

Implémentation d'un test médical dans un environnement 3D virtuel et réalisation d'une application d'enregistrement de données.

Ing. W. ESTIEVENART
Dr Ir L. JOJCZYK
ISICHt – Mons

Ce travail de fin d'étude consiste en deux phases distinctes. D'une part, la réalisation d'une application informatique d'enregistrement de données (données reliées à la cinématique de la main) et d'autre part, l'implémentation d'un test médical existant en une application virtuelle en 3D sur ordinateur. Les deux applications s'inscrivent dans un contexte médical avec l'aide de nouvelle technologie et concernent la kinésithérapie et l'ergothérapie. Ce projet a été réalisé au sein du CERISIC (Centre d'Etude et de Recherche de la catégorie technique de la HELHa) (Mons) et avec la collaboration de l'URFFH (Unité de Recherche sur la Forme et le Fonctionnement Humain) (Montignies-Sur-Sambre).

Mots-clefs : IMC, Leap Motion, Médical, Virtuel, 3D, Données, Cinématique, Visual Studio, C#, Unity, Main.

This end of study work consists in two distinct phases. Firstly, the development of a computer application for data recording (Data are related to kinematics of hands). Secondly, the implementation of an existing medical test toward a virtual application in 3D on a computer. These applications are in a medical context with the help of new technology and they are related to kinesitherapy and occupational therapy. This project was carried out within the CERISIC (Research Center of the technical category of the HELHa) (Mons) and with the collaboration of the URFFH (Research Unit on the form and human function) (Montignies-Sur-Sambre).

Keywords : Cerebral Palsy, Leap Motion, Medical, Virtual, 3D, Data, Kinematic, Visual Studio, C#, Unity, Hand.

1. Introduction

1.1. Contexte

La problématique de ce travail de fin d'études est liée à l'utilisation de la réalité virtuelle dans la réalisation de tests cliniques visant à évaluer la dextérité manuelle d'un patient. La dextérité digitale fine (c'est la combinaison de la précision et de la rapidité des mouvements des mains) est souvent évaluée chez les enfants et adultes IMC par le Purdue Pegboard Test (voir figure 1).

L'Infirmité Motrice Cérébrale, ou IMC, regroupe des troubles moteurs dûs à des lésions cérébrales ayant eu lieu avant, pendant ou après la naissance. Ces troubles, présents dans 0.2% des naissances, sont permanents et limitent le développement du mouvement et de la posture. Ces lésions sont non évolutives mais les conséquences peuvent évoluer. L'IMC est souvent accompagnée d'autres troubles (sensoriels, perceptifs, Trouble Musculosquelettique (TMS), etc) et peut prendre diverses formes (diplégie, hémiparésie, quadriparésie).

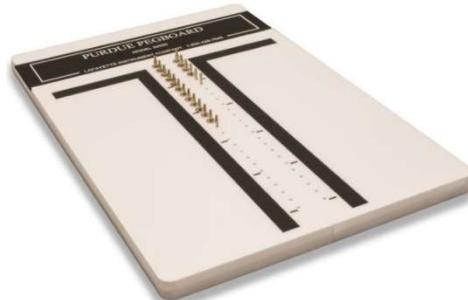


Figure 1 : Purdue Pegboard Test

Ce Purdue Pegboard Test est une planche en bois de 45 centimètres de longueur sur 30 centimètres de largeur. Cette planche comporte deux rangées de trous de 3 millimètres de diamètres, alignés et équitablement espacés, en son centre. Sur la partie supérieur, un cache recouvre quatre compartiments destinés à ranger les différentes pièces manipulables par le patient (tigette, rondelle et entretoises métallique). Cela se fait au travers de plusieurs exercices de coordination. Le patient doit prendre les tigettes (2.5cm de longueur et 2.5mm de diamètre) et les placer dans les trous. Il doit en mettre le plus possible en 30 secondes et en partant du haut vers le bas. Il ne peut prendre qu'une tige à la fois et ne peut pas s'aider de l'autre main pour le test. Il y a trois tests : un avec la main dominante, non-dominante et les deux mains. Il existe également un dernier test dit d'assemblage qui est plus complexe et non utilisé dans le cadre du projet.

L'apport de la réalité virtuelle serait d'une part de rendre plus attractif un test clinique efficace mais peu ludique, particulièrement chez les enfants qui peuvent se décourager rapidement lorsque la tâche est difficile. D'autre part, la réalité virtuelle permettra d'étudier plus précisément la cinématique de la main et des doigts lors de ce test clinique. Cela permettra aussi d'avoir accès à la stratégie déployée par le patient pour prendre et déplacer les tiges jusque dans les trous.

1.2. Cahier des charges

Le projet consiste en la réalisation de deux applications informatiques. La première, une interface graphique permettant l'enregistrement de repères anatomiques choisis et captés par le Leap Motion (décrit par la suite au point 2), les coordonnées cartésiennes recueillies et exprimées en unités physiques devant être importées dans un fichier XLS ou CSV. Les données dans le fichier doivent être mises en forme de manière à pouvoir être lues et exploitées ultérieurement (réalisation de graphique ou d'analyse statistique par exemple).

La seconde application, une interface graphique permettant la réalisation du Purdue Pegboard Test. La possibilité de réaliser plusieurs épreuves différentes ainsi que de choisir plusieurs visuels devra être envisagée. Un aspect intéressant de la réalité virtuelle pourra être une liberté dans le choix des paramètres des éléments concrets du test : taille des trous, espacement, nombre de trous, etc. Là aussi une partie d'enregistrement des données (plus succincte) devra être envisagée afin d'analyser ultérieurement la cinématique des mains du patient lors du test.

Le but de la première application est de pouvoir disposer d'un outil de récolte et de stockage de données qui permette une utilisation et une exploitation ultérieure des données plus aisées possible.

Le but de la deuxième application est le même que la première avec un aspect additionnel : ne pas seulement disposer d'un outil de récolte et de stockage de données mais aussi d'un outil d'analyse et d'aide au diagnostic dans les milieux médicaux de la kinésithérapie et de l'ergothérapie. Le milieu et le contexte restent spécifiques mais s'inscrivent dans une mouvance nouvelle pour aider patient et praticien.

