

Bachelor of Science HE-ARC in Engineering
Espace de l'Europe 11
CH-2000 Neuchâtel

Bachelor of Science HES-SO in Engineering

Orientation : Développement Logiciel et Multimédia (DLM)

Travail de Bachelor N°228

Fait par :

Gabriel Griesser

Sous la direction de :
Prof. Dr. Stéphane Gobron
Haute Ecole Arc, HES-SO



Résumé

[FR]

Ce travail de Bachelor est en association avec projet TMS des groupes de développement de la HE-ARC. Ce rapport présente la conception d'une démonstration de l'utilisation de quatre dispositifs haptiques différents : les gants haptiques SenseGlove, Senso, Hi5 et le joystick Falcon. Cette démonstration a pour but d'étudier, d'analyser, d'utiliser et de comparer les capacités des différents matériaux haptiques dans une même application. L'application, développée avec le moteur de jeu Unity, utilise la même structure virtuelle pour chaque dispositif haptique de façon à pouvoir comparer leurs capacités simulation haptique face au même environnement virtuel. Afin d'augmenter l'immersion et le ressenti obtenu, TMS => Gants Haptiques a été développé pour fonctionner dans un environnement virtuel constitué de deux VIVE Tracker et d'un casque de réalité virtuelle HTC VIVE. Ce rapport commence par l'état de l'art qui détaille avec précision le sens du toucher : l'haptique, tant dans le domaine physiologique que dans le domaine technologique. A la suite de ça, les spécifications du projets ont été détaillées. Finalement, la partie conception de ce rapport décrit en détail le déroulement de la démonstration Unity pour chaque matériel haptique. Chaque dispositif haptique est soumis à une analyse, puis à une description de son utilisation dans le projet TMS => Gants Haptiques. Cette description d'utilisation expliquera, en plus de l'utilisation du gant ou joystick utilisé, le ressenti haptique provoqué provoqué par ce dernier. Finalement, une conclusion, qui reprend les différentes performances du matériel, est rédigée pour chaque gant et joystick.

[EN]

This Bachelor's work is in association with the TMS project of the HE-ARC development groups. This report presents the conception of a demonstration of the use of four different haptic devices : the SenseGlove, Senso, Hi5 haptic gloves and the Falcon joystick. The purpose of this demonstration is to study, analyze, use and compare the capabilities of different haptic materials in the same application. The application, developed with the Unity game engine, uses the same virtual structure for each haptic device so that they can compare their haptic simulation capabilities against the same virtual environment. In order to increase the immersion and experience obtained, TMS => Haptic Gloves has been developed to work in a virtual environment consisting of two VIVE Trackers and one HTC VIVE headset. This report begins with the state of the art, which precisely details the meaning of touch : haptics, both in the physiological and technological fields. Following this, the project specifications were detailed. Finally, the design part of this report describes in detail the progress of the Unity project for each haptic material. Each haptic device is subjected to an analysis and then a description of its use in the TMS project => Haptic Gloves. This description of use will explain, in addition to the use of the glove or joystick used, the haptic feeling caused by the latter. Finally, a conclusion, which includes the different performances of the equipment, is written for each glove and joystick.

Table des matières

Remerciements	1
Introduction	3
1.1 Situation initiale	3
1.2 Objectifs	3
1.3 Démarche	4
État de l'art	5
2.1 L'haptique	5
2.2 Technologie haptique	7
2.3 Dispositifs haptiques	8
2.4 Domaines d'activités, recherches et implémentations	10
2.5 En réalité virtuelle	13
2.6 Classification des différents matériaux haptiques pour ce projet	16
2.7 Résumé	19
Spécifications	21
3.1 Unity	21
3.2 Gants SenseGlove	22
3.3 Gants Senso	23
3.4 Gants Hi5 VR Glove	24
3.5 Gants Avatar VR	26
3.6 Joystick Falcon	27
3.7 Finalisation	28
Conception	29
4.1 Configuration de l'environnement virtuel	30
4.2 Menu	30
4.3 Structure des scènes	32
4.4 Boutons	33
4.5 Buts	34
4.6 Gants Sense Glove	35
4.7 Gants Senso	50
4.8 Gants Hi5	60
4.9 Joysticks Falcons	68
Conclusion	79
5.1 Bilan	79
5.2 Ressenti	79
5.3 Limites et contraintes	80
5.4 Domaines d'application des dispositifs	81
Annexes	VII

Remerciements

Je tiens à remercier le Professeur Docteur Stéphane Gobron pour m'avoir confié ce travail de Bachelor.

Je remercie aussi Monsieur Julien Senn qui, en plus de m'avoir toujours fourni le matériel nécessaire, m'a constamment suivi et guidé dans ce projet.

Introduction

1.1 Situation initiale

La réalité virtuelle permet aux utilisateurs de s'immerger dans un autre monde de façon plus ou moins efficace : plus les sens sont crédibles (audio, vision, toucher...) meilleure est l'immersion. De nombreuses études ont montré que les résultats des mouvements d'exploration ont une grande importance sur nos perceptions. Effectivement, de nombreuses informations peuvent être apportées par le toucher. De la texture de l'objet jusqu'à sa forme et sa taille en passant par la température, la dureté du matériau ou encore son poids, toutes ces propriétés résultent donc d'un des cinq sens du corps humain : le toucher. **L'haptique** désigne cette science du toucher. Elle englobe à la fois le toucher et la perception du corps dans l'environnement (phénomènes kinesthésiques).

Dans le domaine de l'informatique, il est maintenant possible de représenter ce sens dans des applications. En effet, des dispositifs haptiques ont été créés grâce à une interface de contrôle (joysticks, manettes avec retour de force, gants haptiques, etc.). Ils sont principalement destinés à l'apprentissage ou réapprentissage de gestes métiers ou de gestes de la vie quotidienne. L'utilisateur est très souvent impliqué physiquement dans un environnement où ses gestes et actions auront un impact direct dans le monde virtuel qui l'entoure.

1.2 Objectifs

Cette étude vient du besoin pour intégrer des dispositifs haptiques au projet TMS.

L'idée du projet est la suivante : une application a été développée sous Unity. Les systèmes de simulation, d'audio et de 3D fonctionnent très bien. Nous souhaitons y rajouter un domaine : **le toucher digital (ou haptique)**. Cet ajout se fera par le biais de cinq dispositifs haptiques présentés sous forme de gants et joystick. L'ensemble de ces cinq servira donc à l'intégration d'un troisième sens pour notre application : l'haptique.



FIGURE 1.1 – Logo Unity

1.3 Démarche

La réalisation de ce travail de Bachelor se déroule en trois étapes.

Premièrement, recherche et commande du matériel ainsi que l'immersion dans l'haptique. Le groupe Imagerie souhaitant investir, une recherche approfondie du matériel est indispensable. Pour ce projet, nous serons en possession de cinq dispositifs haptiques différents, tous compatibles avec le logiciel Unity. La recherche des différents dispositifs est documentée puis présentée aux professeurs responsables afin de commander au plus vite le matériel nécessaire.

Et parallèlement à cette recherche de matériel, il s'agira donc aussi de s'immerger dans le domaine de l'haptique en effectuant une étude à la fois sur la science du toucher et sur les différents dispositifs haptiques existants. La description, les avantages et inconvénients, les problèmes, contraintes et limites de chaque dispositif seront analysés et étudiés.

La deuxième partie du projet sera de se familiariser avec l'utilisation des dispositifs haptiques ainsi qu'avec leurs intégrations dans une application donnée. Cette dernière, développée par nos soins avec le moteur de jeu Unity, offrira une structure adéquate permettant l'intégration des différents gants et joysticks afin de démontrer leurs propriétés haptiques. Le but de cette partie est de tester, intégrer et utiliser les cinq interfaces haptiques à notre disposition. L'intégration doit se faire au mieux afin d'exploiter les caractéristiques de chaque dispositif. La réussite d'une simple preuve de concept permettra déjà d'avoir une représentation de la capacité de l'ensemble de notre matériel haptique et offrira notamment de nombreuses opportunités futures.

La troisième et dernière partie concerne la documentation sur l'intégration et l'utilisation de ces interfaces. Cela correspond à la synthèse écrite de la deuxième partie. Chaque étape d'intégration, difficulté rencontrée et observation est documentée. Ce document permettra à quiconque souhaitant utiliser un de ces dispositifs haptiques de se renseigner sur son fonctionnement.

État de l'art

2.1 L'haptique

En 1966, J. J. Gibson [1] définit cinq systèmes perceptuels distincts : Le système d'orientation de base (qui est responsable du maintien de l'équilibre corporel), le système auditif, le système d'odorat et de goût, le système visuel et l'haptique (le toucher). Le mot haptique est dérivé du mot grec "haptesthai" [2].

Comme décrit dans le chapitre 1.1, l'haptique désigne **la science du toucher**. Dans notre cas, cette dernière décrit les interactions sensorielles entre le réel et le virtuel, entre le doigt et l'écran, entre **l'utilisateur et son monde virtuel**. Cette science ne concerne pas exclusivement le toucher du bout du doigt, mais peut fonctionner avec n'importe quelle partie du corps. Cependant, la première utilisation de l'haptique passe essentiellement par la main et les doigts grâce auxquels nous pouvons interagir, via le toucher, avec le monde qui nous entoure.

L'haptique peut être différenciée en deux catégories de perceptions : la perception cutanée et la perception tactilo-kinesthésiques [3].

- La **perception cutanée** est le résultat de la simulation d'une partie de la peau alors que le segment corporel qui la porte est totalement immobile. Par exemple, lorsque la main est posée sur une table et qu'un objet pointu parcourt sa paume. Le traitement perceptif ne concerne que les informations cutanées liées au stimulus appliqué sur la main.
- La **perception tactilo-kinesthésique** résulte de la stimulation de la peau grâce aux mouvements actifs d'exploration de la main entrant en contact avec des objets. Par exemple, quand la main parcourt un objet pour en définir la forme, la texture ou la taille. C'est cette partie-là qui nous intéressera pour le projet.

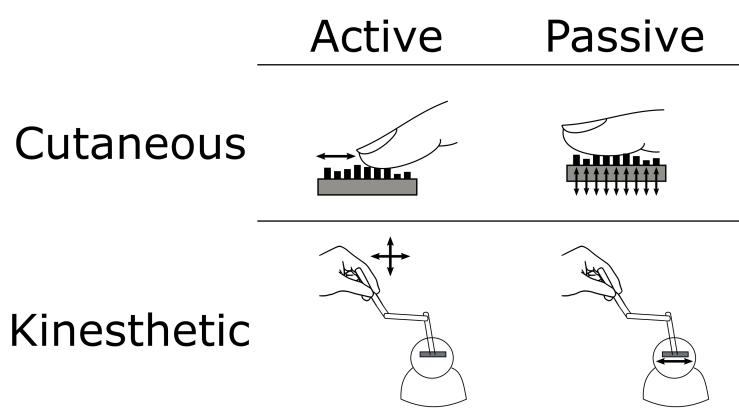


FIGURE 2.2 – Haptique actif et passif [4]

Nous pouvons également identifier des procédures exploratoires, c'est-à-dire des ensembles spécifiques de mouvement permettant la récolte d'informations en fonction des propriétés auxquelles ils

sont adaptés. Par exemple, le **soulèvement** est lié au **poids de l'objet**, le **frottement** informera l'utilisateur sur la **texture**, et la **pression** donnera la **dureté du matériau**. Et enfin, nous avons le **contact statique** qui informe plus généralement sur la **température** mais aussi sur la **taille**, la forme, la texture et la dureté de l'objet. Chacune de ces actions est optimale pour la perception recherchée. Par exemple, le frottement latéral nous donnera un meilleur ressenti de la texture que le contact statique. Idem pour le soulèvement qui est le meilleur moyen pour se faire une idée sur le poids d'un objet [5, 6].

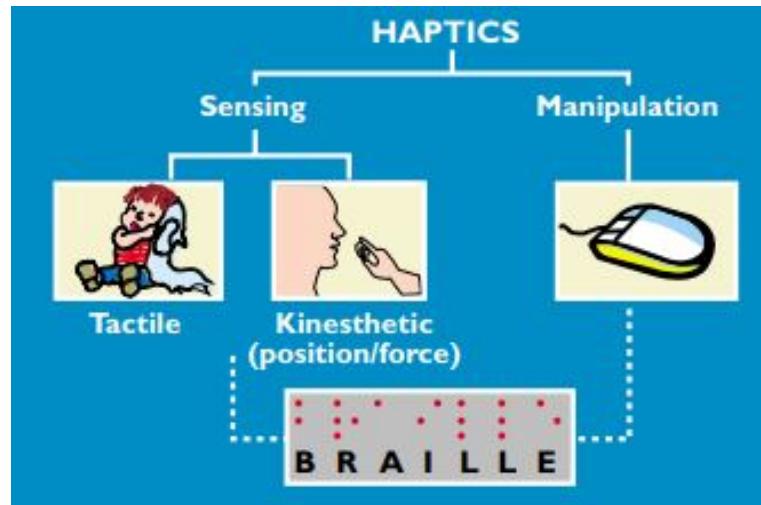


FIGURE 2.3 – Définition de l'haptique [7]

2.2 Technologie haptique

La technologie haptique est une rétroaction tactique qui tire parti du sens du toucher de l'utilisateur en lui faisant ressentir des forces, des vibrations et des mouvements par le biais d'une interface. Les technologies haptiques sont, pour le moment, souvent utilisées pour ressentir un contact lors de manipulation d'objets dans un monde virtuel en 3D. A court terme, cette technologie permettra aux utilisateurs de s'immerger dans leurs environnements virtuels souvent visualisés grâce à un casque de réalité virtuelle.

Parallèlement à cette utilisation, cette technologie peut être tout aussi bien exploitée dans des cas réels en faisant abstraction d'un monde virtuel. Par exemple, la société Apple a développé sa technologie « 3D Touch », une nouvelle dimension du tactile grâce à un ajout de capteurs de pression situés sous l'écran [8]. A défaut des systèmes visuels et auditifs existants, les **interfaces haptiques** permettent une **perception couplée à une interaction avec le milieu virtuel** [9]. Encore en plein développement, ces dispositifs s'approchent avec difficulté d'une restitution fidèle des sensations tactiles [10]. En effet, la diversité et la complexité des sensations tactiles humaines sont encore difficilement reproductibles dans leurs totalités par l'outil informatique.

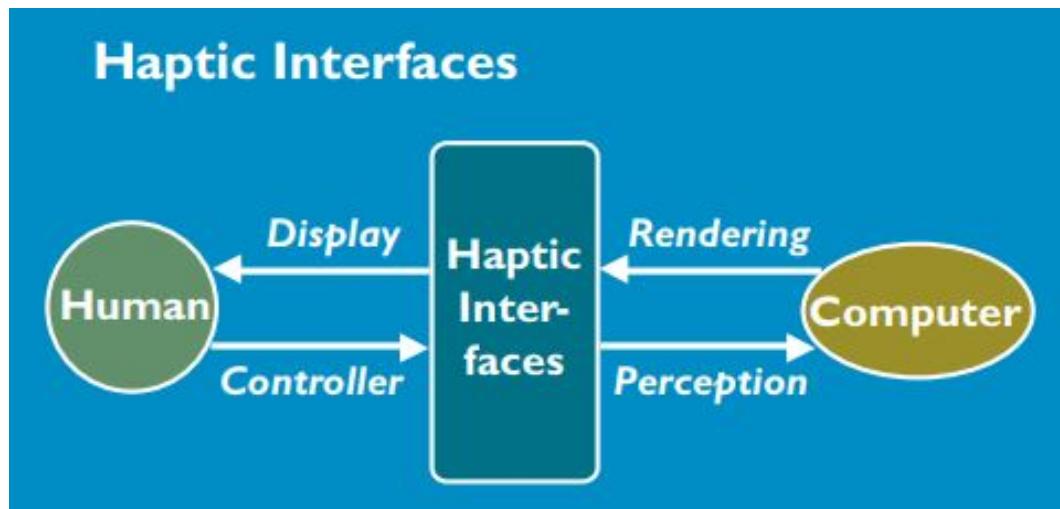


FIGURE 2.4 – Techolologie haptique représentée par une interface [7]

2.3 Dispositifs haptiques

L'idée d'utiliser le toucher comme moyen de communication a été popularisée par Craig et Rollman (1999) et Sherrick (1985) :

"Our understanding of how simple patterns combine to yield the complexity needed to increase channel capacity for continuous information streams is still primitive." [6]

Dans le cadre de la réalité virtuelle, il est maintenant possible de représenter le toucher en liaison directe avec une application. Des dispositifs haptiques ont été créés grâce à une interface de contrôle comme le joystick, la manette avec retour de force, la paire de gants haptiques mais aussi les vêtements et les combinaisons haptiques. Pendant de nombreuses années, les seuls dispositifs de retour haptique pour la main ont été le CyberGrasp™ d'Immersion Corp (maintenant CyberGlove Systems) [11, 12] et le Master II de Rutgers University [13]. Aucun d'entre eux n'a connu de succès commercial.



