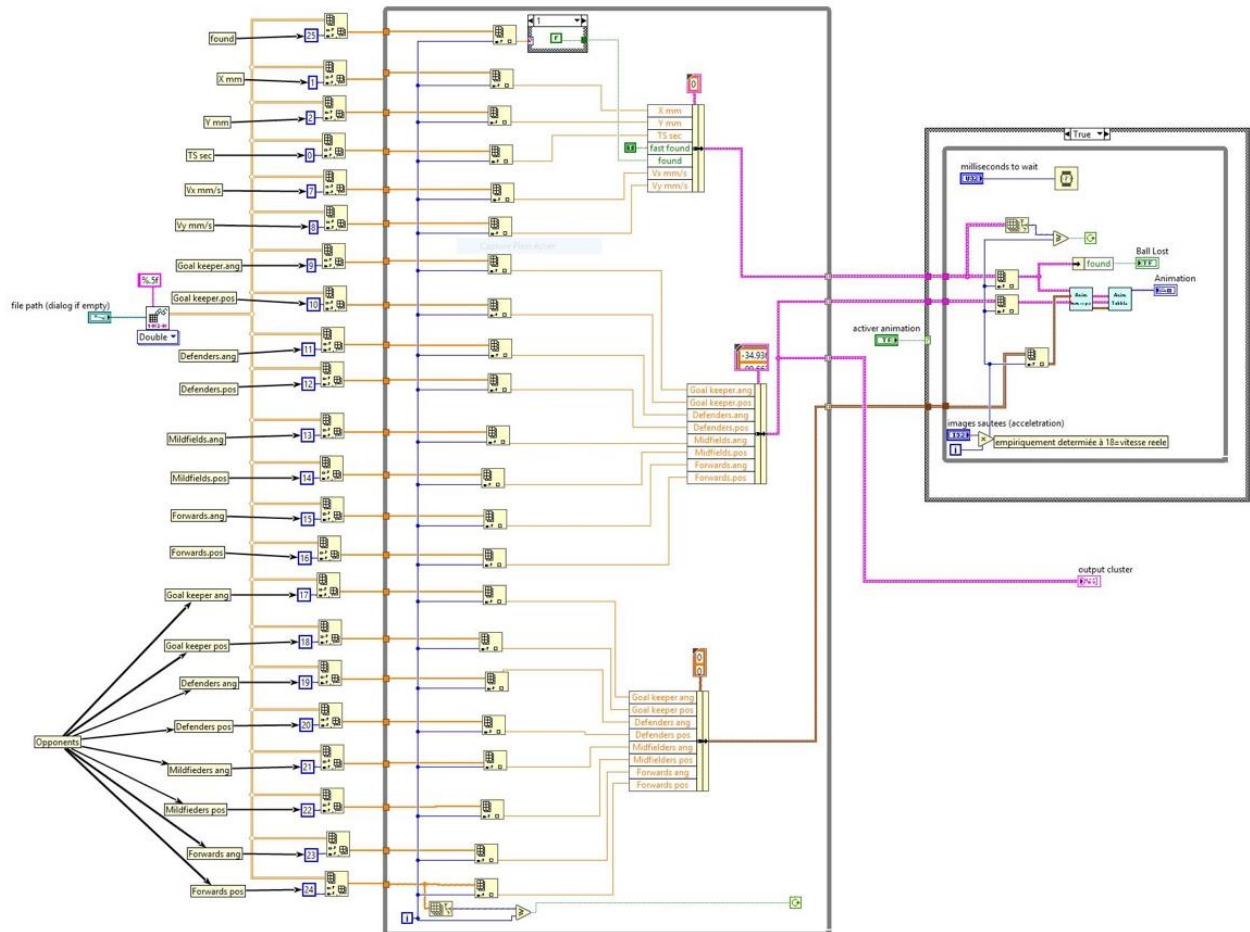


Figure 9 : VI VAR

2.2.5. The man in the mirror

Cette stratégie permet de transmettre aux joueurs robotisés (joueurs bleus), en direct, les commandes effectuées par les adversaires (joueurs blancs). Ainsi, le Babyfoot se comporte comme un miroir.