1.3. Anatomie de la main

Etant donné que les deux applications vont porter sur la cinématique de la main, nous allons présenter un bref résumé sur ses détails anatomique. L'anatomie de la main est, tout comme sa fonction, très complexe. Une main comporte cinq doigts : le pouce, l'index, le majeur, l'annulaire et l'auriculaire. Le pouce est particulier car il possède la capacité de s'opposer aux autres doigts, ce qui est fort utile pour attraper

des objets par exemple. Elle est également composée d'os, de muscles, de tendons, de veines, de nerfs et d'artères mais nous ne verrons que la partie concernant les os. Ils sont au nombre de 27 par main, ce qui fait plus de 50 os pour les deux mains. Le corps humain contenant environ 206 os, les mains représentent donc à elles seules un quart de la quantité osseuse. Cela montre à quel point elles sont complexes et importantes.

Sur la figure 2, on peut voir un schéma représentant les différents os composant la main. On voit qu'une main est composée de 14 phalanges (le pouce ne possède pas de phalange médiane), de cinq métacarpes et d'un carpe. Ce dernier est composé de huit os alignés sur deux rangées (la proximale, près du poignet, et la distale, près des doigts).

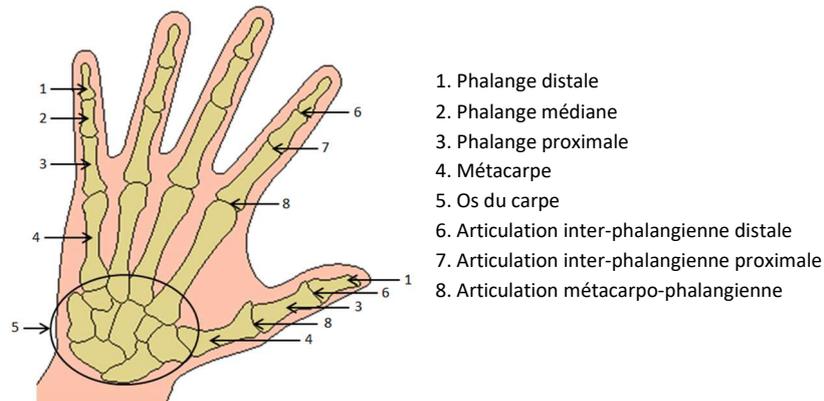


Figure 2 : Anatomie osseuse de la main

L'action d'attraper un objet est appelée préhension. Ce terme est largement utilisé dans le milieu médical. Une autre action intéressante à observer dans le cadre du Purdue Pegboard Test est la rotation de la main. En effet, les personnes atteintes d'IMC ont des difficultés à bouger correctement leurs membres (dépendant de la forme d'IMC). Grâce au Purdue Pegboard Test, on peut observer ces deux actions fondamentales que font les mains dans la vie de tous les jours.

Sur la figure 3, on peut voir différents types de préhension possible. Celle que l'on s'attend à rencontrer (individu sain) lors du Purdue Pegboard Test sera la préhension bi-digitale (« Tip » sur l'image) avec une prise pouce-index.

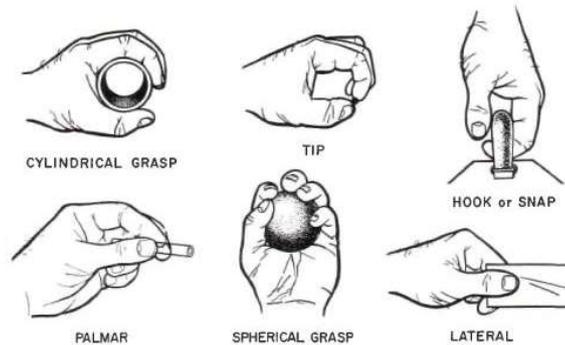


Figure 3 : Types de préhension

Cependant, on peut aussi observer d'autres types (individu pathologique) comme la préhension palmaire, latérale ou d'autres prises digitales (autres couples de doigts ou pluri-digitale). La rotation amenant la paume vers le haut est appelée supination et la rotation amenant la paume vers le bas est appelée pronation. L'ensemble des deux rotations est appelé prosupination. En effet, lors du déplacement des tiges, le patient est amené à prendre l'objet et à effectuer des rotations de la main afin de l'amener correctement dans les trous. On peut voir une représentation des deux mouvements concernant la prosupination sur la figure 4.

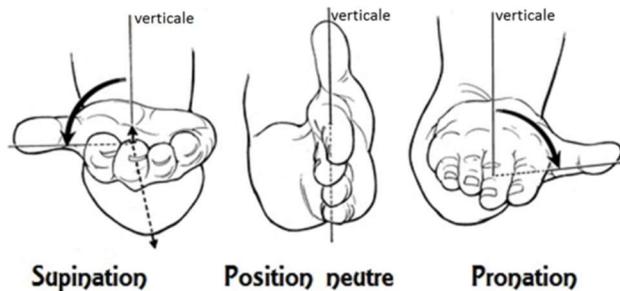


Figure 4 : Schéma prosupination

2. Matériel et logiciels utilisés

2.1. Le Leap Motion

La transcription des mouvements de la main nécessaire à la réalisation des deux applications utilise une caméra 3D spécifique reliée à l'ordinateur via USB : le Leap Motion (voir figures 5 à 8). Ce capteur de faible coût (< 80€) a été conçu spécifiquement pour la reconnaissance tridimensionnelle de repères anatomiques situés sur les mains et les avant-bras (contrairement à d'autres capteurs comme la caméra Kinect par exemple, utilisée pour repérer le corps dans son ensemble) mais n'est appliqué à l'heure actuelle qu'à des fins ludiques ou bureautiques.