FIGURE 2.5 – Gant CyberGrasp



FIGURE 2.6 – Gant Rutgers Master II

Les gants haptiques actuels sont des systèmes tactilo-kinesthésiques physiques ou mécaniques permettant de créer une communication entre un humain et son environnement virtuel. Cette communication permet aux utilisateurs de concevoir, modeler et manipuler des objets non existants mais représentés de manière fidèle. Certains matériels de jeux-vidéos utilisent le retour de force qui est utilisé comme retour sensoriel dans les systèmes de réalité virtuelle.

Les interfaces haptiques sont divisées en deux catégories principales [14] :

- Le retour de force
- Le retour tactile

Le retour de force concerne les interfaces utilisées pour explorer et modifier des objets distants/virtuels en trois dimensions physiques dans un environnement virtuel. Cette première catégorie est souvent utilisée dans des applications telles que la conception assistée par ordinateur, la chirurgie assistée par ordinateur et l'assemblage assisté par ordinateur. Les interfaces offrant un système de retour de force sont principalement représentées sous la forme d'exo-squelette permettant ainsi la simulation de forces appliquées à divers endroit du matériel. C'est grâce à ce système que l'utilisateur pourra ressentir la taille, la dureté du matériau mais aussi le poids de l'objet.

Le retour tactile lui, est une caractéristique présente dans les interfaces possédant une couverture textile, souvent représentées sous la forme de gants traditionnels, qui permet de traiter des propriétés de surface telles que la rugosité, la température et la douceur de l'objet. Ces propriétés sont traitées grâce à la composition textile et matérielle du dispositif haptique.

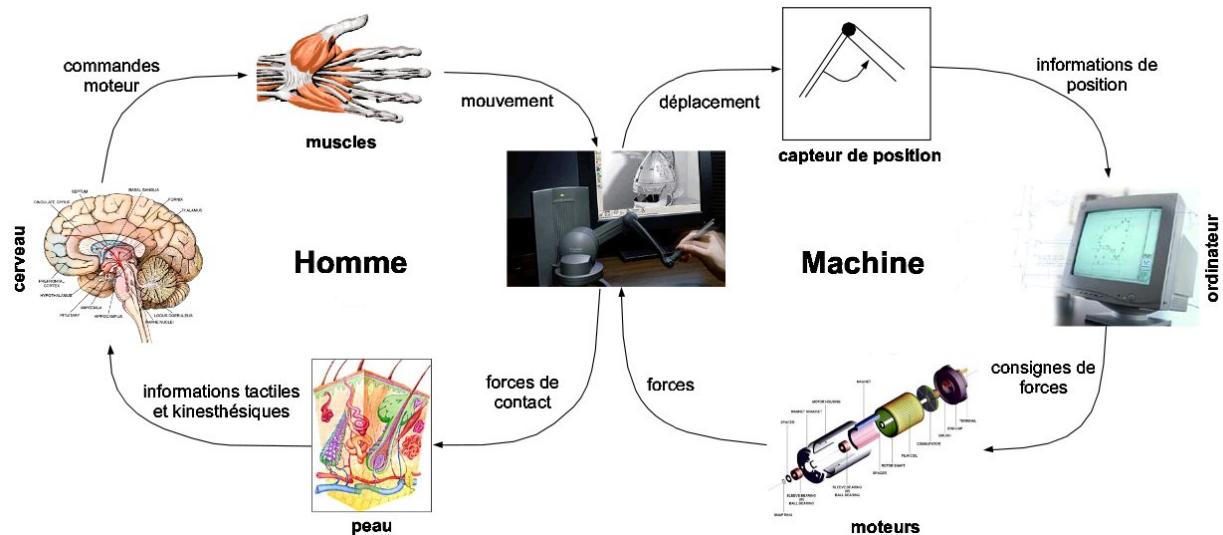


FIGURE 2.7 – Configuration basique des dispositifs haptiques. Casiez, 2004

Comme schématisé dans la figure 2.6, le système haptique se compose principalement de deux parties :

- Partie humaine
- Partie machine

La partie humaine est responsable du contrôle de la position et de la rotation des mains et des doigts, pendant que la partie machine applique les forces sur la main ou sur les doigts de manière à simuler le contact avec un objet réel le plus fidèlement possible. Les deux systèmes sont équipés de capteurs, processeurs et actionneurs. La machine verra ces fonctions assurées par les codeurs, l'ordinateur et les moteurs. Respectivement, dans le cadre du système humain, les récepteurs nerveux situés sur la peau effectuent la détection de l'objet, le cerveau analyse les données transmises, effectue leurs traitements et en retour, les muscles se chargent de la motricité en réalisant le mouvement [9, 14]. Afin de bien différencier les différentes propriétés de la partie machine, nous pouvons distinguer trois performances :

- La stabilité
- La transparence
- La résolution de position

La stabilité correspond à la capacité de reproduction d'un objet, d'un mur ou d'un obstacle virtuel de telle sorte que l'utilisateur ne puisse ni le traverser, ni « l'endommager ». Le dispositif doit avoir la capacité de reproduire une raideur de contact. Cela est ressenti au niveau sensoriel par le retour de force dans la plupart des gants haptiques.

La transparence est la qualité qui permet à l'utilisateur d'oublier qu'il est muni d'un matériel haptique lorsqu'il manipule des objets virtuels. Il doit idéalement pouvoir plonger dans son environnement virtuel sans ressentir la dynamique de l'interface haptique. C'est-à-dire que le poids, le frottement, l'inertie, la facilité de mouvement, etc. du dispositif haptique ne doivent pas être perçus par l'utilisateur.

Et enfin, la résolution de position vise la précision du dispositif. Elle est définie par la plus petite quantité de mouvement grâce à laquelle les capteurs détectent un changement de position. Une bonne résolution de la position est un paramètre important dans la démonstration de la rigidité des murs virtuels.

2.4 Domaines d'activités, recherches et implémentations

La technologie haptique promet d'avoir de vastes applications comme elle l'a déjà fait dans certains domaines. Par exemple, cette technologie a permis d'étudier en détail le fonctionnement du sens du toucher humain en permettant la création d'objets virtuels haptiques soigneusement contrôlés.

La perception et l'interaction entre une personne et son environnement virtuel intéressent des grandes entreprises telle que Bosch ou le centre de recherche Disney Research dans le cadre de nombreux domaines d'activité. Par exemple, dans l'automobile, un clic sur un bouton tactile permettrait de ressentir la même sensation que lors d'un clic sur un bouton réel. Le conducteur aurait donc moins besoin de regarder l'écran et cela améliorerait sa sécurité.

En 2013, Disney a travaillé sur une technologie nommée Aireal [15]. Ce système permettait une rétroaction haptique sans contact grâce à l'utilisation d'anneaux vortex d'air. Selon Disney, Aireal aide les utilisateurs à expérimenter des textures et à « toucher » des objets virtuels en 3D dans un espace libre, le tout sans avoir besoin de gant ou de dispositif haptique physique.



FIGURE 2.8 – Système de Vortex pour Disney Aireal [15]

Dans un tout autre domaine, l'industrie pornographique, la société Kiiroo a développé des accessoires masturbatoires connectés pour homme et femme. Ces objets haptiques, directement connecté à un casque de réalité virtuelle, permettent à leurs utilisateurs un ressenti plus réel qu'une simple image couplée à un son.

En robotique, le Shadow Hand [16] utilise le sens du toucher, de la pression et de la position pour reproduire la force, la délicatesse et la complexité de la prise manuelle. Développé par une équipe d'ingénieurs à Londres, le programme continu d'être le sujet de recherches et de développements dont le but est de compléter le premier humanoïde artificiel convaincant. On peut voir un premier prototype dans la collection de robots humanoïdes de la NASA [17].



FIGURE 2.9 – La main Shadow C6M Smart Motor devant la main Shadow C3 Dexterous Air Muscle



FIGURE 2.10 – Le Robonaut 2 de la Nasa peut soulever des poids d'environ 9kg

La technologie haptique est très intéressante aussi dans le domaine de la médecine et de l'apprentissage ou rééducation de gestes professionnels liés à un métier ou de gestes de la vie quotidienne. Le patient utilisateur est impliqué physiquement dans un processus de réapprentissage où ses gestes et actions auront un impact direct dans l'environnement virtuel [18, 19]. L'accessibilité à ce domaine pour les personnes handicapées est un outil supplémentaire pour leur réadaptation comme le montre cette étude [20] liée aux personnes non-voyantes.



FIGURE 2.11 – Prototype d'un système de réhabilitation basé sur l'haptique [21]

En médecine, des scientifiques ont tenté avec succès l'utilisation d'un dos haptique virtuel dans le programme d'études de l'Ohio augmentant ainsi les qualités palpatoires du praticien (médecin, physiothérapeute, ostéopathe) [22]. Aussi, les interfaces haptiques dans l'apprentissage chirurgical par simulation peuvent s'avérer particulièrement utiles lors d'interventions peu invasives comme la laparoscopie, la radiologie interventionnelle [23] ainsi que la chirurgie à distance [24]. Un avantage particulier de ce type de travail est que les chirurgiens peuvent effectuer plus d'opérations avec un stress et une fatigue moindres.



FIGURE 2.12 – L'haptique peut simuler la sensation de différents types de tissus [25]

2.5 En réalité virtuelle

Dans le domaine de l'informatique, tout est visualisé par une interface affichant ce que le programmeur a créé. Ce monde virtuel est en opposition avec le monde qui nous entoure. En informatique, l'appellation haptique est utilisée pour des interfaces qui renvoient la perception du toucher à l'utilisateur.

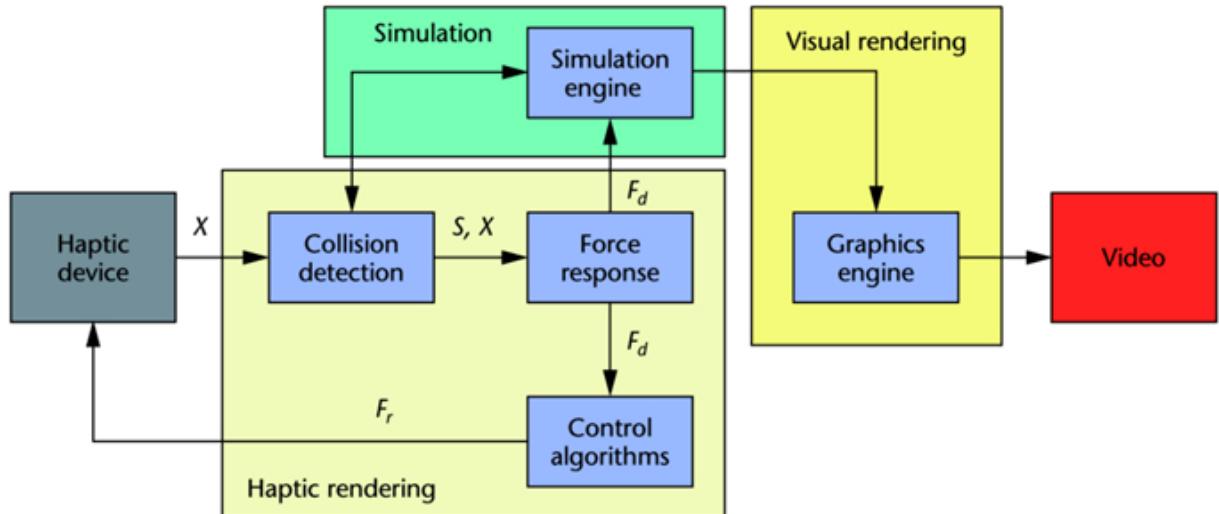


FIGURE 2.13 – Diagramme de blocs d'un système haptique [26]

La figure 2.12 est constituée de trois blocs. Le rendu haptique (haptic rendering), le rendu visuel (visual rendering) et la simulation. Le rendu haptique est lui-même divisé en trois blocs [14, 27].

L'algorithme de détection de collision : détecte la collision entre l'objet virtuel et l'utilisateur pour renvoyer les informations.

L'algorithme de réponse de force : calcule les interactions entre les objets virtuels et l'utilisateur quand une collision est détectée. [28]

L'algorithme de contrôle : sert de contrôleur pour commander le dispositif haptique afin de minimiser les erreurs entre un retour de force idéal et un retour de force immersif. [29]

De tous les dispositifs de réalité virtuelle, le gant haptique est à la fois le plus recherché et le plus complexe à développer [30]. En effet, chaque humain a non seulement une taille et une forme de main uniques, mais aussi une paire de mains qui n'est ni identique ni symétrique. De plus, la main est l'une des parties les plus sensibles du corps. Elle est capable de percevoir des détails subtiles mais peut aussi développer une force importante [30].

En informatique et plus précisément dans le cadre des gants haptiques, il est important de distinguer le toucher **tactile** du toucher **kinesthésique**. Les dispositifs à retour tactiles tentent de recréer la sensation d'une forme, d'une texture ou même des propriétés thermiques d'un objet virtuel. Les dispositifs à retour kinesthésiques appliquent des forces directement sur la main de l'utilisateur. Ils créent une impression de mouvement et/ou de résistance à travers les muscles. Ces deux sensations tactile et kinesthésique sont également présentes lorsqu'on touche un objet dans la vie réelle [30].

Les principales exigences de l'utilisateur d'un gant haptique sont les suivantes : le gant doit fournir un retour tactile et kinesthésique, il doit être léger, ergonomique et ne doit pas entraver les mouvements naturels des doigts [30]. Étant donné la nécessité de la production en grand nombre pour atteindre un prix de marché acceptable, les gants doivent soit s'adapter à une taille et une forme arbitraire de la main type standard, soit être adaptés à différents utilisateurs grâce à une sélection de tailles différentes pour les gants. Malgré des tailles différentes, cela reste compliqué car les actionneurs ou capteurs doivent être placés très précisément par rapport à l'anatomie de l'utilisateur, toujours dans le but de ressentir avec le plus de finesse et d'exactitude possible l'objet virtuel. Dans le cadre de gants textiles, il est facilement réalisable de faire des gants de tailles différentes (exemple : Hi5 VR Glove [31]). Par contre, pour les gants exo-squelettiques, il n'existe pas de tailles différentes, c'est un seul modèle standard (exemple : SenseGlove [32] ou HaptX [33]).



FIGURE 2.14 – Gant Hi5 VR Glove (ancien design)



FIGURE 2.15 – Gant SenseGlove

Une autre difficulté à propos des matériels haptiques concerne les caractéristiques de chaque interface. En effet, ces dernières étant développées par des entreprises différentes et possédant des propriétés différentes, les résultats ne seront pas les mêmes pour une même application donnée.

Par exemple : Je possède une application de lancer de pierre. La pierre pèse 6kg, a une température ambiante de 15 degré celsius et possède une texture lisse.

Avec des gants **HaptX Glove** [33], je pourrais sentir la taille, poids, forme, température de la pierre et la prendre en main avec un ressenti de rigidité proche de la perfection. Cependant, ces propriétés sont mises au profit d'une ergonomie moins bonne étant donné la taille des gants et la connexion par câble pouvant limiter mon mouvement de lancer.

A contrario, si j'utilisais les **AvatarVR** [34], je ne ressentirais ni la température, ni la dureté du matériau. J'aurais, par contre, toujours la sensation d'avoir un objet lisse dans la main grâce au retour haptique et pourrais le lancer avec autant d'aisance que je le souhaite grâce à la connexion sans fil de ces gants.

Avec des **Falcon** [35], je n'obtiens pas un ressenti de la pierre elle-même dans ma main mais je pourrais ressentir son poids, propriété que les gants cités ci-dessus n'offrent pas. En dépit de cela, ces interfaces sont représentées sous forme de joystick et donc « cassent » l'immersion dans le monde virtuel.

Une étude et une comparaison ont été faites dans un centre de recherche informatique entre les gants haptiques Rutgers Master II et les CyberGrasp. L'étude consistait à utiliser les gants Rutgers Master II afin de tester leurs caractéristiques et propriétés de retour haptique pour ensuite les comparer avec les gants CyberGrasp [13].