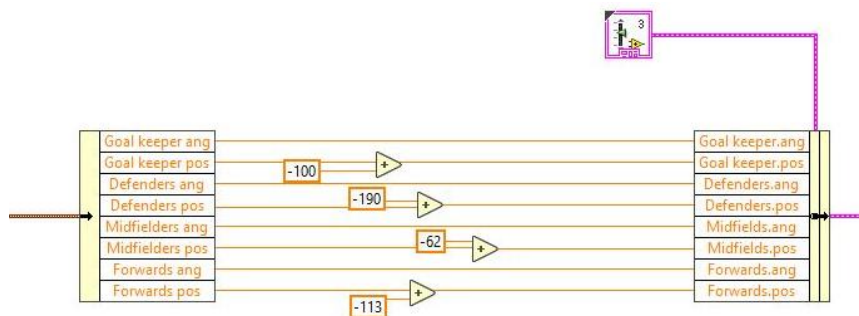


Figure 10 : VI Man in the mirror

La mise en place de cette stratégie nous a permis dans un premier temps d'effectuer une vérification de la calibration des positions angulaires des joueurs du Babyfoot. En effet, lorsque les adversaires étaient verticaux, les joueurs robotisés ne l'étaient pas.

Cela était dû à une mesure incorrecte de l'angle. En effet, la pièce sur laquelle le laser est réfléchi doit être positionnée comme sur la photographie ci-dessous afin que la valeur de l'angle corresponde bien à la position verticale (tête en bas).



Figure 11 : Image du support des lasers lorsque les joueurs ont la tête vers le bas

3. Architecture

Au cours du semestre, nous nous sommes rendu compte de l'importance de la création de tests normalisés et d'outils spécifiques afin d'obtenir des résultats fiables à partir desquels travailler.

Comme nous l'avons indiqué précédemment, le Babyfoot est d'une grande rapidité et il est donc difficile d'analyser son fonctionnement. Afin de pouvoir observer les changements de stratégie effectués, nous avons ajouté au front panel un graphique (cf. figure 12). Dans ce graphique, à chaque stratégie est associée à une valeur numérique :

- Capture : 0
- Pause : 1
- Juggle : 2
- ShootDynamic : 3
- Exceptions : 4

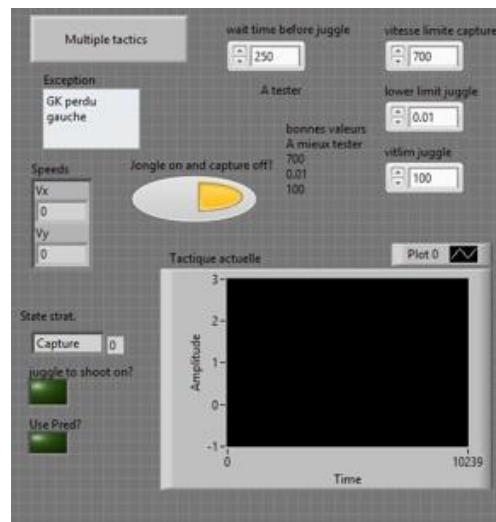


Figure 12 : Image extraite du front panel

Afin de réduire encore les risques de buts fortuits (cf. §3.2.1.2), nous avons ajouté sur les deux buts du Babyfoot des morceaux de carton, scotchés (cf. Figure 13). Cela a pour effet de réduire encore l'espace laissé à la balle sans qu'elle ne puisse être touchée. Cette solution est temporaire et pourrait par exemple être améliorée en remplaçant le carton par un matériau plus rigide.

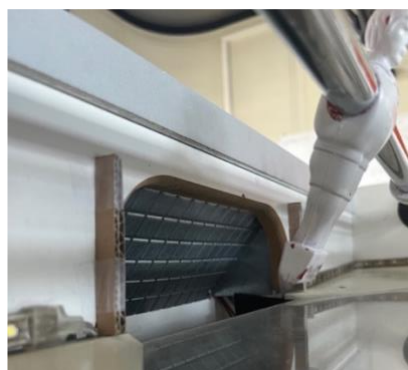


Figure 13 : Photographie des buts

Comme discuté dans le paragraphe §3.2.5, il est primordial d'être en mesure de calibrer correctement les positions des joueurs. À cet effet nous avons développé une cale permettant la calibration des angles, de manière simple et efficace. Cette pièce a été réalisée en impression 3D.