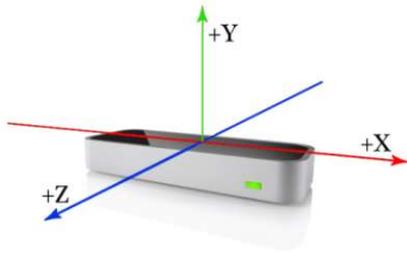


Figure 5 : Leap Motion et axes

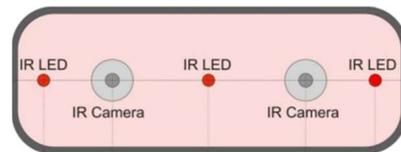


Figure 6 : Vue Schématique du Leap Motion

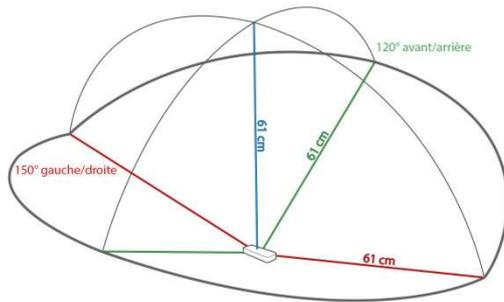


Figure 7 : Zone détection du Leap Motion

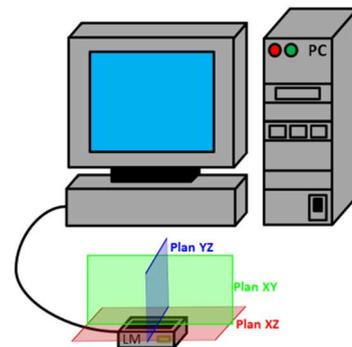


Figure 8 : Plans du Leap Motion

Ce capteur est composé de deux caméras infrarouges et de trois leds elles aussi infrarouge pour lui permettre de voir les mains grâce à une vision stéréoscopique (voir figure 6). Tout comme les yeux du corps humain, chaque caméra filme une image en deux dimensions. Les images des deux caméras sont ensuite utilisées pour synthétiser la vue en trois dimensions. Des traitements mathématiques sont utilisés

pour produire une vue 3D de ce que le capteur voit. Ensuite, d'autres traitements (algorithme, filtre) sont appliqués afin de déterminer les divers points des mains (coordonnées 3D des articulations, de la paume, longueur de doigts, etc).

Le système de coordonnées utilisé est dit « main droite » (ou dextrogyre) : le pouce, l'index et le majeur représentent respectivement les axes {X, Y, Z}. Il est important de le préciser car d'autres appareils ou logiciels utilisent un système de coordonnées dit « main gauche ». La différence entre les deux résulte en une simple inversion de l'axe Z. Sa précision est d'au moins 0.2 mm ce qui est largement suffisant pour les deux applications.

2.2. Unity3D

Unity3D est un moteur 3D permettant de réaliser des applications ludiques ainsi que de réalité virtuelle. Le choix s'est porté sur Unity3D plutôt que sur un autre logiciel du même type (Unreal Engine par exemple) car c'est un logiciel simple et disposant de suffisamment de fonctionnalités dans sa version gratuite. Il possède également beaucoup d'exemples et de documentation de par sa communauté active. Il offre aussi la possibilité d'intégrer des créations 3D réalisées dans d'autres logiciels tels que Blender par exemple. Et enfin, une boutique en ligne permet de trouver et d'intégrer des objets, textures ou autres éléments utiles facilement. Ce logiciel utilise un système de coordonnées « main gauche » (contrairement au Leap Motion).

2.3. Visual Studio

Visual Studio est un IDE (Integrated Development Environment) permettant la programmation de diverses applications informatiques (interface graphique par ex.) et ce dans divers langages (Visual Basic, C#, ...). Il est compatible avec Unity3D. C'est-à-dire que l'on peut utiliser Visual Studio pour réaliser et éditer des scripts dans un projet. Une autre raison de son choix est le langage de programmation utilisé. En effet, les scripts sur Unity3D ne peuvent être écrits que dans deux langages : le C# ou le JavaScript.

2.4. Le C#

Le choix du langage de programmation s'est porté sur le C# car il est disponible dans Unity3D et dans Visual Studio, ce qui permet d'utiliser un seul et unique langage dans les deux logiciels, et donc d'éviter la confusion lors de l'utilisation de deux langages différents. De plus, les bibliothèques relatives à l'utilisation du Leap Motion sont disponibles en C#. C'est un langage de programmation événementielle et orienté objet.

3. DataTrackLM

3.1. Interface et fonctionnalités

Nous arrivons maintenant à la première application développée, celle pour enregistrer les données venant du capteur Leap Motion. Comme on peut le voir dans le titre de ce chapitre, elle est baptisée « DataTrackLM ». « Data » pour données, « Track » car le capteur détecte et suit les mains et enfin « LM » pour Leap Motion. Cette application a pour but d'enregistrer les coordonnées cartésiennes en trois dimensions des différentes articulations des mains. Les données (exprimées en unités physiques) doivent être enregistrées et disposées intelligemment dans un fichier XLS ou CSV pour pouvoir être exploitées ultérieurement.

Avant de développer cette application, divers tests ont été effectués : pour savoir comment récupérer les données du capteur, pour avoir un timer précis permettant de récupérer au moins 25 points par seconde, sur certains aspects graphiques de l'application, sur l'enregistrement dans des fichiers CSV, etc. Une fois tous ces tests réalisés, la programmation de l'application et le design de son interface ont pu commencer. En plus des choses utiles à l'enregistrement, quelques fonctionnalités supplémentaires ont été ajoutées. Sur la figure 9, on peut voir son Interface.



Figure 9 : Onglet "General" de DataTrackLM

Cet onglet reprend la visualisation des mains, l'état du Leap Motion (connecté ou non au PC) ainsi que de la sauvegarde (en cours ou non), la durée de la sauvegarde et les boutons pour quitter et pour démarrer/stopper un enregistrement.