Variable	RMII-ND Haptic Glove	CyberGrasp Haptic Glove
Sensing		
Sensor placement	Built into actuators	Separate sensing glove
Sensor type	Non-contact (IR and Hall effect)	Resistive bend sensors
Sensor linearity	0.6% over full range	0.6% over full joint range
Sensor resolution	0.1 deg (Hall-eff); 0.3mm (IR)	0.5 degree
Sensor update rate	435 records/sec	112 records/sec
Interface	RS232 (115 kbaud max)	RS232 (115 kbaud max)
Force Feedback		
Maximum continuous force	16 N per finger (no force at pinkie)	12 N per finger (all fingers)
Minimum force	0.014 N (static actuator friction)	No data available
Force resolution	12 bit	12 bit
Actuator type	Pneumatic (direct drive)	DC Electric and cables
Bandwidth	500 Hz for control, 10 Hz at fingertip	No data available
Work-space	2 meter radius hemisphere	1 meter radius hemisphere
Exoskeleton weight	80 g	350 g
Finger range	Limited	Full hand closing
Safety	Actuator range	Adjustable mechanical stops
Size	One size fits most	One size fits most
Sensor update rate (angles and forces)	346 records/sec	No data available
Communication interface	RS232 (115 kbaud max)	RS232 (115 kbaud max)

FIGURE 2.16 – Tableau de comparaison entre les CyberGrasp et les Rutgers Master II

La conclusion de cette comparaison rejoint sur beaucoup de points notre étude sur les différentes propriétés des gants haptiques. Nous remarquons ainsi que la capacité de retour de force, que le poids, la portée des doigts et quelques autres propriétés n'étant pas les mêmes sur les deux gants, le ressenti et l'immersion provoqués sont totalement différents. Également basé sur une autre étude [30], nous observons que quelque que soit le gant utilisé dans une application, les résultats ne seront jamais parfaitement identiques à une deuxième paire malgré des caractéristiques sensiblement identiques.

2.6 Classification des différents matériaux haptiques pour ce projet

Pour simplifier l'analyse, la classification suivante sera utilisée durant ce travail.

- Gants traditionnels
- Gants exo-squelettiques
- Joysticks

Bien que les différentes classes partagent les mêmes objectifs et contraintes, les trois catégories suivent des approches technique très différentes [30]. Les sections suivantes décrivent ces catégories ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Les **gants traditionnels** sont des gants relativement ergonomiques grâce à leur composition textile. Ils sont faits d'un tissu souple, généralement élastique, ils épousent la forme de la main et permettent aux doigts de bouger individuellement. Des capteurs de flexion et des actionneurs à retour haptique sont soit cousus dans le tissu, soit fixés à l'intérieur de ces gants. Les capteurs permettent de retranscrire la flexion des doigts alors que les actionneurs envoient une impression de résistance par le biais de retour haptique. La conception de ce type de gants est soumise à plusieurs problèmes :

Premièrement, les capteurs et actionneurs doivent être suffisamment petits afin de s'adapter à l'intérieur du tissu. Ils doivent à la fois être placés très près des doigts et à la fois se faire oublier lors de l'utilisation du gant.

Ensuite, les mouvements de l'utilisateur doivent être limités le moins possible. L'ensemble de l'équipement (gants, câble, connexion, etc.) doit donc être flexible et ergonomique. Cela inclus la taille et le poids du gant : un gant non câblé et plus léger, couplé à un casque de réalité virtuel, se fera oublier lors d'une utilisation dans un environnement virtuel.

Finalement, le gant doit pouvoir supporter de grandes déformations, c'est-à-dire supporter les étirements provoqués lorsqu'on l'enfile et qu'on le retire. Ces déformations subies par le gant ne doivent ni endommager sa structure ni affecter son fonctionnement.



FIGURE 2.17 – Gant traditionnel Avatar VR

Un **gant exo-squelettique** est une structure articulée que l'utilisateur porte sur sa main et qui transmet directement les forces aux doigts. Contrairement aux gants traditionnels, ces gants exo-squelettiques n'adoptent pas la même cinématique que les doigts car cela demanderait pour chaque utilisateur un ajustement très précis de la longueur des segments. A la place, ils possèdent une structure parallèle aux doigts sur l'extérieur de la main. Cette structure est composée d'un certain nombre de liaisons intermédiaires reliant l'exosquelette aux différentes phalanges de la main.

Le grand avantage de ces gants repose sur le retour de force. En effet, la structure exo-squelettique venant se poser par-dessus la main et les doigts, elle offre une sensation haptique bien plus puissante et réaliste que de simples gants. Quand des gants traditionnels simuleront le toucher par des vibrations ou une légère résistance à chaque doigt, les gants exo-squelettiques peuvent aller jusqu'à bloquer les doigts de l'utilisateur pour simuler le toucher. Un retour de force aussi puissant est obtenu par les liaisons reliant chaque phalange à l'exosquelette. Bien entendu, il faut se prêter au jeu et ne pas essayer de « casser » ce retour de force en exerçant une trop grande pression. Même avec un gant exo-squelettique, il sera dans certains cas aussi possible de ressentir la rigidité de l'objet, sa température et également son poids ainsi que d'autres propriétés.

Malgré leurs capacités, quelques contraintes sont à noter pour les utilisateurs. La principale concerne l'ergonomie. Effectivement, les gants exo-squelettiques sont souvent bien plus lourds et plus dérangeants que de simples gants. Quand pour un gant traditionnel l'utilisateur n'a qu'à l'enfiler, un gant exo-squelettique est soumis à une mise en place plus complexe, allant du juste positionnement sur la main jusqu'à la connexion par câble(s) jusqu'à l'ordinateur. Lors de leurs premières utilisations, ces gants volumineux peuvent déranger le porteur. A l'encontre des gants précédents, ceux-ci ne se font pas facilement oublier lors de leurs utilisations, même couplés à un casque de réalité virtuelle.



FIGURE 2.18 – Gant exo-squelettique HaptX

La troisième catégorie, les **joysticks** diffère totalement des deux premières. Nous ne parlons plus de gants mais de manettes. Ces dernières offrent une sensation et une immersion bien moins grande qu'avec des gants mais permettent toutefois un ressenti, caractérisé par un retour de force conséquent. Avec leurs prises en main aisées, les joysticks sont un des premiers dispositifs utilisés permettant liaison haptique entre l'utilisateur et son environnement virtuel. Ils se présentent sous différentes formes, chacune ayant leurs propriétés et caractéristiques propres. Dans le cadre de notre projet, nous utiliserons les Falcons de la firme Novint [35]. En dépit d'une forme qui peut paraître complexe et douteuse, ce matériel permet une reproduction des gestes en trois dimensions, un ressenti du poids de l'objet (propriété rare dans le domaine de l'haptique) et possède un système de retour de force à l'instar des gants exo-squelettiques.

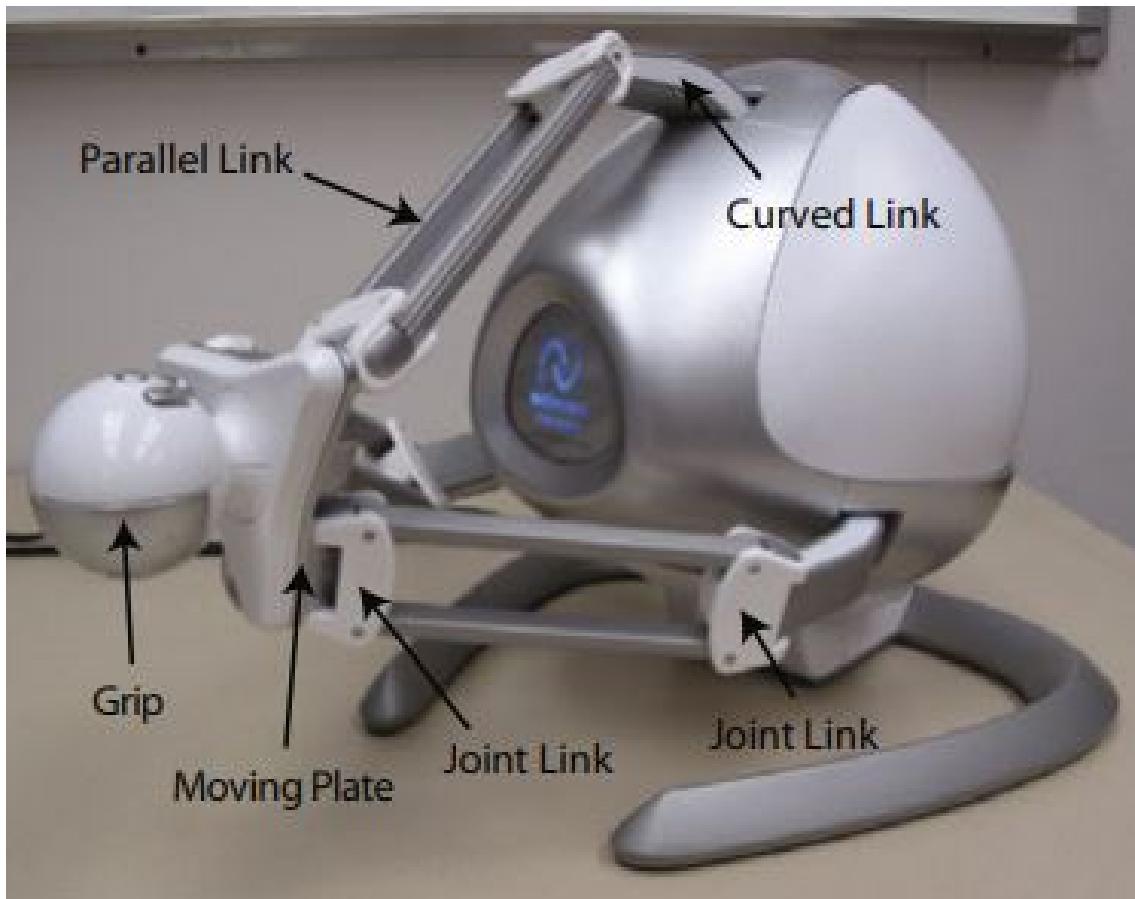


FIGURE 2.19 – Cinématique du Falcon basée sur [36]

Les Falcons ont pendant longtemps été une référence dans le domaine des interfaces haptiques. De nombreuses études ont été menées sur ces dispositifs comme par exemple la création d'un dispositif haptique à 5 degrés de liberté en partant de deux Falcons [37] ou encore la modélisation haptique pour les non-voyant à l'aide du Falcon. [20]

2.7 Résumé

En partant d'une science résultant de l'un des cinq sens du corps humain, le toucher, l'haptique fait, d'une part partie de notre vie quotidienne en nous donnant, grâce à la perception cutanée et tactilo-kinesthésique des informations concernant l'environnement et les objets qui nous entourent, d'autre part, fait aussi partie intégrante d'études et de recherches sur son domaine dans le monde entier. Comme vu dans la section 2.1, l'haptique désigne la science du toucher permettant à l'humain de prendre connaissance du monde qui l'entoure notamment grâce à des procédures exploratoires. Cela concerne le monde réel, mais qu'en est-il du monde virtuel ?

Dans ce deuxième cas, l'haptique désigne les interactions sensorielles entre l'utilisateur et son environnement virtuel, créé avec pour seule limite l'imagination du développeur. Une implémentation de cette technologie haptique, couplée à d'autres sens comme l'audio et la vision, offre une meilleure immersion grâce aux informations apportées par le toucher et, pour des cas comme les serious game ou la médecine, optimise l'apprentissage ou réapprentissage de l'utilisateur. Cette immersion est le résultat d'informations données par des procédures exploratoires comme le soulèvement, le frottement ou encore la pression. Nous pouvons, aujourd'hui, reproduire la texture de l'objet, sa forme, son poids, sa taille, sa température et la dureté de son matériau grâce aux différents dispositifs haptiques.

La technologie haptique, mise au point par le biais d'interfaces haptiques, permet une perception de l'environnement virtuel associée à une interaction avec ce dernier. Ces interfaces haptiques, aussi appelées dispositifs haptiques, sont des systèmes tactilo-kinesthésiques physiques ou mécaniques permettant de créer une communication entre un humain et son environnement virtuel. Avec une capacité de retour de force et/ou de retour tactile, ces dispositifs sont généralement représentés sous trois formes : le gant traditionnel, le gant exo-squelettique et le joystick.

Pour ce projet, un document de comparaison a été réalisé afin d'avoir une vision d'ensemble sur les différents dispositifs haptiques connus à ce jour. Ci-dessous, un tableau récapitulatif de ce document, la version détaillée est disponible en annexe dans le fichier Etude_Comparative.pdf.

Dispositif	Type	Connexion	Retour de force	Retour tactile	Hand tracking	Degré de liberté	SDK	Prix (\$)
Sense Glove	Exosquelette	Câblée	Oui	Non	Non	24	Unity / UE4	1200
Novint Falcon	Joystick	Câblée	Oui	Non	Non	3	-	~500
Avatar VR	Gants	Sans fil	Non	Oui	Oui	10	Unity / UE4	1500
DexMo	Exosquelette	Sans fil	Oui	Non	Non	11	Unity / UE4	12'000
HaptX	Exosquelette	Câblée	Oui	Oui	Oui	6	Unity / UE4	-
Hi5 Glove	Gants	Sans fil	Non	Oui	Oui	9	Unity / UE4	999
Senso Glove	Gants	Sans fil	Non	Oui	Oui	7	Unity / UE4	599
CyberGrasp	Exosquelette	Câblée	Oui	Non	Non	5	-	50'000
Plexus	Gants	Sans fil	Non	Oui	Oui	21	Unity / UE4	249

FIGURE 2.20 – Tableau récapitulatif des différents matériels haptiques

Spécifications

Ce chapitre décrit en détail chaque tâche de la section **intégration** du planning de Gantt. Ce dernier, disponible dans les annexes, contient la liste des étapes nécessaires au bon développement de ce projet. Nous utiliserons ici les cinq dispositifs haptiques suivants : les gants **Sense**, **Senso**, **Hi5**, **AvatarVR** et les joysticks **Falcons**.

3.1 Unity

— Recherche et étude pour une application.

L'objectif de cette tâche consiste à se faire une idée sur la direction que prendra notre application. Dans quel contexte se déroulera nos scènes et quels seront les objets avec lesquels nous pourrons interagir. Nous partirons ici sur une scène contenant une table sur laquelle seront déposés au moins cinq objets aux caractéristiques différentes de façon à tester un maximum les capacités de retour de force des gants haptiques. Un ou plusieurs boutons seront également ajoutés afin de promouvoir le retour tactile de certains gants. Cette scène sera ensuite dupliquée pour chaque matériel haptique utilisé, c'est-à-dire cinq fois.

— Recherche d'assets.

C'est ici que nous téléchargerons les assets nécessaires à la création de notre scène. Nous aurons principalement besoin du terrain, d'une vue en première personne ainsi que de plusieurs objets et boutons différents avec lesquels nous pourrons interagir. Les objets, le terrain et la vue en première personne seront téléchargés directement sur l'Asset Store de Unity à cette adresse <https://assetstore.unity.com/>. Les boutons quant à eux seront développés par nos soins pour en faire des prefabs réutilisables dans n'importe quelle scène.

— Développement de la structure de l'application

Une fois les assets téléchargés et les prefabs créés, il s'agira de les mettre en place afin d'avoir une première structure pour notre application. Nous ne toucherons pas encore au code, cette tâche consistera à déployer les gameObject et les positionner correctement dans notre scène. Chaque gant possèdera sa propre scène dont la structure sera créée durant cette tâche.

3.2 Gants SenseGlove



FIGURE 3.21 – Gant SenseGlove

— Installation SDK / Tests des gants

Avant toute configuration et intégration, nous installerons le SDK Unity et effectuerons des tests complets sur les gants par le biais de la scène d'exemple Unity donnée par la société SenseGlove. Les tests couvriront le système de retour de force des gants. Le SDK et la scène de test sont disponibles sur le dépôt Github de la société à [cette adresse](#).

— Recherche sur l'intégration, documentation et prise en main du SDK

C'est ici que nous effectuerons notre processus de recherche et de documentation concernant l'intégration des gants. Nous nous servirons du wiki disponible sur le dépôt Github ([lien ici](#)) pour étudier et comprendre d'une part le fonctionnement du système haptique des SenseGlove, d'autre part la méthodologie d'intégration à notre projet Unity. Divers tests seront effectués sur une scène d'exemple afin d'optimiser la compréhension du code.

— Intégration au projet Unity

Finalement, nous intégrerons ces gants dans une première scène de notre projet composée principalement d'objets de tailles, de formes et de rigidités différentes. Le modèle des mains sera le même que celui déployé dans le Github ci-dessus. Les SenseGlove possédant un système de retour de force, nous devrons mettre en place cette capacité de la même façon que dans leur scène d'exemple mais cette fois dans notre propre scène avec nos objets.