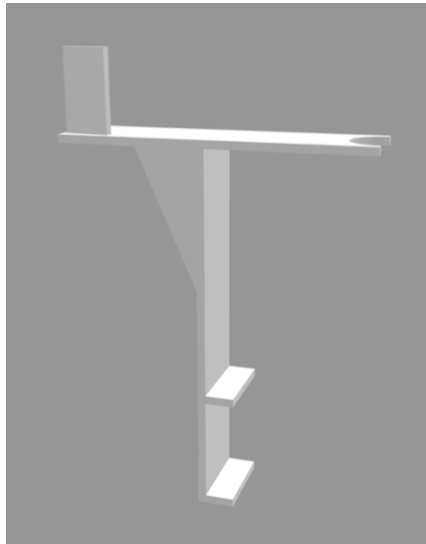


Figure 14 : Image 3D de la cale

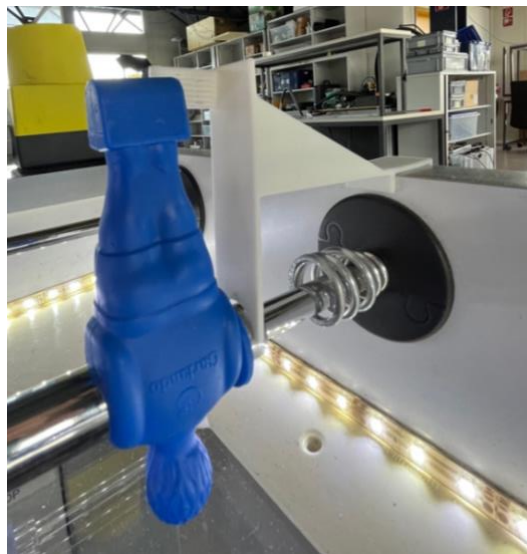


Figure 15 : Photographie de la calibration de l'angle des DEF

4. Conclusion

Au terme de ce semestre, nous sommes parvenus à améliorer le robot et à répondre au cahier des charges défini par M. Salzmänn au début de ce semestre.

Le Babyfoot possède désormais une stratégie complète et fiable, qui a été présentée au public avec un grand succès à l'occasion des journées portes ouvertes de l'EPFL. Durant deux jours, le Babyfoot a fonctionné sans interruption ni erreur. Il a remporté la très grande majorité de ses matchs, qui étaient disputés en cinq points.

Cela nous a permis de prendre conscience de certaines failles et d'imaginer des voies d'amélioration.

Par exemple, notre surveillance permanente et notre intervention étaient régulièrement requises, pour remettre la balle en jeu si cette dernière était bloquée ou inaccessible.

Le Babyfoot peut blesser un joueur humain s'il place ses mains ou ses doigts au mauvais endroit au mauvais moment.

En outre, il est sensible aux dégradations puisque sa structure et ses composants, tels que les moteurs et les caméras, sont à découvert.

Il serait donc intéressant de modifier son architecture, afin de pouvoir le laisser à disposition du public, sans danger.

Il serait également nécessaire de permettre la réalisation de tests normalisés pour faciliter le développement de solutions fiables.

Venir à bout de ce projet a été une épreuve complexe, mais très enrichissante. Nous sommes très heureux d'avoir apporté notre pierre à ce grand édifice.

Grâce à l'aide de M. Salzmänn et M. Schuchert et à leur confiance, la réalisation de ce projet s'est effectuée dans des conditions optimales. Ce fut pour nous une expérience très positive dont nous les remercions bien vivement.

En annexe, nous avons mis à jour la figure 2, qui résume les actions de chaque stratégie, en y ajoutant celles que nous avons développées ce semestre

Enfin, à défaut d'avoir pu utiliser l'intelligence artificielle pour améliorer le fonctionnement du Babyfoot, nous y avons fait appel pour réaliser la couverture de ce rapport (crédits à DALL·E 2)