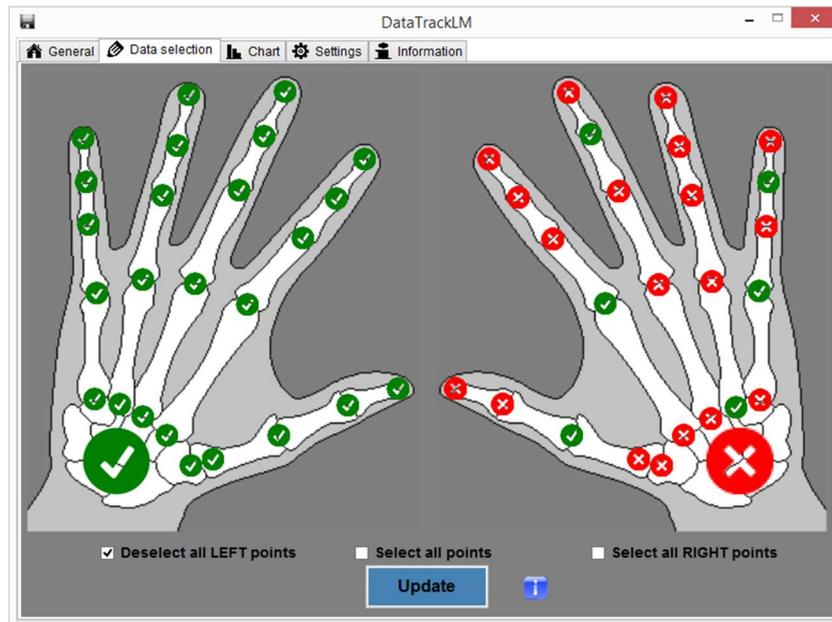


Figure 10 : Onglet "Data selection" de DataTrackLM

Sur la figure 10, on peut voir le second onglet qui permet de sélectionner les divers points des mains à enregistrer ou non. Chaque point peut-être individuellement sélectionné mais des check box permettent de sélectionner un ensemble de point en un clic (main gauche, droite ou les deux). Le bouton « Update » permet de valider la sélection.

Sur la figure 11 se trouve le 3^{ème} onglet. Ce dernier permet la visualisation en direct de l'évolution de points anatomiques choisis dans l'espace tridimensionnel. Cela se fait au travers de deux graphiques représentant deux des plans du Leap Motion, le plan « XY » et le plan « XZ ». Ce sont respectivement le plan parallèle à l'écran du PC et le plan parallèle à la table et au capteur. Les points à afficher dans ces deux graphiques sont sélectionnables parmi deux listes, une pour chaque main. On peut donc choisir n'importe quel repère anatomique que l'on souhaiterait visualiser. On retrouve également les coordonnées de quatre points précis en dessous d'un des graphiques : les coordonnées des paumes gauche et droite ainsi que les coordonnées des points choisis (main gauche et main droite). Les points sont de couleurs différents afin de savoir à quelle main ils appartiennent.

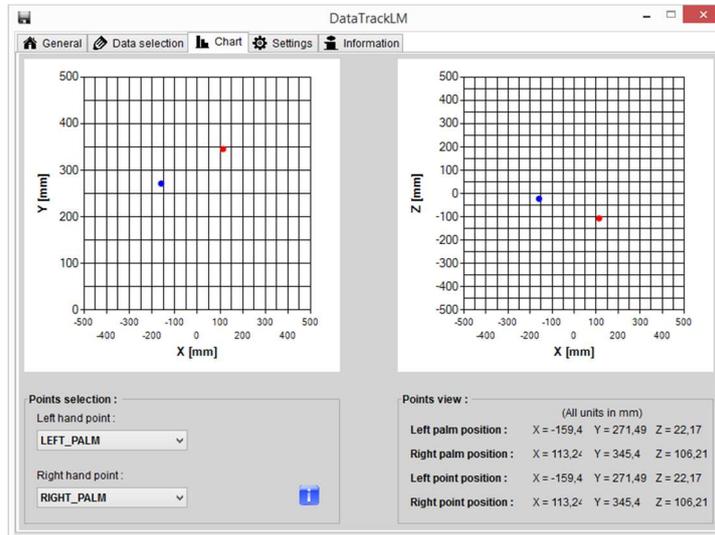


Figure 11 : Onglet "Chart" de DataTrackLM

Sur la figure 12, on peut voir l'onglet permettant de régler tous les paramètres liés à l'enregistrement et au fichier CSV en sortie de l'application. On peut régler le nom et l'emplacement du fichier, le nombre de données par seconde ainsi que d'autres informations complémentaires.

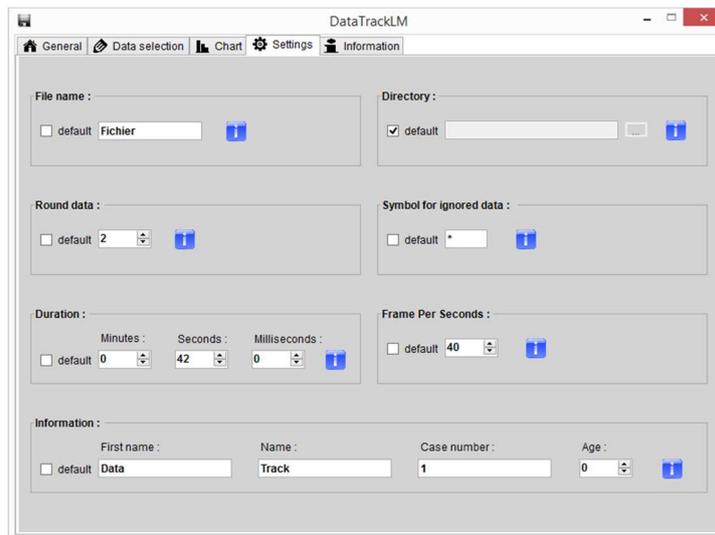


Figure 12 : Onglet "Settings" de DataTrackLM

3.2. Enregistrement des données

Dans son fonctionnement global, cette application utilise 2 timer : l'un pour le rafraîchissement de l'interface et l'autre (plus précis) pour l'enregistrement des données. Dès lors qu'on démarre/stoppe un enregistrement, l'application bascule automatiquement de l'un à l'autre. Lors d'un enregistrement, les données sont stockées temporairement en mémoire du programme. Ensuite, si l'utilisateur choisit de les enregistrer à la fin du texte, elles vont être utilisées afin de compléter un fichier CSV. On retrouvera tout d'abord un en-tête au début et ensuite les données de manière structurée. L'en-tête contient les informations utiles au fichier (nom, durée enregistrement, date début et fin, etc) et les informations complémentaires que l'utilisateur a renseigné dans l'onglet « Settings ». On peut voir la structure du fichier sur la figure 13. Chaque coordonnée de chaque articulation de chaque doigt et cela pour chaque main y est stockée. Les données présentes sont hiérarchisées de cette manière : main, doigts, articulations, axe de coordonnées. Avec la paume au même niveau que les doigts. Cela permet de les exploiter simplement par la suite pour réaliser graphique ou analyse.