3.3 Gants Senso



FIGURE 3.22 – Gant Senso

— Installation driver / SDK / Tests des gants

Les gants Senso étant reliés au PC par une connexion sans-fil, ils nécessitent l'installation d'un driver pour fonctionner. Ce dernier, disponible à [cette adresse](#) ne fonctionne que pour Windows 7 et les versions supérieures. Une fois le driver installé en suivant les étapes de [la documentation](#), nous passerons à la phase de test. Elle sera divisée en deux étapes : la première concerne les tests de drivers et de reconnaissance des gants qui se font par le biais de l'application *SENSO_UI* disponible dans le dossier du driver. Si l'installation du driver s'est correctement passée, les gants devraient être reconnus, calibrés et prêts à être utilisés. La deuxième phase de test implique l'utilisation d'une application graphique appelée [Senso Hands Demo](#) avec laquelle nous pourrons effectuer nos premières interaction en temps réel et par la même occasion, finaliser les tests de bon fonctionnement des gants. Finalement nous passerons à l'installation du SDK (qui est en réalité un plugin) disponible à [cette adresse](#) dont l'utilisation nécessite simplement une importation dans notre projet Unity.

— Recherche sur l'intégration, documentation et prise en main du SDK

Comme pour les SenseGlove, nous passerons quelques jours sur l'étude concernant l'intégration des gants. Une page de documentation sur le plugin Unity est disponible [ici](#). La technologie haptique de ces gants étant composée uniquement d'un système de retour tactile, l'interaction entre l'utilisateur et son environnement virtuel se résultera seulement par de simples vibrations.

— Intégration au projet Unity

La phase d'intégration commencera par la création d'une nouvelle scène reprenant la structure mise en place quelques tâches auparavant. Cette scène sera donc composée d'objets et de boutons. En effet, les Senso ne fournissent pas de système de retour de force mais uniquement un système de retour tactile caractérisé par des vibrations à chaque doigt de la main ainsi qu'au poignet. Un ou plusieurs boutons seront donc plus adaptés à l'utilisation de ces gants que des objets.

3.4 Gants Hi5 VR Glove



FIGURE 3.23 – Gant Hi5 VR Glove

— Installation SDK / Tests des gants

Comme pour les deux premiers gants, les Hi5 nécessitent un SDK disponible sur le [site internet](#) de la société Noitom pour les intégrer à Unity. Nous commencerons donc par le télécharger et tester son bon fonctionnement en l'important directement dans notre troisième scène . Parallèlement à ça, nous effectuerons les tests des Hi5 par le biais des applications *Hi5 Calibration Sample Scene* et *Hi5 Unity Interaction Sample* (toutes deux disponibles sur le lien ci-dessus) permettant à la fois la reconnaissance des gants et l'utilisation de ces derniers. Les Hi5 étant pensés pour être utilisés avec des VIVE Tracker, nous serons peut-être dans l'obligation de mettre en place ces contrôleurs pour le bon déroulement des tests.

— Installation et configuration des Vive Tracker (optionnel)

Les Vive Tracker sont des contrôleurs permettant le tracking en temps réel de l'objet auquel ils sont attachés. Dans le cadre des Hi5, ces derniers possèdent une monture permettant d'attacher directement les Vive Tracker aux gants. Le système de tracking demande à être installé et configuré afin de garantir la reconnaissance par l'ordinateur et donc par l'application de test. Cette tâche est optionnelle car l'utilisation des Vive Tracker n'est en aucun cas obligatoire exceptée par certains tests de calibrations et/ou de position nécessitant leurs systèmes de tracking. L'installation et configuration de ces contrôleurs se fera uniquement pour la phase de test des gants. Notre projet s'intéresse seulement à l'intégration des gants et à l'utilisation de la technologie haptique les composant. Si toutefois le temps le permet, une intégration complète des Vive Tracker dans notre projet pourra être envisagée.

— Recherche sur l'intégration, documentation et prise en main du SDK

Plusieurs documents concernant le l'utilisation des Hi5 et l'intégration de ces derniers dans une application Unity ont été rédigés et sont disponibles sur la page de téléchargement du site. Nous nous servirons de ces manuels d'utilisation pour comprendre au mieux la façon dont l'intégration doit être faite. Tout comme les gants haptiques Senso, les Hi5 ne bénéficient pas d'un retour de force mais uniquement d'un retour haptique caractérisé par des vibrations. Nous utiliserons donc principalement le guide *Hi5 Unity Interaction SDK User-Guide v.1.1.0.35* pour permettre aux gants de simuler le toucher avec les objets de notre scène. Parallèlement à la lecture de ce document, divers tests et essais seront créés dans des scènes externes pour éviter les problèmes que nous pourrions rencontrer lors de la tâche suivante.

— Intégration au projet Unity

Pour finir, nous mettrons en pratique toutes les connaissances accumulées précédemment mais cette fois dans notre application. Tout comme les intégrations précédentes, celle-ci sera mise en place dans une scène propre contenant des objets et boutons interactifs. Le but de cette tâche et de pouvoir utiliser pleinement les Hi5 dans le contexte de notre application Unity. Si l'intégration prend moins de temps que prévu, nous utiliserons le temps restant pour ajouter le système de Vive Tracker aux Hi5.

3.5 Gants Avatar VR



FIGURE 3.24 – Gant Avatar VR

— Installation SDK / Tests des gants

Les Avatar VR sont livrés avec les SDKs compatibles Unity, Unreal, C++, C# et OSVR. Pour ce projet, nous n'utiliserons que celui pour Unity. Une fois le SDK téléchargé et importé dans notre projet, nous passerons à la phase de test. Cette étape se fera par le biais de l'application *NDSuite* disponible sur le [site du fabricant](#). Elle nous permettra entre autres de tester et comprendre le fonctionnement de ces gants.

— Recherche sur l'intégration, documentation et prise en main du SDK

Toute la partie d'immersion autour de ces gants se fera via la documentation officielle disponible à [cette adresse](#). Nous apprendrons notamment à préparer une scène, intégrer les gants à cette dernière et mettre en place les différentes propriétés haptiques telles que la perception d'un objet et sa texture, ou l'effet d'un clic sur un bouton.

— Intégration au projet Unity

Une fois l'utilisation du SDK acquise, nous l'intégrerons à notre 4ème scène en utilisant le modèle de main fournit par la société. Les gants possèdent un système de retour tactile et de ressenti de texture. Nous accentuerons donc le développement de ces deux propriétés grâce aux objets et boutons mis en place dans notre scène.

3.6 Joystick Falcon



FIGURE 3.25 – Joystick Falcon

— Installation driver / Tests des joysticks

Contrairement aux différents gants que nous utiliserons pour ce projet, les Falcon ne possèdent pas de SDK mais nécessitent l'installation d'un driver. Ce dernier est disponible sur [cette page](#) et permettra la reconnaissance du matériel par l'ordinateur. Ensuite, nous nous servirons de projets déjà réalisés par le groupe Imagerie ou par Kenneth Bogert sur [son dépôt Github](#) pour tester le matériel. Les tests couvriront les principales propriétés des Falcon c'est-à-dire le retour de force et le ressenti du poids de l'objet avec lequel nous interagirons.

— Recherche sur l'intégration, analyse de projets déjà réalisés

Comme aucune documentation officielle concernant une quelconque intégration des Falcon dans Unity n'est disponible, la phase de recherche se fera essentiellement par le biais de projets déjà créés. Ces projets seront directement repris d'internet ou du groupe Imagerie et serviront d'exemple sur lequel nous approfondirons nos connaissances. Divers tests et approches d'exemples seront développés sous Unity durant cette phase de recherche afin d'éviter les erreurs que nous pourrions rencontrer lors de la prochaine tâche.

— Intégration au projet Unity

Les Falcons ne possédant pas de SDK, la phase d'intégration à notre projet n'en sera que plus longue. C'est pourquoi cette dernière est planifiée sur huit jours durant lesquels nous mettrons en pratique dans notre dernière scène les différentes propriétés des Falcons en liens avec nos objets. Une grande partie du code concernant l'intégration aura déjà été réalisé et testée durant la tâche précédente afin de minimiser la perte de temps due à la non-documentation du matériel.

3.7 Finalisation

— Menu principal

Une fois tous les dispositifs intégrés et fonctionnels, nous développerons un menu principal permettant la sélection du matériel à utiliser, chacun directement relié à sa propre scène de jeu. Ce menu sera très basique et sera le système permettant de switcher entre les différentes scènes. Un menu pause sera également ajouté permettant de revenir au menu principal, de changer de matériel haptique et ainsi de scène de jeu. Le test de connectivité des gants sera réalisé dans chacune des scènes et non dans le menu.

— Amélioration globale (tracking, problèmes, ergonomie, etc.)

L'objectif principal du projet étant l'intégration des différents dispositifs haptiques à notre application Unity, nous ne nous focaliserons pas en premier sur les améliorations potentielles. Cependant, une fois le projet fini, nous effectuerons une inspection complète de ce dernier afin de corriger les derniers problèmes, de commenter les classes que nous avons créées, d'améliorer l'ergonomie globale de notre application et, si le temps le permet, d'ajouter le système de tracking par le biais des Vive Tracker dans toutes les scènes exceptée celle des Falcons.

— Étude comparative des matériels

Finalement, le document de comparaison complet des matériels sera rédigé en dernier. Il permettra au lecteur d'avoir une idée globale sur les caractéristiques, les capacités et le fonctionnement des différents gants et joystick utilisés. Chaque dispositif possèdera une partie caractéristiques / propriétés dont les données seront directement reprises du tableau récapitulatif présenté au chapitre 2.7, et une partie ressenti / résultats / avantages et inconvénients (selon le type d'application) qui sera remplie au fur et à mesure des tests et intégrations du matériel. Ce document sera livré en annexe du mémoire qui, lui, contiendra chaque étape nécessaire à l'intégration des différents dispositifs haptiques afin que n'importe quelle personne puisse refaire les intégrations chez elles ainsi qu'un résumé des résultats obtenus dans l'étude comparative.

Conception

TMS => Gants Haptiques est la démonstration, en réalité virtuelle, de quatre dispositifs haptiques différents. Ce projet a été développé avec le langage de programmation C#, en utilisant moteur de jeu Unity. Le but de cette application est de tester, démontrer et comparer les propriétés haptiques de trois gants différents et d'un joystick.

TMS => Gants Haptiques est une application Unity, présentée sous la forme d'un parc dans lequel sera disposé deux tables. Ces deux tables servent de support aux objets avec lesquels l'utilisateur pourra interagir par le biais des dispositifs haptiques. L'utilisateur, quant à lui, est positionné devant ces deux tables. La vue en première personne utilisée dans cette application augmente l'immersion et favorise le ressenti obtenu. Effectivement, afin d'augmenter l'immersion, le joueur se retrouve, plongé dans un environnement de réalité virtuel, accompagné de sa paire de gants haptiques ou de joysticks.

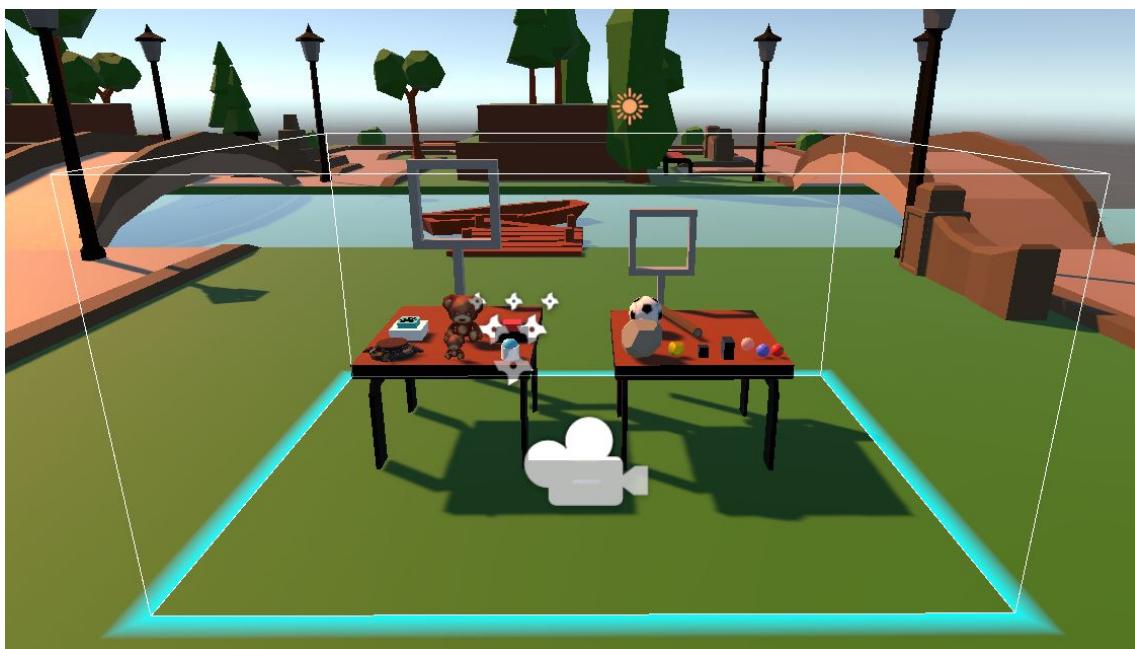


FIGURE 4.26 – La zone d'interaction est délimitée en bleu dans Unity

Ce projet Unity est composé de quatre scènes, ce qui équivaut à une scène par dispositif haptique. Chacune de ces scènes correspond à une démonstration :

- SenseGlove_Park
- SensoGlove_Park
- Hi5Glove_Park
- Falcon_Park

Ce chapitre conception décrit en détail, pour chaque gant, la démonstration qui lui correspond.

4.1 Configuration de l'environnement virtuel

Chaque scène requiert un environnement virtuel prêt et configuré :
configurer son environnement virtuel. Cet environnement doit être composé de :

- Deux VIVE Tracker, excepté pour la scène Falcon_Park
- Deux stations de base
- Un casque de réalité virtuelle HTC VIVE

Pour les gants **SenseGlove** et **Senso**, il est nécessaire de retenir l'ordre de connexion des VIVE Tracker à l'application SteamVR. En effet, Le plugin Unity de SteamVR nécessite que les gameobjects suivis, c'est-à-dire les gants, soient rattachés aux gameobjects représentant les VIVE Tracker. Cependant, avec le moteur de jeu Unity, les VIVE Tracker sont automatiquement instanciés dans le même ordre que leur ordre de connexion à l'application SteamVR.

Par exemple : SteamVR reconnaît d'abord les deux stations de base. La première station est connectée, suivie de la deuxième. Le VIVE Tracker gauche est ensuite reconnu et connecté, suivi du VIVE Tracker droit.

L'ordre de connexion est donc le suivant : **1** : station de base, **2** : station de base, **3** : VIVE Tracker gauche et **4** : VIVE Tracker droit.

4.2 Menu

Le menu a pour but d'intégrer tous les dispositifs haptiques dans la même application. Son interface est simple et ergonomique. Il est possible de revenir au menu en appuyant sur la touche **F1** depuis n'importe quelle scène de la démonstration.