5. Annexes

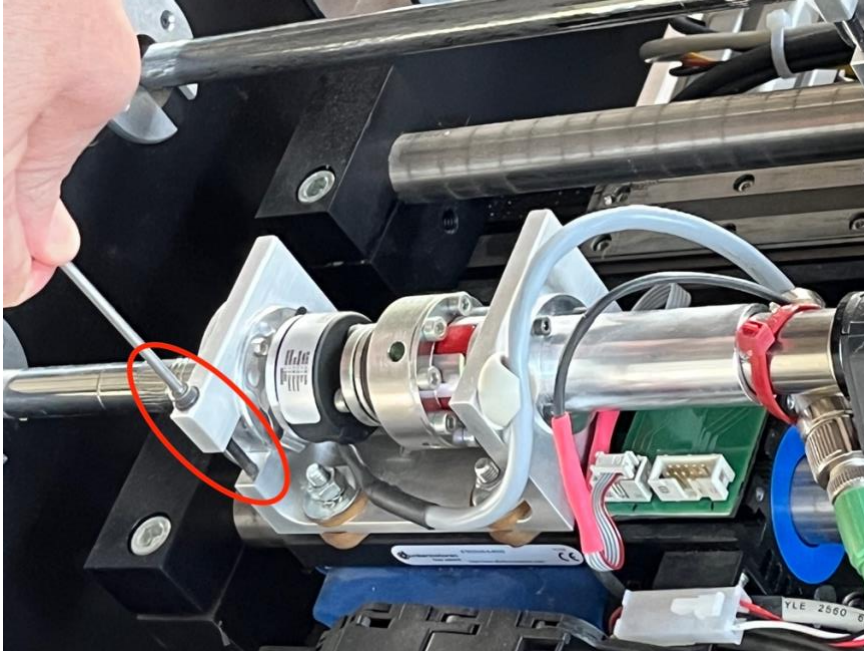
Annexe A : Tableau récapitulant les capacités des stratégies, mis à jour

Stratégie	Joueurs horizontaux si balle derrière ?	FWD tirent ?	MID tirent ?	DEF tirent ?	GK tire ?	DEF suivent la balle ?	Remarques
Defence 1	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	DEF et GK verticaux
Defence 2	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	DEF et GK verticaux
Defence 3	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	DEF et GK verticaux
Defence All player 1	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	
Defence All player 2	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	
Defence All player 3	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	
Defence All player 3v2	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	
Mahdi_1	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	
MahdiPredTest	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	
MahdiPredTest2	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	
ShootDynamic	Oui sauf DEF	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	
Capture	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	
Capture+Shoot	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	
Capture+Juggle	Non	Non	Non	Non	Non	Non	
DynamJuggling	FWD seulement	Non	Non	Non	Non	Non	
Multiple Tactics	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Cas d'exception fonctionnels

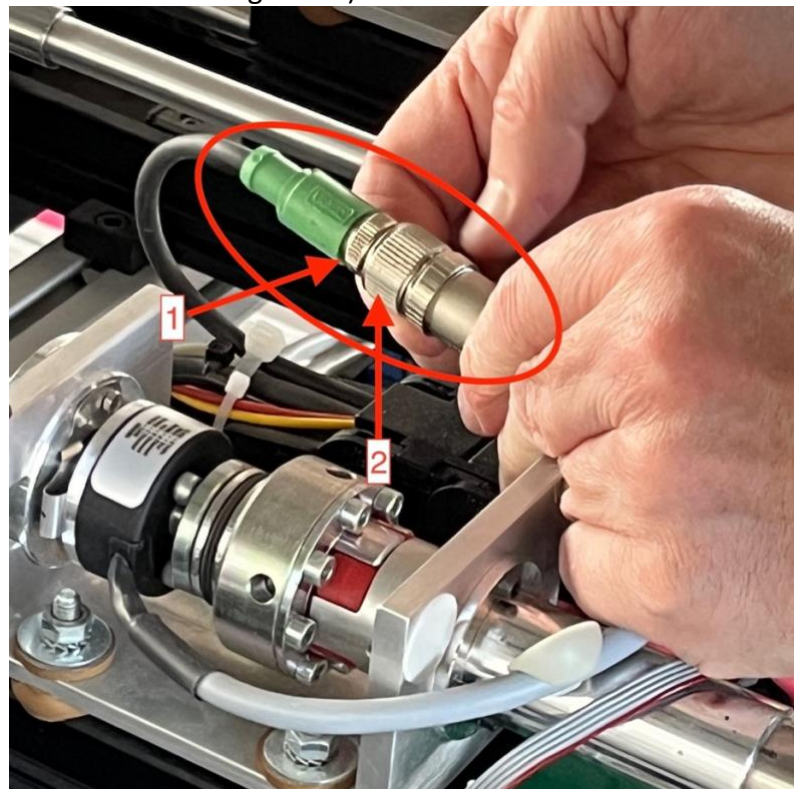
Figure 16 : Tableau récapitulatif les capacités des stratégies existantes, mis à jour