Informations	Time b. :	FPS :	Time :	Nb of point :	Start date :	End date :	...
	File name :	Round :	Symbol :				...
	First name :	Name :	Age :	Case number :			...
Mains	Main gauche						
Doigts	Paume					Index	
Articulations	J1		J2		J3		J4
Coordonnées	X	Y	Z	X	Y	Z	X
t0	valeur						
t1	valeur						
t2	valeur						
:	:	:	:	:	:	:	:

Figure 13 : Structure d'un fichier CSV

4. VirtualPPT (version 1)

4.1. Interface et fonctionnalités

Nous arrivons maintenant à la deuxième application développée, celle concernant le test médical Purdue Pegboard Test en version virtuelle. Comme on peut le voir dans le titre de ce chapitre, elle est baptisée « VirtualPPT ». Simplement pour Purdue Pegboard Test Virtuel. Pour rappel, cette application a pour but de réaliser le test médical sous forme virtuelle avec le Leap Motion. Pour deux raisons principales : rendre le test plus ludique pour les enfants et pouvoir récupérer, enregistrer et analyser ultérieurement les données cinématiques des mains. En effet avec le Purdue Pegboard Test, il est plus qu'intéressant d'observer le chemin que la main parcourt afin de mettre une tige dans un trou.

Avant de développer cette application, divers tests ont été effectués tout comme pour l'autre application : pour réaliser les trous avec la détection de la tige et les collisions, pour utiliser le Leap Motion avec Unity3D, pour interagir basiquement avec un objet virtuel présent dans la scène, pour prendre la tige, la déplacer et la relâcher, etc. Une fois tous ces tests réalisés, je me suis donc lancé dans la programmation de l'application et le design du test / jeu. Certaines fonctionnalités auxquelles nous n'avions pas pensé au départ ont pu être ajoutées. Par exemple, un timer est implémenté pour mesurer le temps pendant lequel on pince les tiges, cela pour évaluer la difficulté d'attraper les tiges virtuelles.

Sur la figure 14, on peut voir le test virtuel en question, avec quelques tiges placées et une nouvelle attendant qu'on la saisisse.

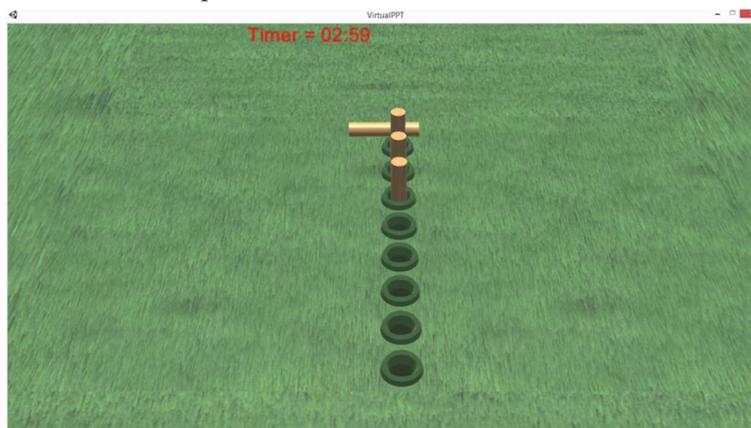


Figure 14 : Interface de VirtualPPT

On peut voir que le test virtuel ne ressemble pas à la vraie planche du Purdue Pegboard Test. La première phase a été d'essayer de modéliser une des tiges avec sa taille réelle mais elle était bien trop petite pour pouvoir l'attraper et la manipuler dans l'environnement virtuel. La décision a donc été de modéliser une tige plus grande afin qu'elle soit aisément manipulable par la suite.

La phase suivante a été la modélisation d'une version simplifiée et allégée de la planche du Purdue Pegboard Test mais cela posait problème au niveau des collisions et de la taille encore une fois. La solution finale est donc celle que l'on peut voir sur la figure 14. Il y a une rangée centrale de huit trous et une tige. Cette tige réapparaît une fois qu'on la place dans le bon trou. Le choix a été de faire une rangée centrale au lieu de deux pour pouvoir effectuer le test avec la main gauche ou la main droite, le test comprenant les deux mains étant moins utilisé. Pourquoi huit trous et pas plus ou moins ? C'est un compromis entre un nombre de trous suffisant pour le test et une vue 3D non surchargée (et de ce fait une orientation et position de caméra la plus adéquate possible pour l'utilisateur). Chaque trou est donc un objet séparé

pour pouvoir gérer les collisions avec la tige plus facilement que s'il formait un seul et même objet.

L'application dispose d'un mode entraînement et d'un mode de test, tout comme le Purdue Pegboard Test. Dans le mode test, lorsque l'utilisateur a placé toutes les tiges ou que le temps est écoulé, il voit apparaître les scores et informations finales (voir figure 15). On peut également voir apparaître une clôture contenant un animal. C'est le côté ludique de l'application. En effet, la taille de la clôture dépend du nombre de tiges placées correctement. Cela est fait afin de motiver les plus jeunes et pour ne pas qu'ils se découragent.

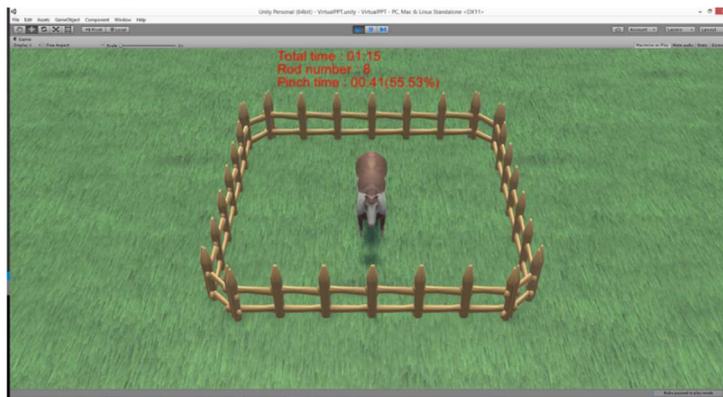


Figure 15 : Fin du jeu/test VirtualPPT

L'action principale dans cette application est d'attraper les tiges, de les amener jusqu'aux trous à atteindre, et de les relâcher pour les placer correctement.