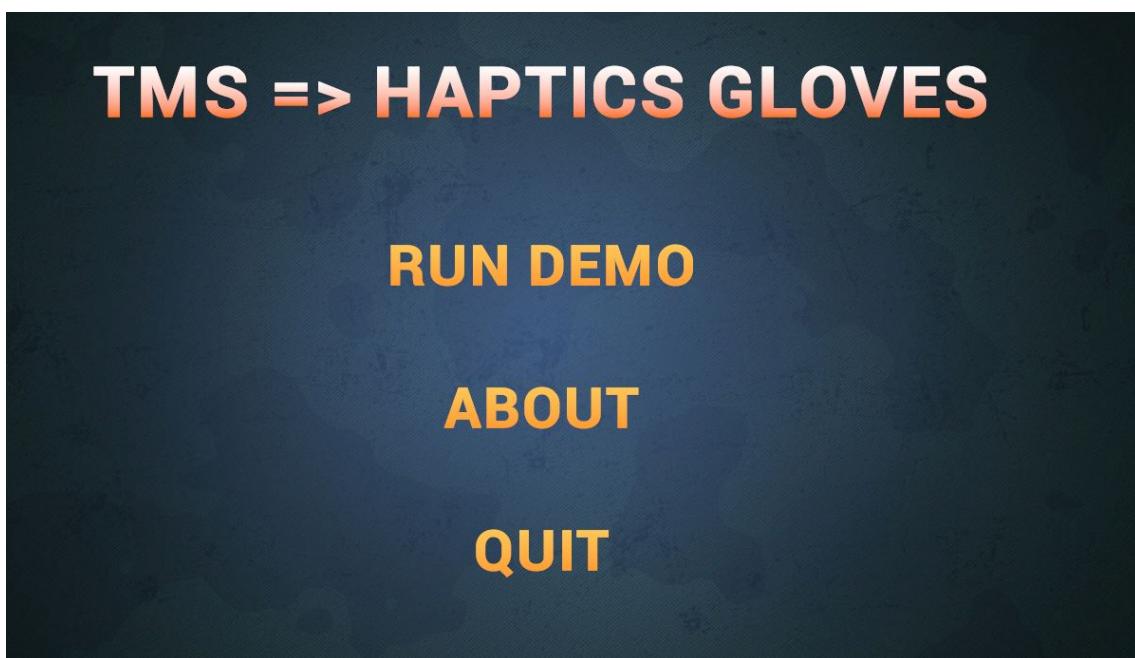


FIGURE 4.27 – Menu d'accueil

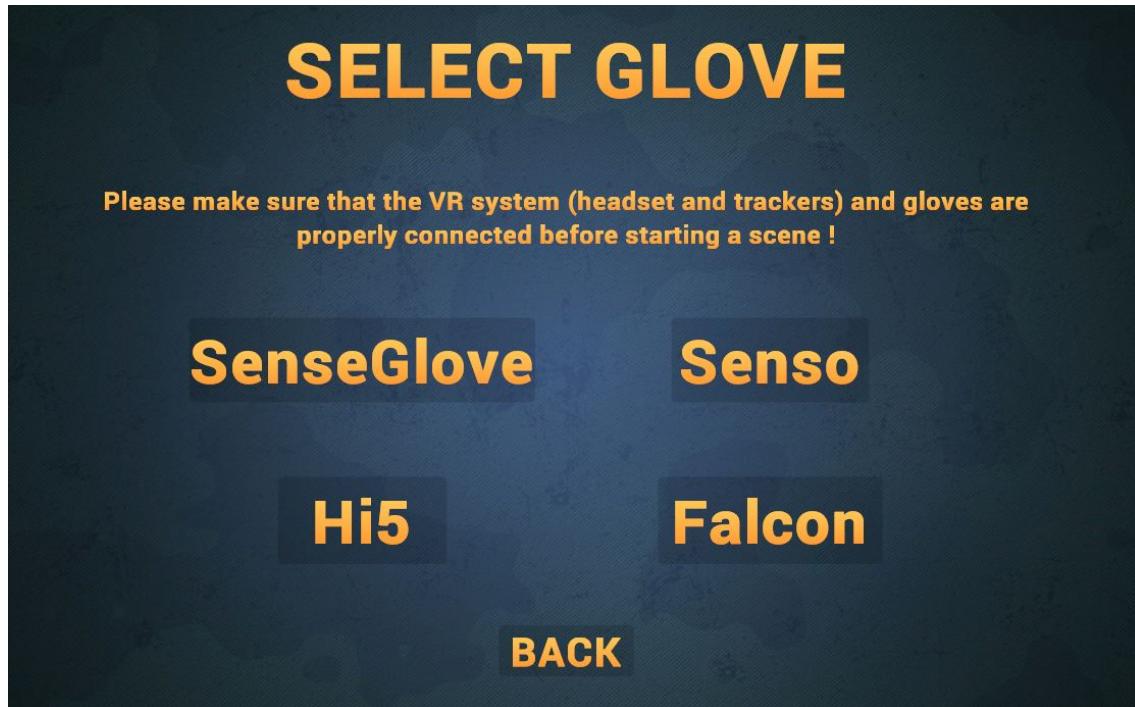


FIGURE 4.28 – Menu de sélection de gant

Les boutons **SenseGlove** et **Senso** permettent d'ouvrir le menu par le biais duquel l'utilisateur choisira les numéros de connexion de ses deux VIVE Trackers.

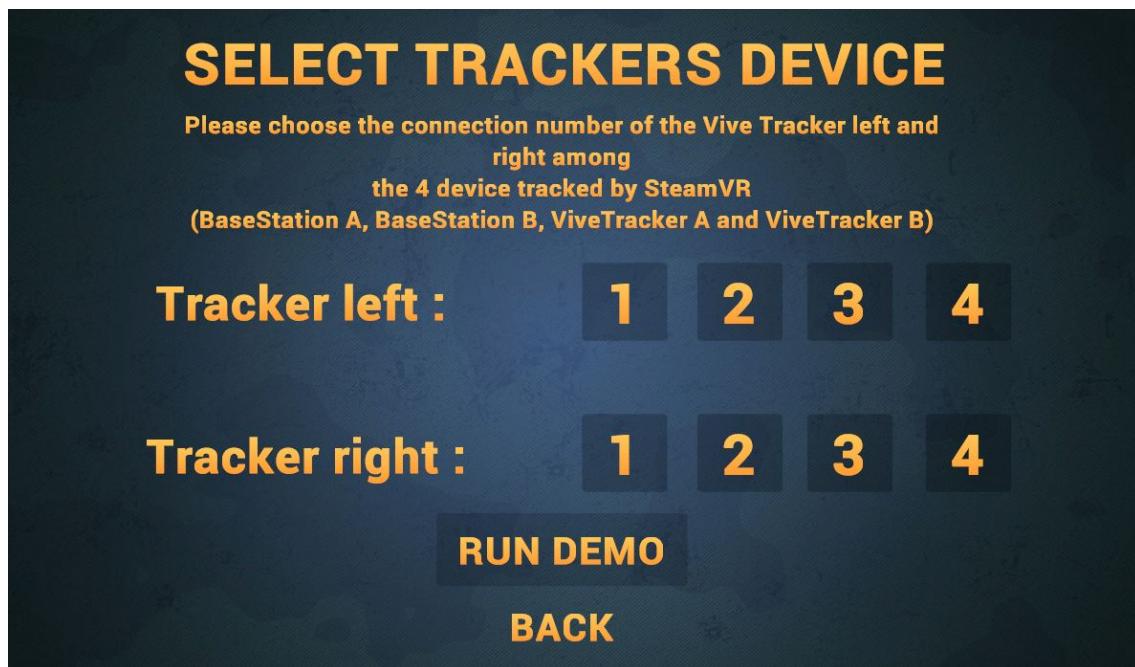


FIGURE 4.29 – Menu de sélection du numéro de connexion des VIVE Tracker

Le bouton **Falcon**, quant à lui, ouvre le menu de sélection du serveur. *FalconServer.exe* doit être placé dans le même dossier que le fichier *falconcommunity.dll*, qui est disponible dans le dossier du plugin Falcon utilisé pour cette application. Voir annexe **Falcon Details** pour plus d'infos.

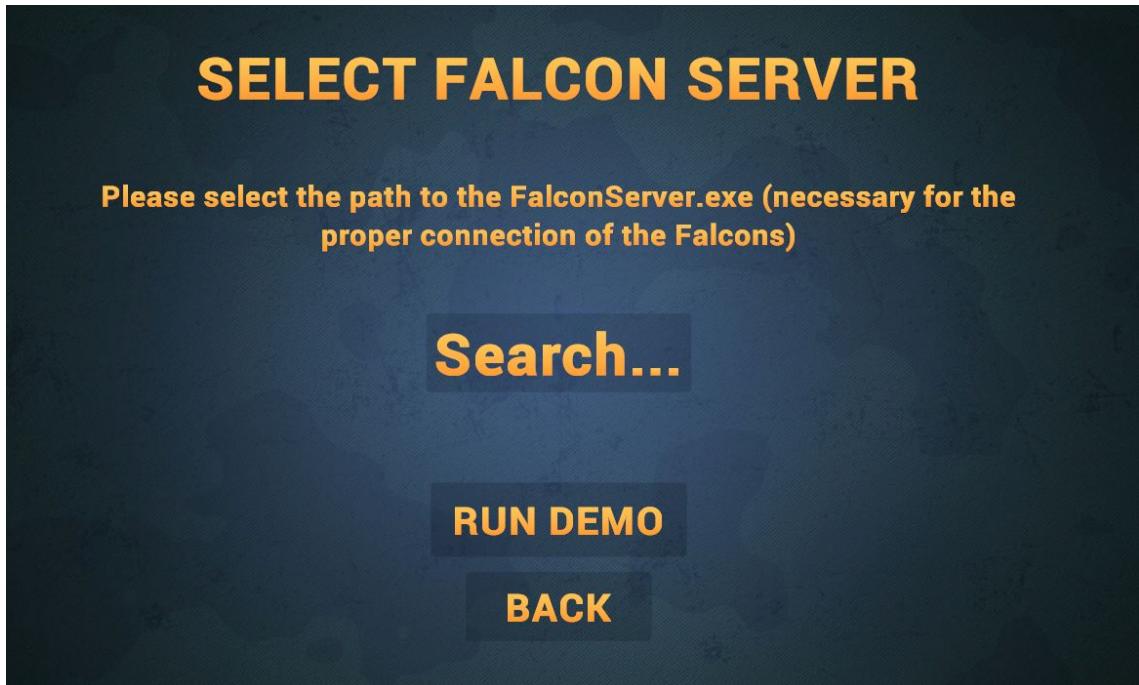


FIGURE 4.30 – Menu de sélection du FalconServer

Le lancement de la scène du dispositif haptique choisi se fait en cliquant sur le bouton **RUN DEMO**.

4.3 Structure des scènes

Chaque scène a été développée de façon à utiliser au maximum les propriétés du dispositif haptique associé. La structure initiale de chaque scène de l'application est identique pour tous les supports haptiques utilisés pour ce projet.

La structure initiale est divisée en trois parties :

- La table de gauche, sur laquelle sont disposés les objets "statiques"
- La table de droite, qui contient les objets "dynamiques"
- Le tableau, qui est là pour afficher un recueil d'informations sur la scène actuelle

Sur les tables sont disposés des objets aux propriétés et rôles adaptés au gant ou au joystick utilisé. Les caractéristiques et propriétés haptiques des matériaux de chaque objet rangé sur les tables sont différentes. Aussi, pour un même objet, chaque dispositif haptique possède une interaction et une réaction différente, dans la limite des capacités du matériel haptique utilisé.

La table de gauche contient des objets dits statiques : trois ou quatre boutons en fonction du gant utilisé, et des objets faits pour être palpés, mais pas pour être lancés.

La table de droite contient des objets dits dynamiques : objets de tailles, formes et matériaux différents, qui eux, peuvent être lancés dans les buts.

Finalement, sur le tableau sera affiché une brève description du support haptique de la scène, ainsi que des informations sur l'état de connexion et de calibration/démagnétisation de ce dernier. De plus, quelques indications propres au dispositif haptique lui-même seront notées sur le tableau.



FIGURE 4.31 – Structure des scènes de l'application

4.4 Boutons

Les boutons sont au nombre de quatre pour la scène des SenseGlove et des Hi5. En revanche, la scène des gants Senso et des joysticks Falcons ne possèdent que trois boutons sur leur table d'objets statiques.



FIGURE 4.32 – Boutons

Le rôle de chaque bouton est décrit ci-dessous :

- Bouton 1 : permet le retour au menu après 1,5 seconde (similaire à la touche **F1** du clavier).
- Bouton 2 : déclenche une explosion avec un effet de vibrations ressenti sur les deux mains. La puissance des vibrations est en adéquation avec les effets visuels de l'explosion, c'est-à-dire en *decrescendo*.
- Bouton 3 : reset de tous les objets disposés sur chaque table à leur position d'origine.
- Bouton 4 : déclenche le processus ou la scène de calibration. Ce bouton n'est disponible ni pour les Senso, dont la calibration se fait via une application externe, ni pour les Falcon, qui n'ont pas besoin d'être calibrés.

4.5 Buts

Deux buts carrés ont été placés afin d'augmenter le domaine d'utilisation des dispositifs haptiques et le caractère ludique de l'application. Leurs effets s'activent dès qu'un objet les traverse.

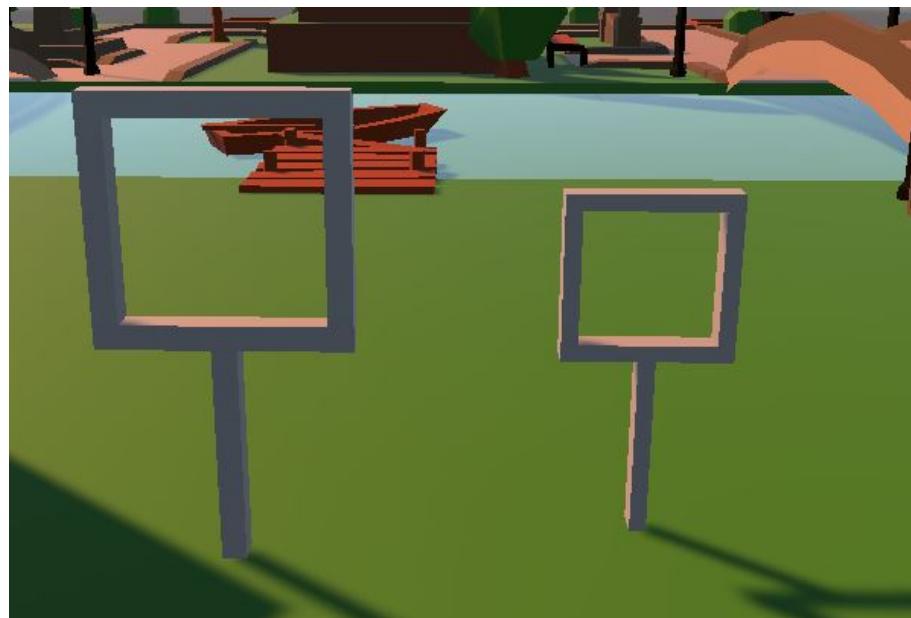


FIGURE 4.33 – Buts

- But de gauche : déclenche un feu d'artifice.
- But de droite : active des gouttes de pluie. Dès qu'une goutte de pluie touche un doigt de la main virtuelle, le dispositif haptique simulera ce contact avec une vibration ou un retour de force.



FIGURE 4.34 – Effet "pluie" activé

4.6 Gants Sense Glove

4.6.1 Analyse

Le gant SenseGlove, est un dispositif haptique exo-squelettique développé par la société SenseGlove Inc. Ils sont reliés par câbles à un moteur central, lui-même relié au PC par deux câbles.

Étant donné leur structure exo-squelettique, ces gants possèdent un système de retour de force allant jusqu'à 1,8 Newtons par doigt. Ce retour de force est appliqué à chaque doigt et permet ainsi le ressenti de la forme, la taille et la rigidité de l'objet avec lequel nous interagissons. Le ressenti de chaque objet sera donc différent.

Avec un moteur de vibration présent aussi à chaque doigt, les SenseGlove peuvent produire des vibrations pour des signaux interactifs comme le clic sur un bouton. Ces vibrations peuvent également être utilisées pour simuler des textures rugueuses.

Grâce à leurs 24 degrés de liberté, les SenseGlove reproduisent, en temps réel, et avec précision, les doigts, la main et le poignet par tous les gestes possibles.

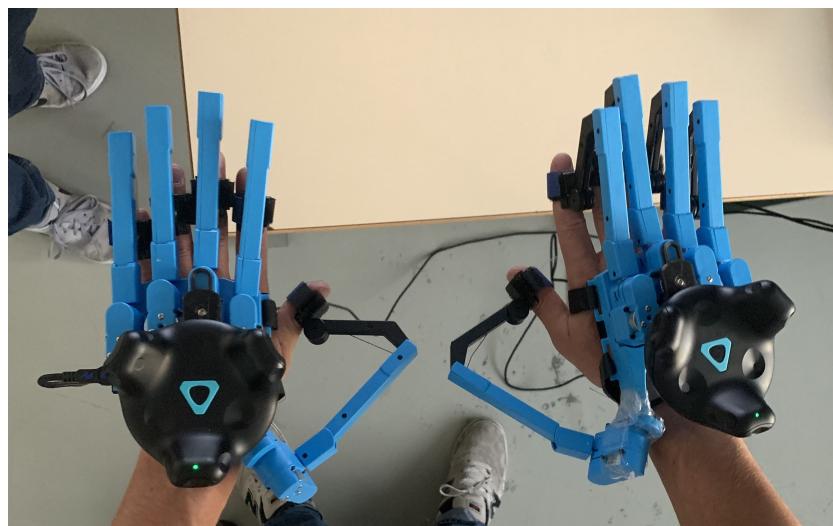


FIGURE 4.35 – Les gants SenseGlove vus de dessus

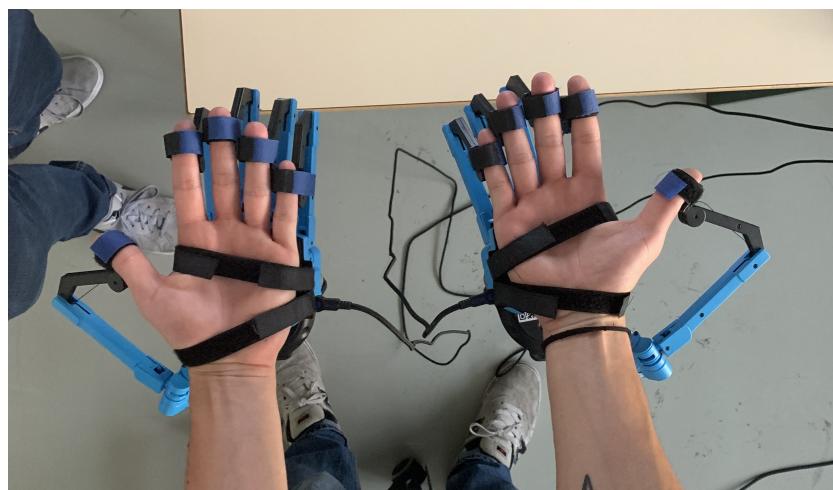


FIGURE 4.36 – Les gants SenseGlove vus de dessus

L'installation, l'utilisation et les informations techniques des gants haptiques SenseGlove sont détaillées dans le fichier annexe **SenseGlove Details**

4.6.2 Présentation générale

La scène des SenseGlove, *SenseGlove_Park*, est représentée dans la figure ci-dessous.