Annexe B : Mode d'emploi de démontage du Babyfoot pour le déplacer

1. Dévisser les vis noires pour désolidariser les moteurs des barres (à l'aide d'une clé de 3)



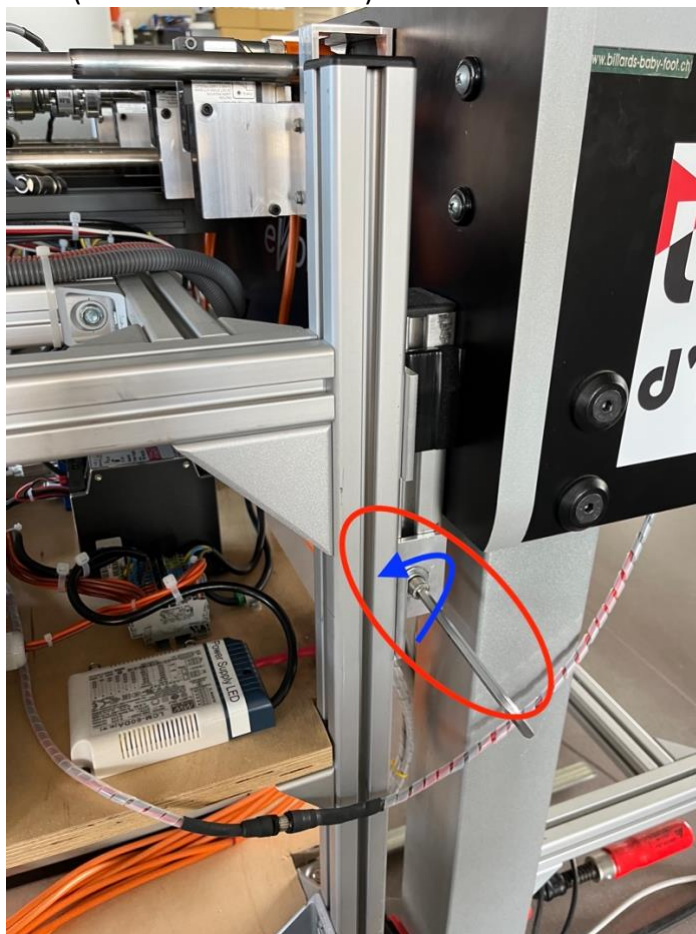
2. Débrancher les câbles d'alimentation des moteurs (pour dévisser, faire tourner la bague n°1 en maintenant la bague n°2).



3. Désolidariser les moteurs de la barre des joueurs.



4. Dévisser la structure (à l'aide d'une clé de 6)



5. Débrancher les LED rouges (qui servent au calibrage de la caméra)



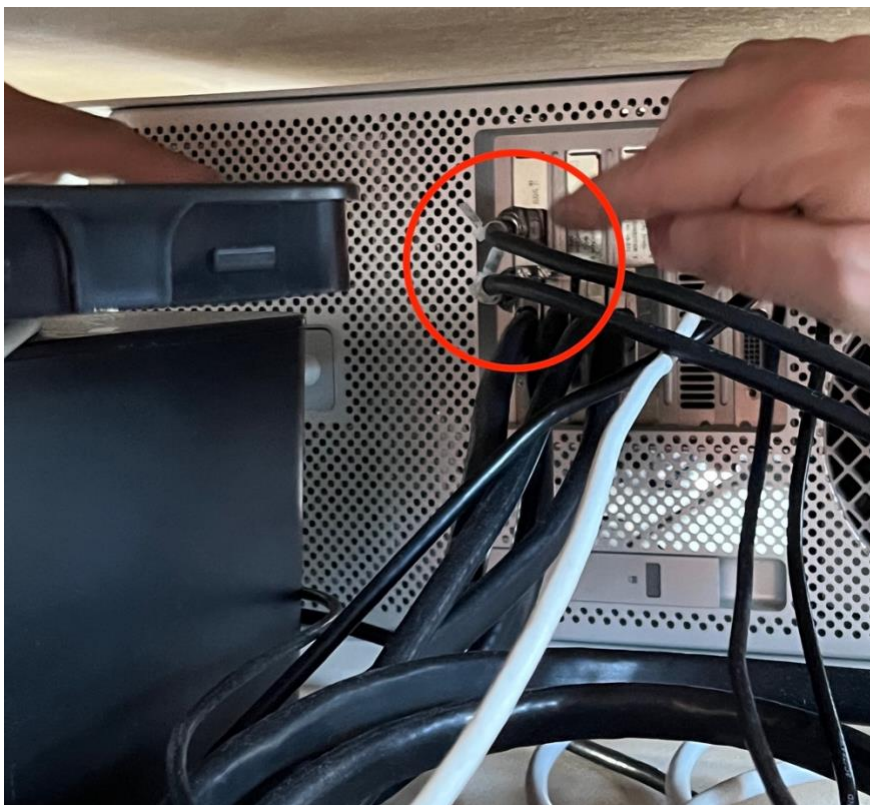
6. Débrancher les LED blanche (qui font le tour du terrain)