4.2. Préhension

Mais comment peut-on détecter la prise et les relâchements dans le monde virtuel ? Sur la figure 16, on peut voir le schéma d'une main et plus particulièrement de son pouce et index en forme de pince. Sur la figure 17, on peut voir le schéma en coupe et en vue du dessus d'une tige avec le point milieu représenté. On va utiliser la distance entre les deux doigts pour détecter une prise ou un relâchement, mais il ne faut pas qu'un pincement à 10 centimètres de l'objet permette de l'attraper.

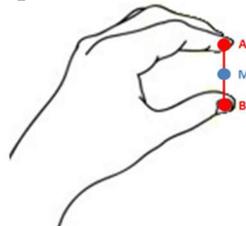


Figure 16 : Schéma pincement

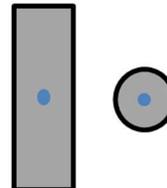


Figure 17 : Schéma tige

On va utiliser les coordonnées du bout de deux doigts pour calculer le point se situant au milieu de ces deux doigts. C'est en comparant les coordonnées de ce point milieu et du point milieu de la tige que l'on va pouvoir détecter et valider le pincement ou le relâchement de l'objet (en tenant compte de l'écartement des doigts, AB proche pour un pincement et AB écarté pour un relâchement. Le seuil étant la largeur de la tige avec un paramètre additionnel afin de ne pas être trop restrictif car le monde virtuel est parfois capricieux). Cependant, on ne va pas restreindre le point à atteindre uniquement au point milieu de l'objet, on va laisser une zone tout autour, cette zone est tout simplement l'objet lui-même.

On peut voir les coordonnées des points A et B respectivement aux équations suivantes.

$$\begin{aligned} A &= [x_0; y_0; z_0] \\ B &= [x_1; y_1; z_1] \end{aligned}$$

Tout d'abord, on va trier les coordonnées pour chaque axe.

$$\text{Axe } x \Rightarrow x_{\min} = x_0 \text{ et } x_{\max} = x_1$$

Ensuite, on va calculer la distance, la diviser par deux et l'ajouter à la valeur minimale, et cela pour chaque axe. On peut voir les calculs complets pour les axes X, Y et Z aux équations suivantes.

$$X = \frac{(X_{\min} - X_{\max})}{2}$$

$$Y = \frac{(Y_{\min} - Y_{\max})}{2}$$

$$Z = \frac{(Z_{\min} - Z_{\max})}{2}$$

Cela nous donne les coordonnées du point médian entre deux autres points (A et B) en trois dimensions.

$$M = [x; y; z]$$

Une fois l'objet pris, il va suivre le même mouvement que la main (comme dans la réalité).

4.3. Détection tiges => trous

Pour tester si une tige a été placée dans le bon trou, on utilise plusieurs objets. Tout d'abord le trou en lui-même pour avoir la position et ensuite deux plaques de

détection situées respectivement en haut et au milieu du trou (voir figure 18 et 19). Les collisions entre les tiges et ses deux plaques étant désactivées, si la tige passe au travers, une variable propre à la plaque va changer d'état pour indiquer que la tige la traverse. Dans le programme principal, on va récupérer et tester l'état des variables des deux plaques du trou en question afin de savoir si la tige est dans le trou ou non. Il faut aussi que le tag de la tige (une variable propre à l'objet) soit « libre » ce qui veut dire qu'on ne soit plus en train de la pincer. Le fait de mettre deux plaques de détection permet de forcer l'utilisateur à amener la tige avec un angle minimal et donc à se rapprocher le plus possible du Purdue Pegboard Test.

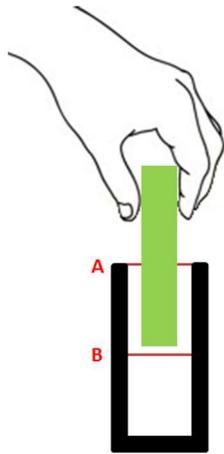


Figure 18 : Tige droite

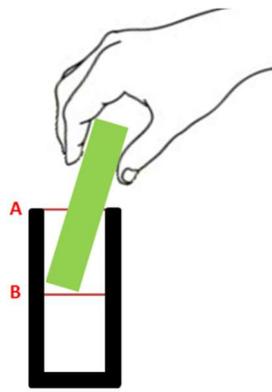


Figure 19 : Tige penchée

5. VirtualPPT (version 2)

Cette deuxième version a été créée suite à la première. En effet, il était difficile d'attraper les tiges et les amener jusqu'aux trous et ce, parce que gérer la préhension et la prosupination en même temps n'est pas une chose évidente. Il a donc été décidé de réaliser cette deuxième version en séparant la préhension et la rotation à l'aide de deux tests séparés qui évalueraient chacun un des aspects. Cela permet de rendre le test plus accessible à tous, plus simple à gérer, et ne change pourtant pas le véritable but du test réel. Car on doit effectuer les mêmes types d'actions, et donc cette deuxième version évalue de la même manière même si cela peut sembler différent.

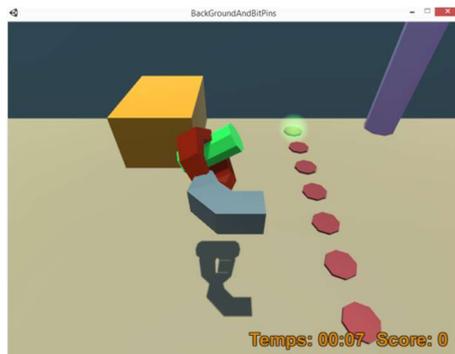


Figure 20 : Mode "Tourner" gauche de VirtualPPT2

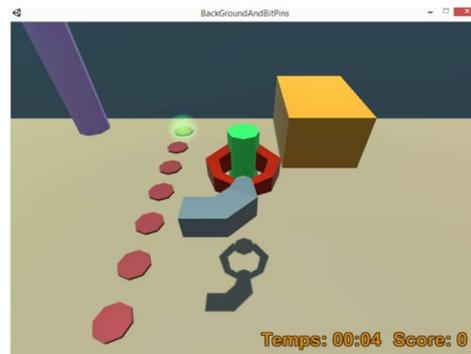


Figure 21 : Mode "Attraper" droite de VirtualPPT2

On peut voir sur les figures 20 et 21, respectivement le mode « Tourner » et le mode « Attraper » de cette application. Dans le premier mode, la tige apparaît sur le support et elle est attrapée automatiquement dès qu'on s'en approche. Cependant, une rotation aléatoire est appliquée à la main et l'utilisateur doit donc lui-même tourner la main afin de corriger la rotation et amener correctement la tige (perpendiculairement au trou).