FIGURE 4.37 – Scène des SenseGlove, *SenseGlove_Park*

Tous les objets, exceptés les boutons, sont *grabable*. Cela signifie que l'utilisateur peut les ramasser et les relâcher. Voir annexe **SenseGlove Details** pour plus d'informations.

4.6.3 Table d'objets statiques

Pour rappel, sur la table de gauche sont disposés tous les objets qui ne sont pas destinés à être lancés.



FIGURE 4.38 – Table d'objets statiques de la scène *SenseGlove_Park*

Nous y retrouvons les quatre boutons détaillés à la section Boutons , ainsi que quatre autres objets :

Teddybear



FIGURE 4.39 – Représentation d'un ours en peluche

Le teddybear est la représentation d'un ours en peluche et de ses propriétés suivantes : un retour de force allant jusqu'à 35% de la capacité maximale du SenseGlove, sensation de souplesse moelleuse et texture caractérisée par un retour tactile. Cela signifie qu'une fois en main, un faible retour de force sera appliqué aux doigts, reproduisant ainsi la sensation de moelleux du matériau de la peluche.

Parallèlement à ce ressenti de résistance, les gants déclencheront des vibrations pour simuler la texture de la peluche. Pour augmenter l'immersion visuelle, le maillage de l'ours se déformera en fonction de la pression appliquée sur le teddybear.



FIGURE 4.40 – Interaction avec le teddybear

Stressball



FIGURE 4.41 – Représentation de la stressball

La stressball, comme le teddybear, est ici pour démontrer la perception moelleuse d'un objet. Cette balle possède des propriétés différentes de celles de la peluche : la puissance du retour de force monte maintenant jusqu'à 65% de la capacité maximale des gants et aucun retour tactile n'est déclenché au contact avec la stressball. Cette combinaison, couplée à la taille et à la forme de l'objet virtuel, offre un ressenti différent du teddybear précédent.

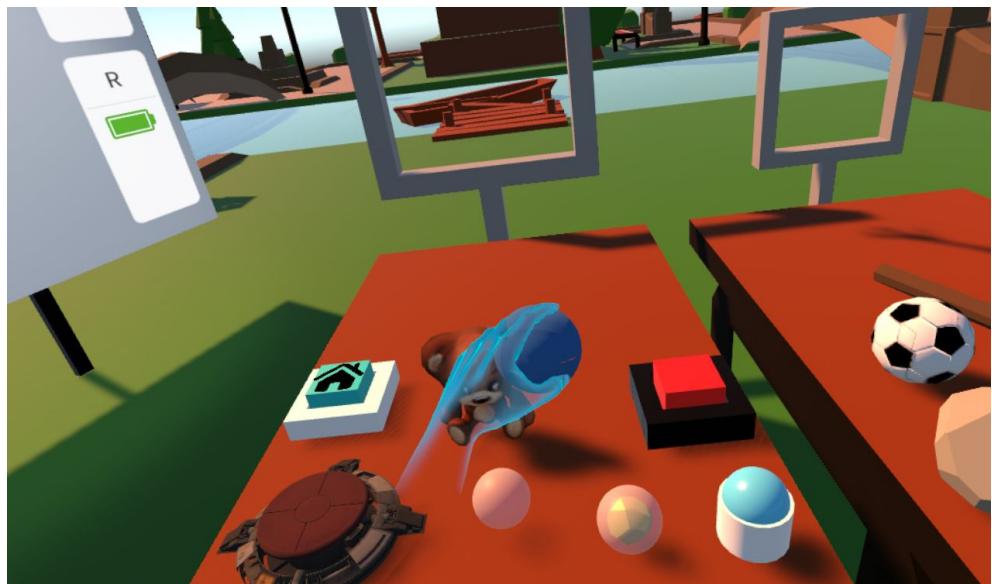


FIGURE 4.42 – Prise en main de la stressball

Breakable glass

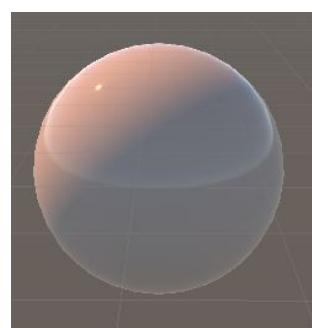


FIGURE 4.43 – Représentation du breakable glass

Le breakable glass est une boule en verre, de consistance dure, dont le but est de démontrer la capacité du SenseGlove à simuler la sensation d'un objet qui se brise dans la main.

Pour casser cette sphère, il faut appliquer une force maximale qui s'enfonce d'une distance de 0.08m dans l'objet, avec au minimum un doigt. Comme la dureté du matériau du breakable glass est maximale (100%), il est normal de devoir appliquer une grande force pour casser cet objet.

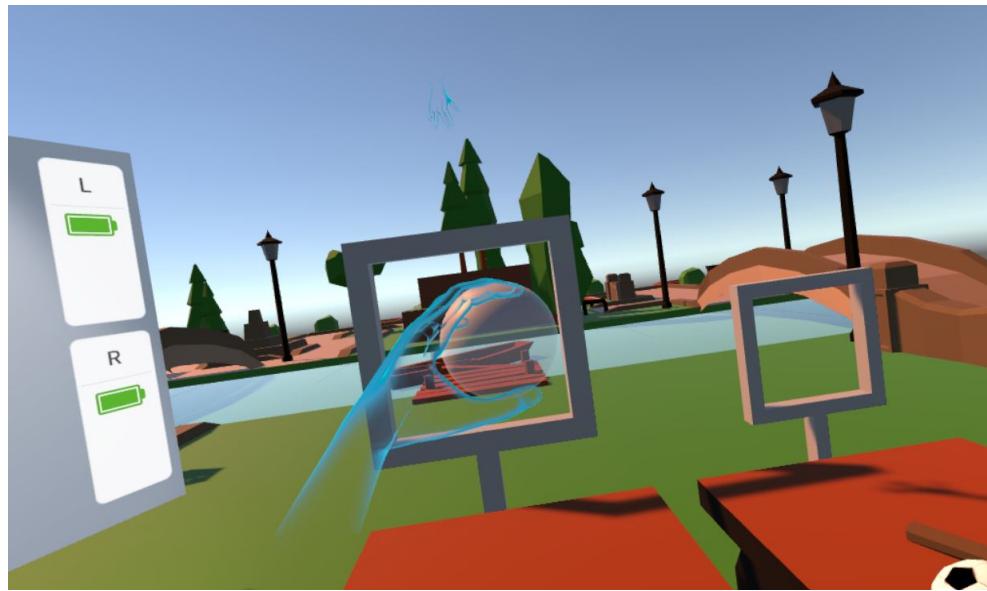


FIGURE 4.44 – Prise en main du breakable glass

Quand l'objet est cassé, les SenseGlove libèrent les doigts de tout retour de force appliquée et le breakable glass est ensuite restauré à sa position d'origine.

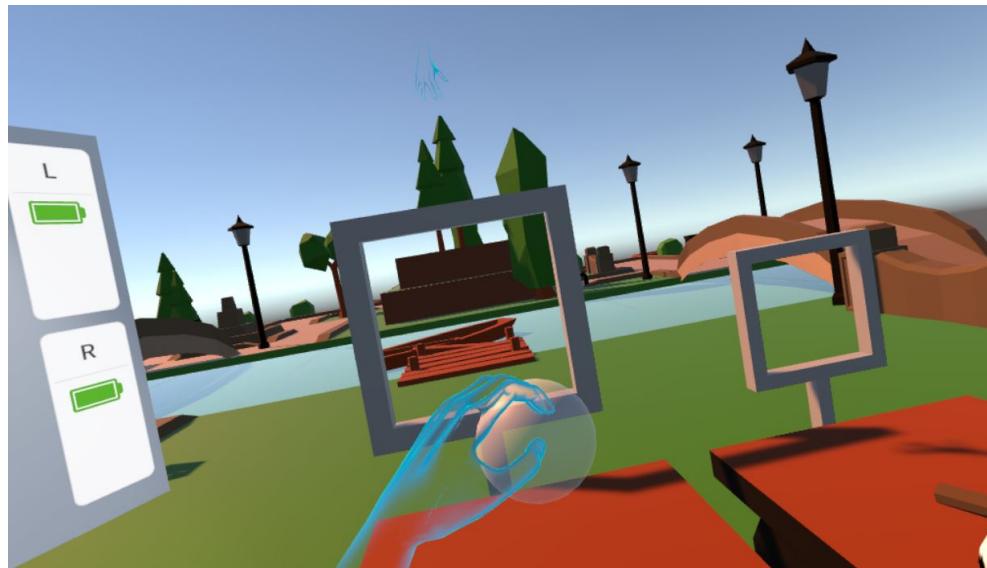


FIGURE 4.45 – Pénétration d'environ 0.08m dans l'objet. Il est à la limite de se briser

Breakable container

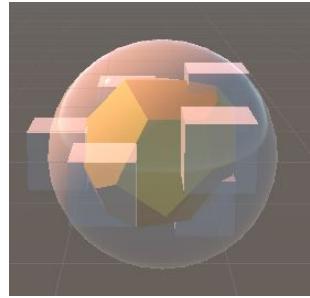


FIGURE 4.46 – Représentation du breakable container

Comme pour l'objet précédent, le but du breakable container est de simuler le ressenti d'un objet qui se brise dans la main.

La particularité de cet objet est qu'il contient une pépite d'or à l'intérieur. Cette dernière est libérée une fois l'objet cassé. Aussi, la distance à atteindre à l'intérieur de l'objet avant qu'il ne se casse est de 0.03m (contre 0.08m pour le breakable glass). Cela signifie que le niveau de pression des doigts nécessaire pour casser cet objet est moins grande que pour le breakable glass. Cependant, il est nécessaire d'utiliser au minimum trois doigts pour que l'objet se brise.

Quand l'objet est cassé, les SenseGlove libèrent les doigts de tout retour de force appliquée et le breakable container est ensuite restauré à sa position d'origine après 6 secondes. La combinaison de la distance nécessaire des doigts dans l'objet à partir de laquelle ce dernier se brise, et du nombre de doigts minimum à utiliser offre un ressenti différent du breakable glass précédent.

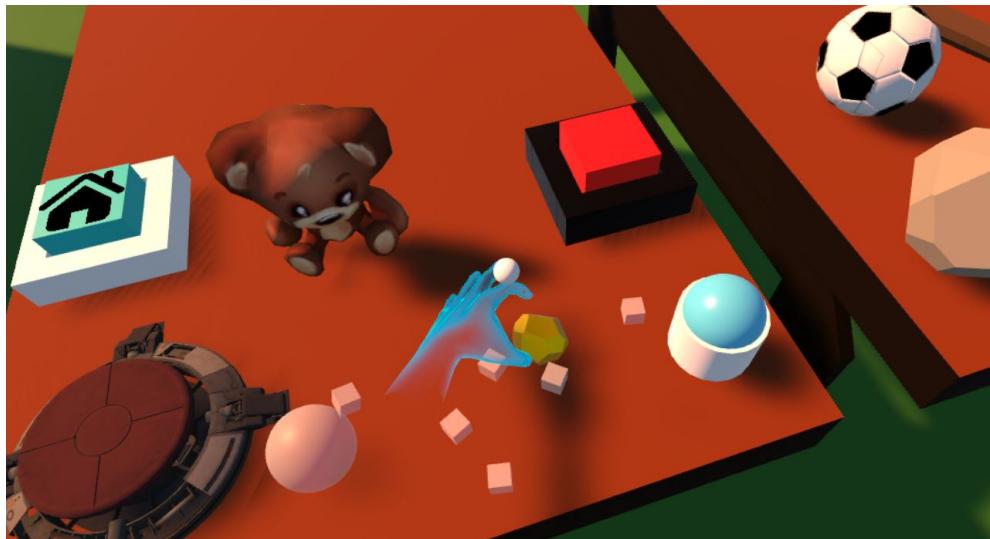


FIGURE 4.47 – Objet breakable container cassé

4.6.4 Table d'objets dynamiques

Sur la table de droite sont posés tous les objets qui sont destinés à être lancés à travers les buts.

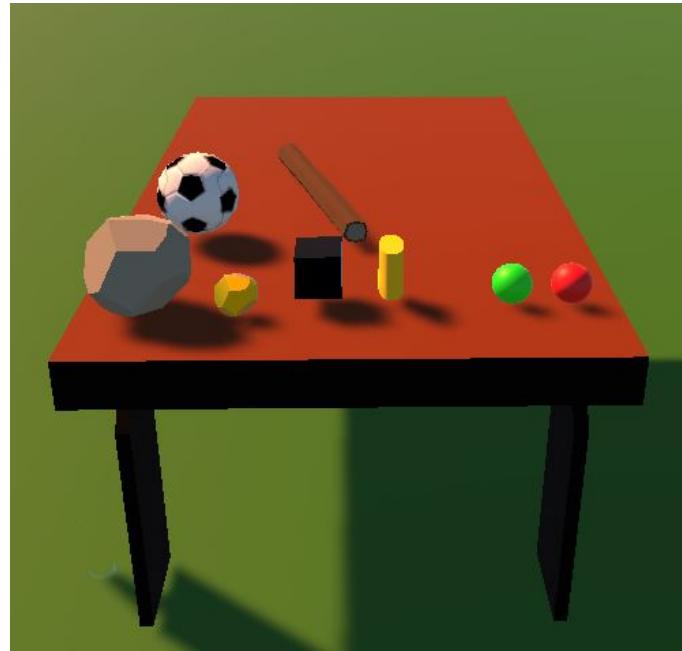


FIGURE 4.48 – Table d'objets dynamiques de la scène SenseGlove_Park

Ces objets, de tailles et de formes différentes, démontrent aussi les limites et contraintes liées aux gants. En effet, la combinaison des propriétés du matériau des objets (rigidité, forme et taille) et des mouvements de lancer effectués par l'utilisateur permet de ressentir à la fois la réactivité et la transparence du SenseGlove, mais aussi ses limites.

Rocks

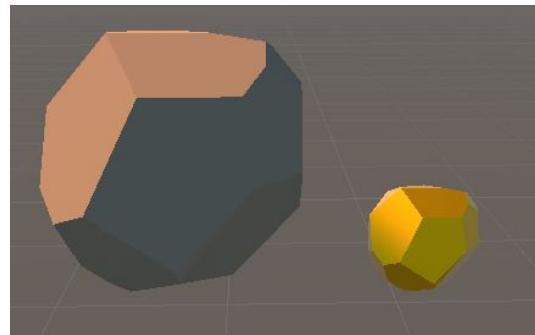


FIGURE 4.49 – Représentation de la pierre et de la pépite

La pierre grise et la pépite en or ont la même forme, avec deux tailles différentes. Les matériaux des rocks sont directement repris de la pré-configuration *Steel* (voir annexe **SenseGlove Details**). Lorsque la pierre grise et la pépite sont ramassées avec les gants, nous percevons la différence de taille entre les deux grâce au système de retour de force des SenseGlove.