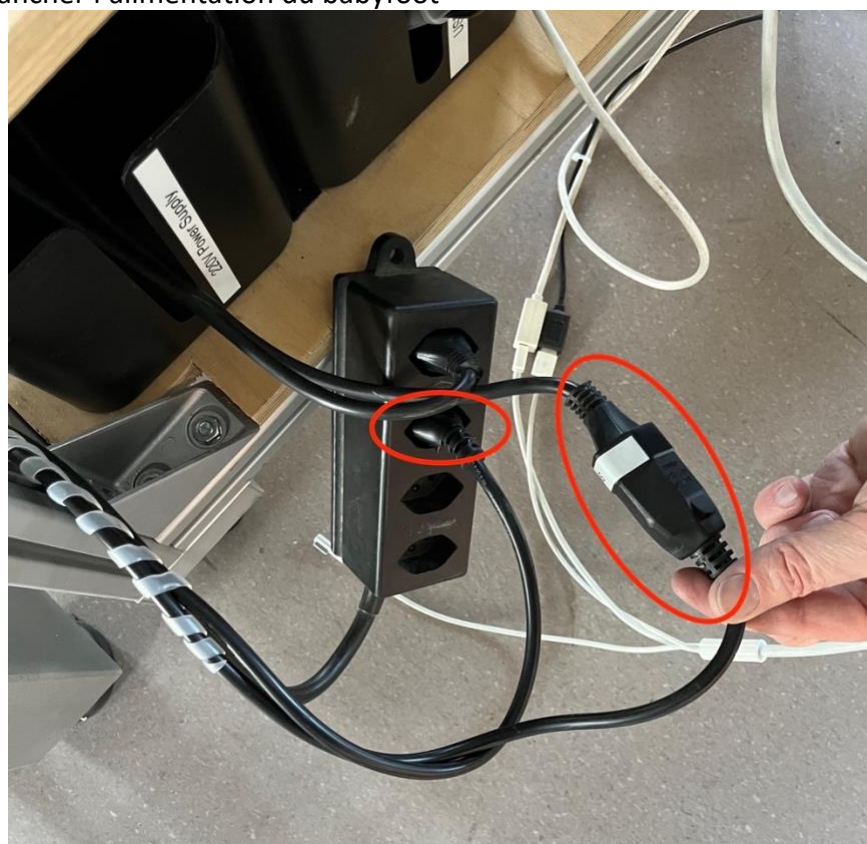
7. Débrancher les lasers



8. Débrancher les caméras



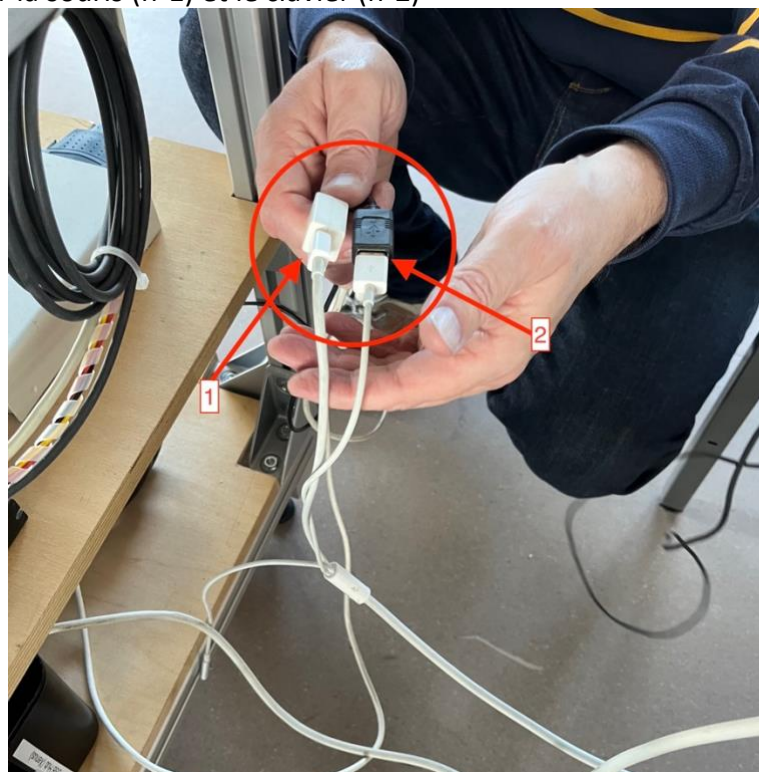
9. Débrancher l'alimentation du babyfoot



10. Débrancher l'alimentation de l'écran



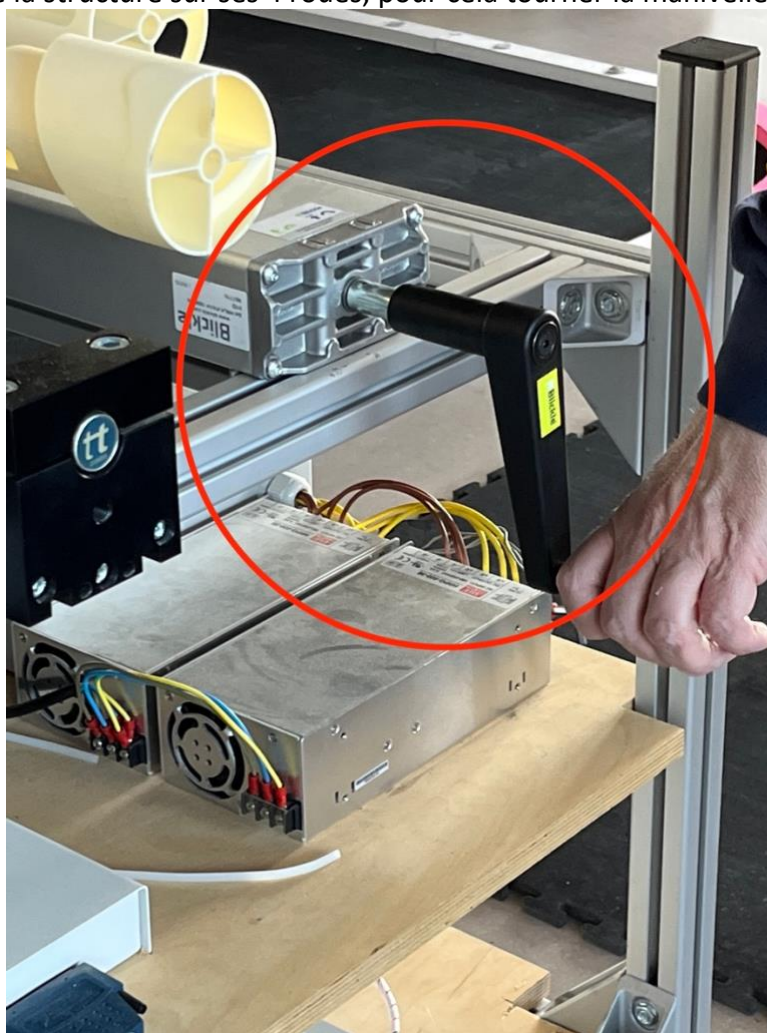
11. Débrancher la souris (n°1) et le clavier (n°2)



12. Débrancher le câble réseau



13. Remettre la structure sur ses 4 roues, pour cela tourner la manivelle



Pour fonctionner correctement, la hauteur de la structure doit être de 13.5 cm.