Dans le second mode (attraper), il faut aller chercher la tige et effectuer l'action de pincement afin de pouvoir la saisir. Les rotations seront nulles et la main ainsi que la tige resteront perpendiculaire pendant tout le test.

On voit bien dès lors que chaque test fait intervenir un des deux aspects, séparément de l'autre, évoqués plus haut, à savoir prosupination et préhension.

Le menu du jeu/test permet de choisir dans quel mode on veut aller, avec qu'elle main, de choisir entre un mode test (chronométré) ou un mode entraînement (aucune limite de temps), ainsi que la sensibilité (dans le cas où le pincement poserait problème d'une personne à l'autre).

6. Tests et Résultats

6.1. Suivis de trajectoires

Vers la fin du développement de l'application DataTrackLM, j'ai effectué des simples tests afin de vérifier si l'enregistrement des données s'effectuait correctement et aussi pour montrer une première utilisation des données dans le fichier CSV. J'ai donc dessiné des formes géométriques simples avec mes doigts au-dessus du Leap Motion (plan « XZ ») pendant une phase d'enregistrement. J'ai

ensuite utilisé les données générées pour réaliser des graphiques selon les axes «X» et «Z». Les formes choisies étaient un cercle, un triangle et un carré. On peut voir la trajectoire du cercle sur la figure 22.

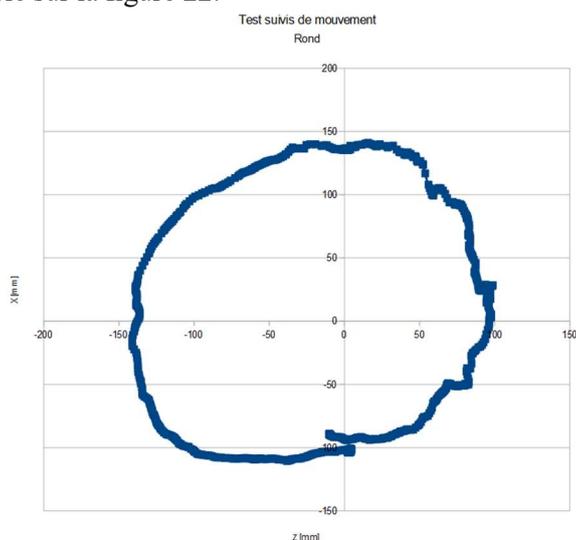


Figure 22 : Trajectoire circulaire

Ces trois tests ont été réalisés à l'aide d'une structure faite de bois et de plexiglass afin de garantir la même hauteur tout au long de la trajectoire de l'index pendant l'enregistrement. Le but premier de cette structure était d'offrir une limitation physique pendant le test virtuel. En effet, il n'existe aucune limitation physique lors du test virtuel, et le patient n'a aucun repère de hauteur contrairement à la planche en bois dans le Purdue Pegboard Test. L'idée était de réaliser une limitation physique pour le test virtuel tout en entravant pas le Leap Motion et en offrant un repère physique au patient pendant le test. Il y a une encoche prévue pour placer le Leap Motion au centre et en dessous de la plaque transparente. Sa taille a été déterminée selon les dimensions de la planche du Purdue Pegboard Test.

Pour ce qui est des tests réalisés par une étudiante en kinésithérapie dans le cadre de son TFE [1], ils ont pu démontrer plusieurs choses. Tout d'abord, des corrélations entre le test réel (le Purdue Pegboard Test) et le test virtuel (l'application VirtualPPT dans sa seconde version). Pour les tests, une population de 85 enfants sains et 11 enfants IMC, âgés de 6 à 14 ans, a été sollicitée.

« Chez les enfants sains, une corrélation significative et modérée est globalement observée entre les scores réels et les scores virtuels des deux modes ainsi qu'entre les scores virtuels des deux modes. Aucune relation significative n'a été trouvée entre le score réel de la main dominante et le score virtuel du mode « **Attraper** ».

Chez les enfants IMC, pour les deux mains, aucune relation significative n'a été observée entre le score réel et le score virtuel du mode « **Attraper** », lequel n'était également pas corrélé au score virtuel du mode « **Tourner** ». A contrario, une corrélation significative élevée a été observée, pour la main dominante, entre le score réel et le score virtuel du mode « **Tourner** » ; une relation significative modérée a également été trouvée, pour la main non dominante, entre les mêmes scores. Ces résultats semblent indiquer que le mode « **Tourner** » du test virtuel mesure une variable plus proche de la variable mesurée par le Purdue Pegboard Test que le mode « **Attraper** », et ce, particulièrement pour la main non dominante. » [1]

On peut voir un des résultats de ce test sur la figure 25. Il montre la corrélation entre test réel et virtuel chez les enfants IMC pour la main non-dominante.