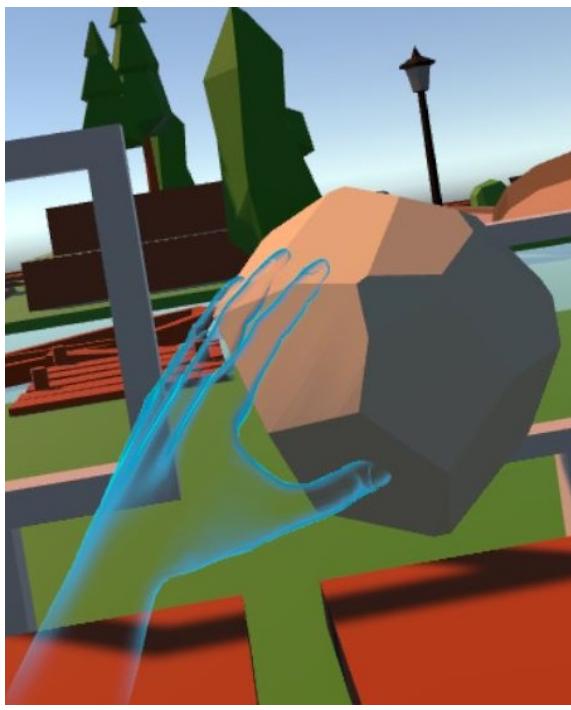


FIGURE 4.50 – Prise en main de la pierre



FIGURE 4.51 – Retour de force simulant la forme de la pierre



FIGURE 4.52 – Prise en main de la pépite



FIGURE 4.53 – Retour de force simulant la forme de la pépite

Cube et Cylinder

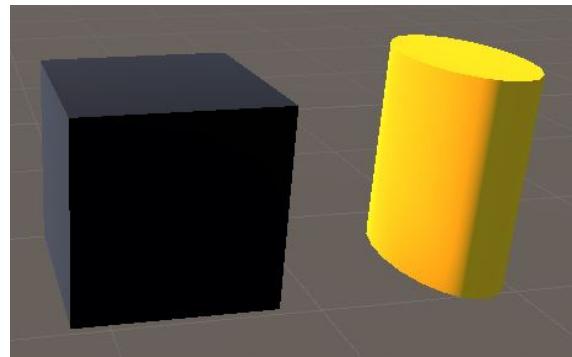


FIGURE 4.54 – Représentation du cube et du cylindre

Ces deux objets possèdent exactement la même rigidité et approximativement la même taille. Cependant, ils ont des formes différentes : cubique et cylindrique. Le retour de force des SenseGlove permet de simuler la forme d'un objet, nous le démontrons avec le *cube* et le *cylinder* dont leurs noms reflètent leurs formes.

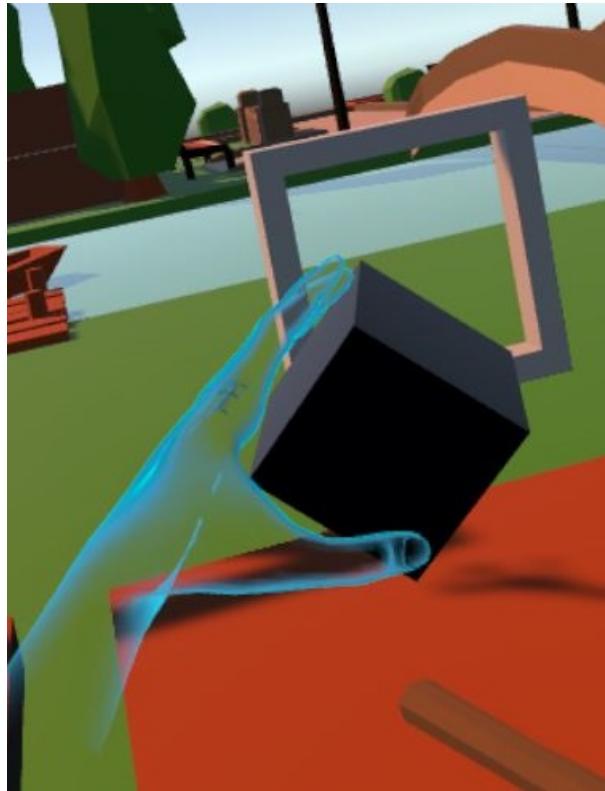


FIGURE 4.55 – Prise en main du cube



FIGURE 4.56 – Retour de force simulant la forme du cube



FIGURE 4.57 – Prise en main du cylindre



FIGURE 4.58 – Retour de force simulant la forme du cylindre

Spheres

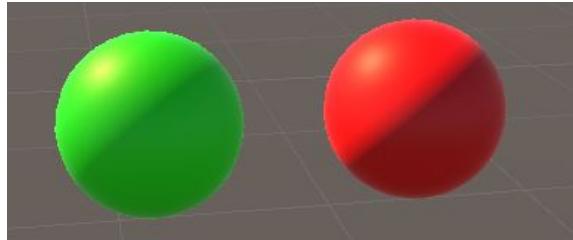


FIGURE 4.59 – Représentation des deux sphères

Ces deux sphères identiques servent à démontrer la puissance du retour tactile des gants : le contact avec une sphère déclenche des vibrations de magnitude 100. Aussi, étant donné leurs petites tailles, les sphères représentent l'objet avec lequel le processus de lancer est le moins difficile à réaliser. Le processus de lancé est détaillé dans la section problèmes et remarques.

Woodstick

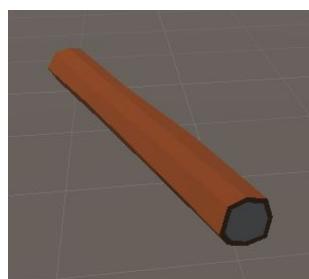


FIGURE 4.60 – Représentation du bâton en bois

Le bâton de bois est une combinaison d'un objet avec une texture rugueuse et une forme allongée. La rigidité de son matériau est maximale et le retour tactile des gants est déclenché quand on le ramasse. Cela donne lieu à une impression de rugosité, tout en ressentant la forme cylindrique et allongée du baton.



FIGURE 4.61 – Prise en main du bâton en bois



FIGURE 4.62 – Retour de force simulant la forme du bâton

Soccerball



FIGURE 4.63 – Représentation des deux sphères

La balle de foot possède une rigidité allant jusqu'à 75% de la capacité maximale du retour de force déclenché lorsque les doigts sont à 0.01m de distance à l'intérieur de la balle. Lorsqu'on prend l'objet en main, nous nous rapprochons du ressenti obtenu lorsqu'on tient un vrai ballon de foot entre les mains, et qu'on le presse.

4.6.5 Tableau

Le tableau est ici pour donner les informations des SenseGlove en temps réel à l'utilisateur. Il possède les éléments suivants :

- Icône "batterie" liée à l'état de connexion des gants (gants déconnectés = pas d'icône)
- Icône "calibration" liée à la calibration des gants. Cette icône s'affiche dès que la calibration des gants est en cours, ou terminée.
- Informations générales sur la scène et sur les SenseGlove.

Les informations concernant la calibrations sont détaillées dans le document annexe **SenseGlove Details**.

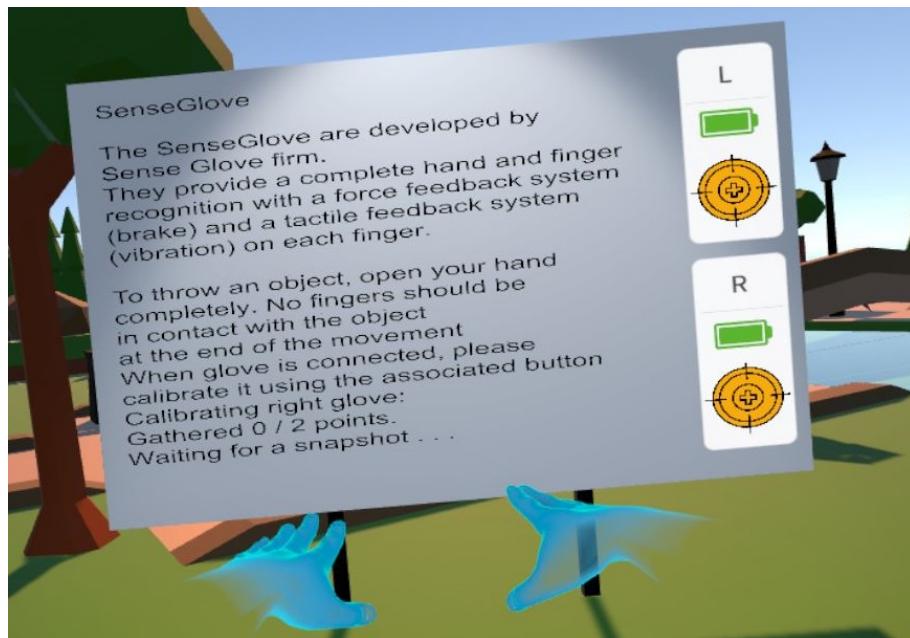


FIGURE 4.64 – Début de la calibration des deux gants

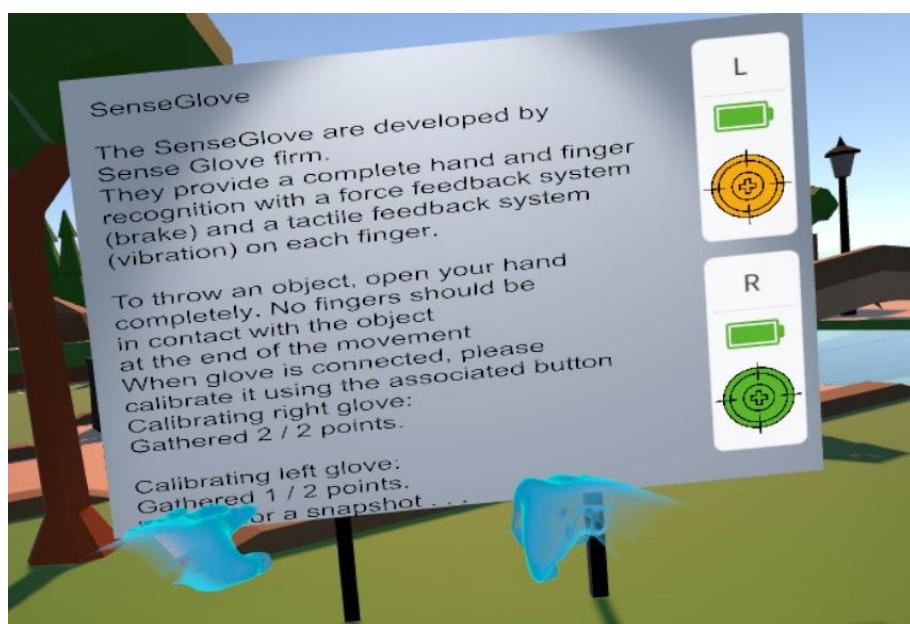


FIGURE 4.65 – Calibration du gant droit terminée

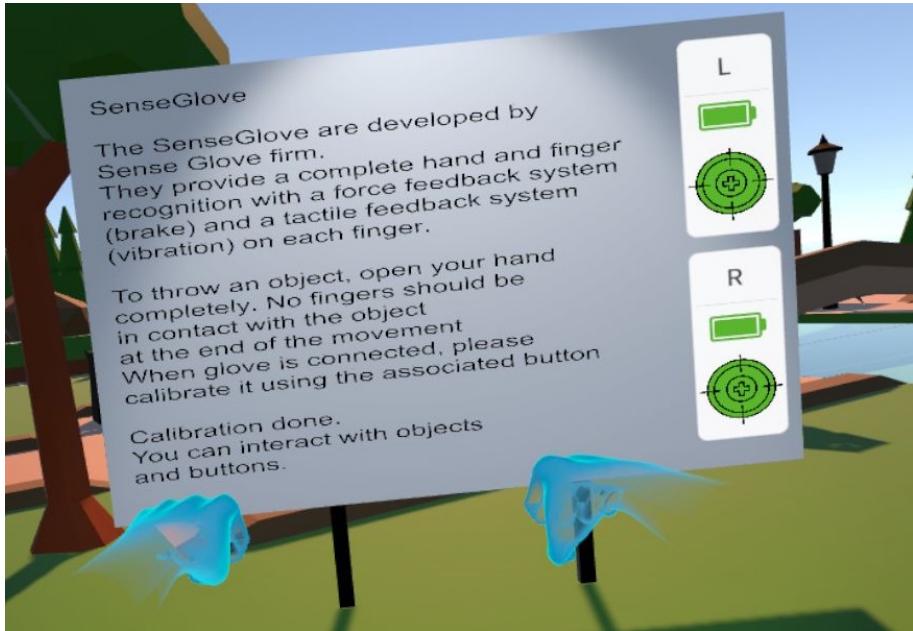


FIGURE 4.66 – Calibration du gant gauche terminée

4.6.6 Problèmes et remarques

La seule remarque sur les SenseGlove concerne le lancer d'objet. En effet, pour relâcher un objet, il faut ouvrir complètement la main. L'objet sera libéré lorsque tous les doigts seront en dehors du collider de l'objet. En d'autres termes, aucun doigt ne doit toucher l'objet pour que ce dernier soit libéré de la main. Ce problème entraîne un mouvement de lancer non naturel et difficile à prendre en main, surtout pour les grands objets. Les figures ci-dessous représentent les gestes à suivre pour effectuer un mouvement de lancer.

D'autres problèmes et remarques plus généraux sont détaillés dans le fichier annexe **SenseGlove Details**.

4.6.7 Conclusion

Pour la conclusion du chapitre sur les gants haptiques SenseGlove, nous nous baserons sur quatre performances, dont trois ont été décrites dans le chapitre 2.3 : la stabilité, la transparence et la résolution de position (précision). Le quatrième paramètre est la connexion. Ce paramètre est ici pour étudier la stabilité de la connexion des gants au PC.

Stabilité

Les capacités de simulation des SenseGlove sont multiples. Grâce à la combinaison du retour tactile et du retour de force, ce dispositif haptique est capable de simuler le ressenti de la taille, de la forme, de la rigidité de l'objet et même le ressenti de la rugosité de sa texture grâce aux mouvements exploratoires. Comme le retour de force est entièrement configurable, les gants sont capables de simuler plusieurs rigidité, chacune différente l'une de l'autre.

Par exemple, la stressball et le teddybear sont deux objets différents, avec un matériau de type mou. Malgré le même type de matériau, le SenseGlove est capable de fournir une différence de résistance, adaptée à chaque objet.

Le retour tactile est lui aussi configurable, ce qui lui permet de simuler différentes rugosités de texture. Cependant, le ressenti obtenu en touchant l'objet virtuel ne s'approche pas beaucoup du ressenti obtenu lorsqu'on touche la texture d'un objet réel. En effet, le retour tactile est uniquement caractérisé par des vibrations. Ces dernières peuvent donc simuler les textures rugueuses que de manière grossière. Le système de retour de force et le système de retour tactile offrent aux SenseGlove



FIGURE 4.67 – Début du mouvement de lancer, l'objet est encore dans la main



FIGURE 4.68 – Fin du mouvement de lancer, l'objet est alors relâché car les doigts ne sont plus en contact avec ce dernier

la capacité de simuler plusieurs propriétés reliées aux objets virtuels touchés, offrant ainsi une stabilité fiable.

Transparence

Bien que les câbles reliant les SenseGlove au PC soient un avantage pour certains points (voir paramètre Connexion), ils le sont moins pour la transparence. Malgré leur longueur d'environ 2 mètres, les câbles peuvent interférer dans les mouvements effectués par l'utilisateur qui porte les gants si ces mouvements sont de grandes amplitudes.

Aussi, en plus de la zone de réalité virtuelle délimitée par les deux stations de base, l'utilisateur ne pourra pas se positionner où il veut à cause de la longueur des câbles.

Finalement, le type exo-squelettique du gant est encombrant. Nous avons du mal à oublier le port du SenseGlove pendant son utilisation, à cause de l'espace que ce dernier prend sur la main. L'immersion est donc grandement diminuée à cause du type exo-squelettique du gant.

Résolution de position

La reproduction des mouvements effectués avec les SenseGlove, sur les mains virtuelles de l'application Unity, est précise à quelques millimètres près. Le petit manque de précision se fait surtout remarquer quand on ramasse un objet. En effet, la taille et la forme de l'objet définie par le retour de force ne correspond pas exactement à la taille et la forme de l'objet virtuel tenu en main. Cette précision ne peut pas être réglée, car elle est interne au système matériel du SenseGlove.

Aussi, il arrive que les doigts de la main virtuelle traversent l'objet virtuel tenu en main. Ce problème est dû à une calibration imprécise. Pour contourner ce problème, nous avons augmenté la taille des colliders de chaque objet de la scène SenseGlove_Park. Cependant, cela améliore juste le rendu visuel, mais n'améliore pas la précision de la calibration. Cette dernière sera améliorée avec les prochaines mise-à-jour du SDK, qui corrigeront le problème empêchant l'utilisation des autres méthodes de calibration des mains.