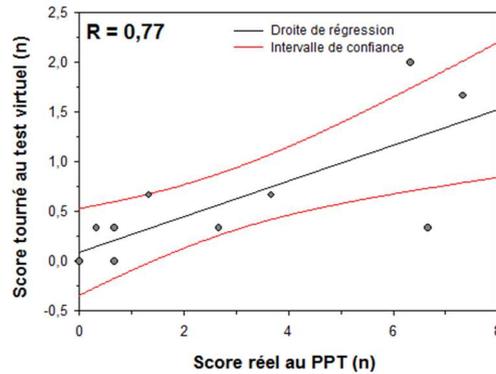


Figure 24 : Corrélation chez les enfants IMC entre le score au Purdue Pegboard Test et le score au VirtualPPT version 2 pour la main non dominante

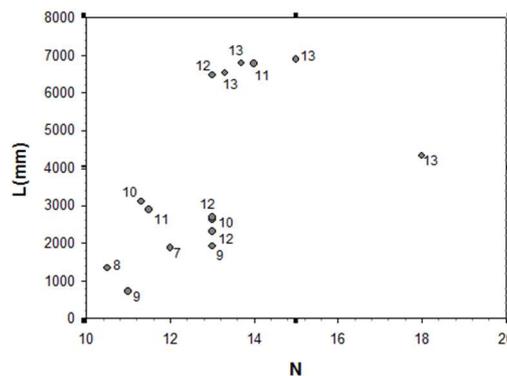


Figure 25 : Relation entre le nombre moyen de tiges (N) et la longueur totale de déplacement de la paume (L)

Ensuite, un des tests permet de voir le nombre moyen de tiges mises au Purdue Pegboard Test en 30 secondes avec la longueur de déplacement totale de la paume.

L'application DataTrackLM a été utilisée ici conjointement avec le Purdue Pegboard Test afin de récolter des données relatives au test réel. On peut voir le résultat sur la figure 25. Le nombre à côté de chaque point fait référence à l'âge du sujet.

7. Conclusions et Perspectives

La première application, DataTrackLM, fonctionne et est relativement facile d'utilisation. De plus, l'utilisateur peut régler à sa guise les différents paramètres d'un enregistrement et des fichiers CSV qui seront générés (Fréquence d'acquisition, points, information supplémentaire, etc). L'application permet également une visualisation des mains détectées, et de deux points au choix (un par mains) sur des graphiques « XY » et « XZ » (avec affichage des coordonnées). Cette application pourrait cependant être améliorée par l'ajout de fonctionnalités permettant de lire et d'utiliser les fichiers CSV générés afin d'en faire des graphiques et des analyses statistiques rapidement et simplement (liste de graphiques et analyses types, choix des axes et grandeurs, etc).

La seconde application, VirtualPPT, dans sa première version fonctionne et reflète bien les différentes manipulations à effectuer lors du Purdue Pegboard Test. Les manipulations sont quelque peu différentes, dû à l'environnement virtuel, mais le but du test virtuel reste le même que le test réel. A savoir attraper des tiges à un endroit précis, les amener jusqu'au trou et les lâcher ensuite. L'application a cependant besoin d'amélioration au niveau de la préhension.

En effet la préhension virtuelle n'est pas une chose évidente à reproduire et si elle comporte certains défauts, l'utilisateur le ressentira car ça ne se comportera pas comme ça le devrait en réel. Un point qui a été évoqué plus tôt est la différence entre les limitations physiques réelles et virtuelles. En effet, dans le monde virtuel on peut passer la main à travers l'objet modélisant le sol, ce qui ne pourrait être le cas en réel. C'est pour cela qu'un support pour le test virtuel a été réalisé. Il s'agit simplement d'une structure en bois pouvant accueillir le Leap Motion en son centre, et disposant d'une plaque en Plexiglass à environ 15 cm au-dessus de celui-ci. Cela pour donner une limite physique correspondant au sol virtuel et empêchant ainsi de passer au travers du sol. On peut aussi noter que la première application pourrait être utilisée conjointement avec le Purdue Pegboard Test réel. On disposerait ainsi d'une troisième façon de réaliser ce test : une version réelle mais avec enregistrement des données. C'est ce qui a d'ailleurs été fait durant les tests réalisés par l'autre étudiante [1]. Cette application mériterait donc plus d'amélioration interne et de tests afin de reproduire le plus fidèlement la préhension dans le monde virtuel en 3D. Cela augmenterait grandement le ressenti et la prise en main des utilisateurs.

La deuxième version de l'application VirtualPPT a été utilisée pour réaliser des tests de comparaison entre un test virtuel et le Purdue Pegboard Test, test réel. Les tests ont pu démontrer que l'application permet de faire la différence entre un enfant sain et un enfant IMC. Elle a également permis de mettre en valeur le ressenti des enfants sur la difficulté et l'aspect ludique des deux tests (virtuel et réel) au travers d'un questionnaire. Ce questionnaire démontre que le test virtuel n'est pas jugé plus ludique que le test réel.

De plus, dans sa version actuelle, le test virtuel est jugé plus difficile que le test réel. On peut dès lors espérer qu'une adaptation de la difficulté de l'épreuve virtuelle permettra d'augmenter le caractère ludique de cette dernière. Cette application pourrait être améliorée en la rendant paramétrable : d'autres scènes 3D, nombre, taille et espacement des trous, etc.

La capture et l'analyse des mouvements humains liés au domaine médical est en expansion grâce aux technologies récentes. Plusieurs études ont déjà été menées, et plusieurs sont en cours actuellement [3], [4]. C'est donc un domaine prometteur pouvant aider patient, praticien et améliorer les diagnostics et techniques actuelles sur des troubles divers (IMC, TMS) bien présents de nos jours.

8. Sources

- [1] FABULUS Alysson, *Pertinence du Leap Motion comme outil d'évaluation de la dextérité digitale fine chez les enfants sains et IMC*, Montignies-Sur-Sambre, Travail de fin d'étude, HELHa, 2017.
- [2] ESTIEVENART Wesley, *Implémentation d'un test médical dans un environnement 3D virtuel et réalisation d'une application d'enregistrement de données*, Mons, Travail de fin d'étude, HELHa, 2017.
- [3] CERISIC, (Consulté le 19/09/2017), *DYSKIMOT*
Adresse URL : <http://www.cerisic.be/?projet=developpement-dun-systeme-multitaches-immersif-et-low-cost-denregistrement-et-analyse-de-donnees-cinematiques-en-vue-de-levaluation-de-dyskinesies-motrices-et-de-leur-prise>
- [4] CERISIC, (Consulté le 19/09/2017), *TRACKTMS*
Adresse URL : <http://www.cerisic.be/?projet=developpement-dun-environnement-non-intrusif-de-mesures-ergonomiques-visant-a-la-prevention-de-lapparition-de-troubles-musculo-squelettiques>