Connexion

Comme décrit dans le chapitre 4.6.1, chaque gant SenseGlove est relié au PC par un câble. Ce câble est aussi relié à un moteur central, dont le rôle est d'envoyer la puissance nécessaire pour les retours haptiques. Cette connexion câblée offre une grande stabilité. En effet, durant tout le développement du projet TMS => Gants Haptiques, les SenseGlove n'ont jamais été soumis à une latence ou une perte de connexion. La connexion est stable et gère toutes les informations transmises aux gants haptiques.

Aussi, comme le moteur central fournit l'électricité nécessaire aux gants, nous pouvons utiliser les SenseGlove sans se soucier de l'état de charge de ces derniers. Nous remarquons donc que la connexion par câble des gants haptiques SenseGlove permet d'utiliser les dispositifs haptiques sans pause.

4.7 Gants Senso

4.7.1 Analyse

La paire de gants Senso est un dispositif haptique, développé par la firme Senso Device Inc. Les Senso, présentés sous forme de gants traditionnels, sont reliés au PC par une connexion bluetooth sans fil. Cette connexion est mise en place grâce la clé logicielle fournie avec les gants.

Ces gants haptiques, pensés pour la réalité virtuelle et augmentée, permettent un suivi précis des mains et des doigts grâce à 7 capteurs IMU. Les Senso possèdent un moteur de vibrations, placé sur chaque doigt, rendant ainsi l'immersion plus réelle. Aucun système de retour de force n'est disponible ici.



FIGURE 4.69 – Gants haptiques Senso vus du dessus



FIGURE 4.70 – Gants haptiques Senso vus du dessus

Les fonctionnalités haptiques du gant Senso sont limitées à retour tactile, caractérisé par un moteur de vibrations, disposé au bout de chaque doigt. De ce fait, le Senso ne peut reproduire ni la forme, ni la taille ni la rigidité de l'objet avec lequel il interagit. Par contre, le système de vibration du gant permet de simuler à la fois la rugosité de l'objet, en variant la puissance de la vibration, à la fois les actions interactives comme le clic sur un bouton ou le ressenti d'une explosion.

Aussi, les gants Senso possèdent un gyroscope, un magnétomètre et un accéléromètre afin de récolter un maximum de données sur les mouvements effectués par l'utilisateur

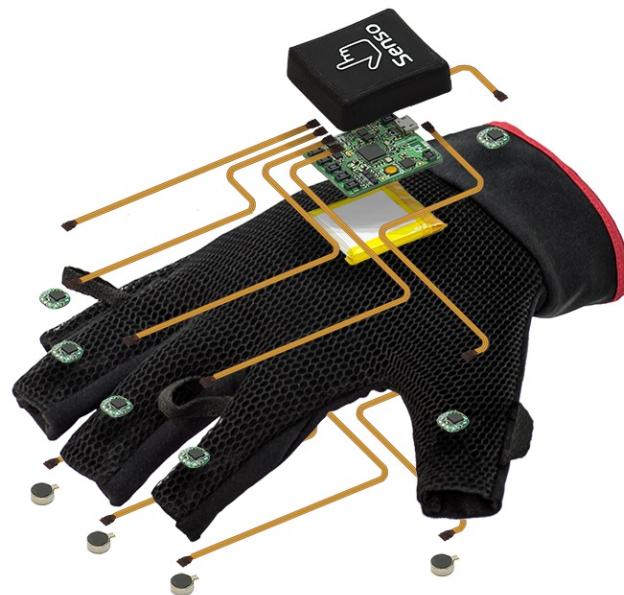


FIGURE 4.71 – Composition du gant Senso

L'utilisation des gants haptiques Senso passe par une connexion client-serveur (*SENSO_UI* et *SENSO_BLE_SERVER*). La mise en place de cette dernière, ainsi que l'installation et l'utilisation des gants sont détaillées dans le fichier annexe **SensoGlove Details**.

4.7.2 Présentation générale

La scène des Senso, *SensoGlove_Park*, est représentée dans la figure ci-dessous.



FIGURE 4.72 – Scène SensoGlove_Park

Tous les objets, à l'exception des boutons, peuvent être ramassés, entre le pouce et l'index, et relâchés. Pour cela, chaque objet implémente le script **Senso_Material**, qui a pour rôle de fournir les configurations nécessaires aux interactions entre la main virtuelle et l'objet.

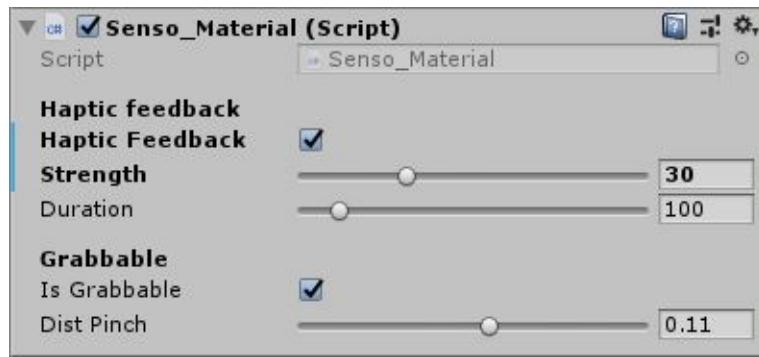


FIGURE 4.73 – Présentation du script *Senso_Material*

- Haptique feedback : défini le retour tactile du gant. Il est caractérisé par une vibration de puissance *Strength* (allant de 0 à 100%) et de durée *Duration* (de 0 à 1000 ms).
- Grabbable : défini si l'objet peut être ramassé ou pas. Si la case *Is Grabbable* est cochée, l'objet peut être ramassé par un mouvement de pincement entre le pouce et l'index. Le pincement est reconnu lorsque le pouce et l'index sont à *Dist Pinch* de distance, ou moins, l'un de l'autre.

Chaque interaction avec un objet grabbable est caractérisée par une prise en pince, pour se saisir de l'objet, et par un retour tactile. La puissance de ce retour tactile varie selon la rugosité de l'objet saisi, afin de simuler au plus près sa texture. Un objet est relâché dès que la distance entre le pouce et l'index, de la main qui tient l'objet, dépasse la valeur de la propriété *Dist Pinch* du script *Senso_Material*.



FIGURE 4.74 – Prise en pince avec le gant Senso

4.7.3 Table d'objets statiques

Pour rappel, sur la table de gauche sont disposés tous les objets qui ne sont pas destinés à être lancés.



FIGURE 4.75 – Table d'objets statiques de la scène Senso_Park

Nous y retrouvons les trois boutons, détaillés dans la section Boutons, et un teddybear. Aucun autre objet n'est disposé sur cette table car les fonctionnalités haptiques des gants Senso sont limitées à un moteur de vibrations disposé sur chaque doigt.

Teddybear



FIGURE 4.76 – Représentation d'un ours en peluche

Comme dans la scène des SenseGlove, le teddybear est la représentation d'un ours en peluche. Sa texture est caractérisée par un retour tactile. Cela signifie qu'au contact du teddybear avec la main virtuelle Senso, une vibration de *Strength 30%* sera déclenchée sur le doigt avec lequel l'objet est touché.

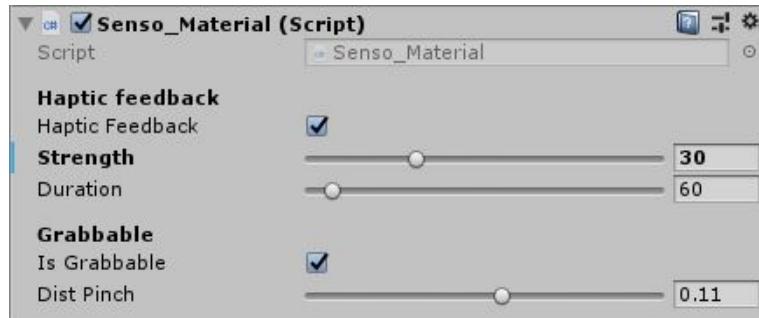


FIGURE 4.77 – Configuration du script *Senso_Material* du Teddybear

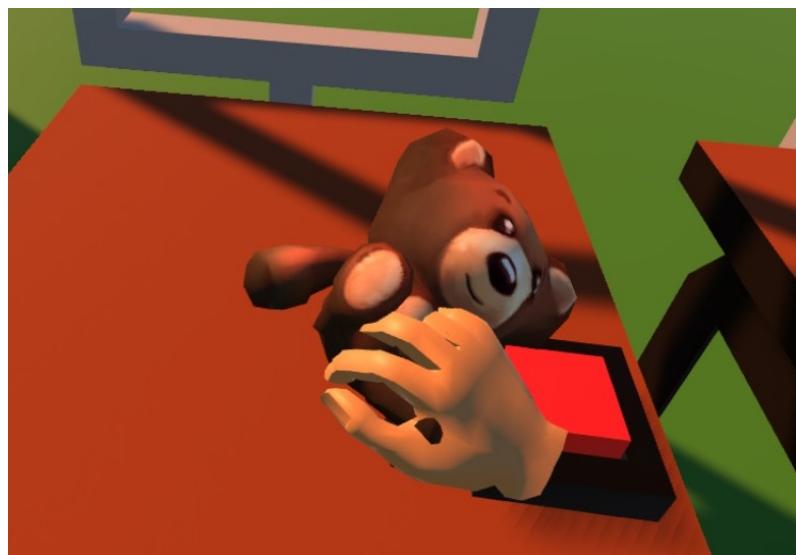


FIGURE 4.78 – Prise en main du teddybear

4.7.4 Table d'objets dynamiques

Sur la table de droite sont posés tous les objets qui sont destinés à être lancés à travers les buts.

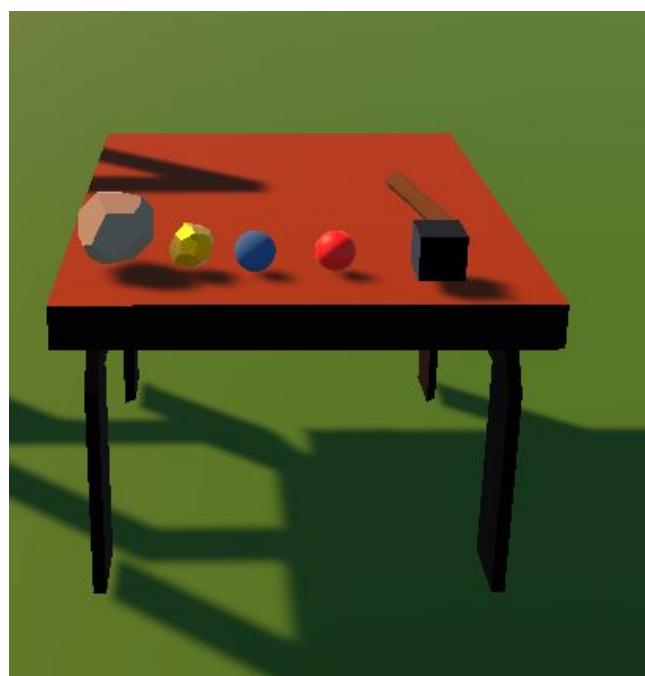


FIGURE 4.79 – Table d'objets dynamiques de la scène *Senso_Park*

Comme la capacité des Senso à ressentir les propriétés des matériaux est restreinte, nous ne détaillerons pas tous les objets présents sur cette table. En effet, la technologie haptique du gant Senso ne fournit qu'un système de retour tactile, caractérisé uniquement par des vibrations à chaque doigt.

Woodstick

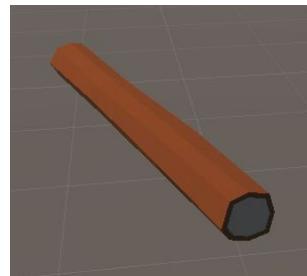


FIGURE 4.80 – Représentation du bâton en bois

Le bâton de bois est l'objet possédant la texture la plus rugueuse. Quand le bâton est en contact avec la main, l'utilisateur ressentira une vibration allant jusqu'à 60% de la puissance maximale des Senso.

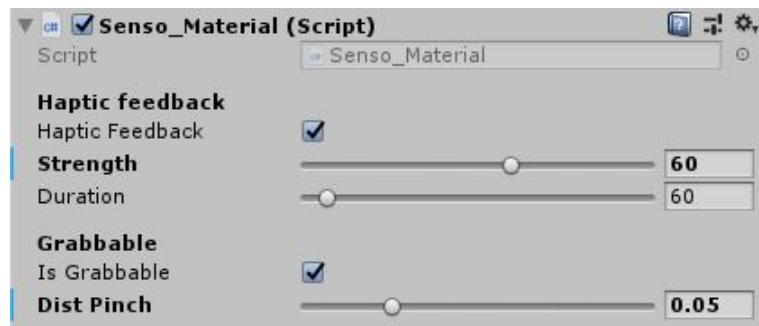


FIGURE 4.81 – Configuration du script *Senso_Material* du Woodstick

Cube

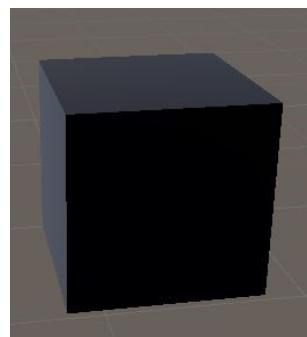


FIGURE 4.82 – Représentation du cube

Contrairement au bâton, le cube possède une texture lisse. Cela signifie qu'aucun retour tactile n'est déclenché par cet objet.

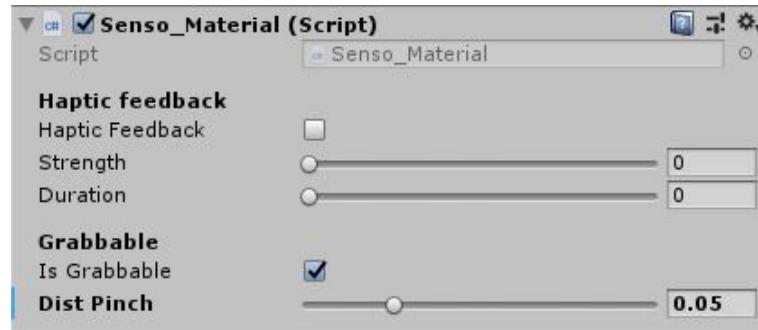


FIGURE 4.83 – Configuration du script *Senso_Material* du Cube

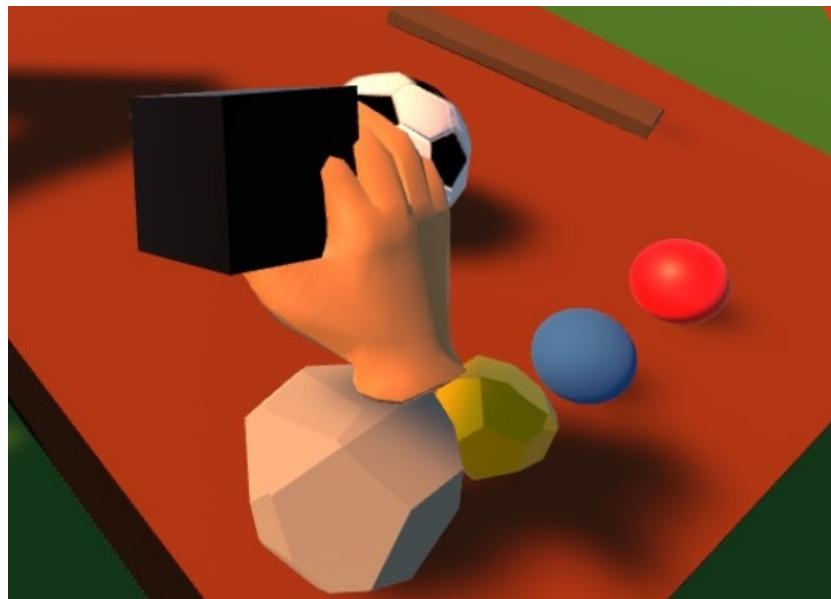


FIGURE 4.84 – Prise en main du cube

4.7.5 Tableau

Le tableau est ici pour donner les informations des Senso à l'utilisateur, en temps réel. Les éléments suivants le compose :

- Icône "batterie" liée à au pourcentage restant de la batterie du gant. Si le gant Senso n'est pas détecté par l'application, cette icône ne sera pas affichée.
- Informations générales sur la scène, sur les gants, et sur les applications de connexion client-serveur externes.

Lorsque notre application Unity ne détecte aucune instance des applications *SENSO_BLE_SERVER* et *SENSO_UI*, le tableau affiche un message indiquant à l'utilisateur de lancer ces programmes. Les détails de la connexion aux gants Senso sont décrits dans le document annexe **SensoGlove Details**.

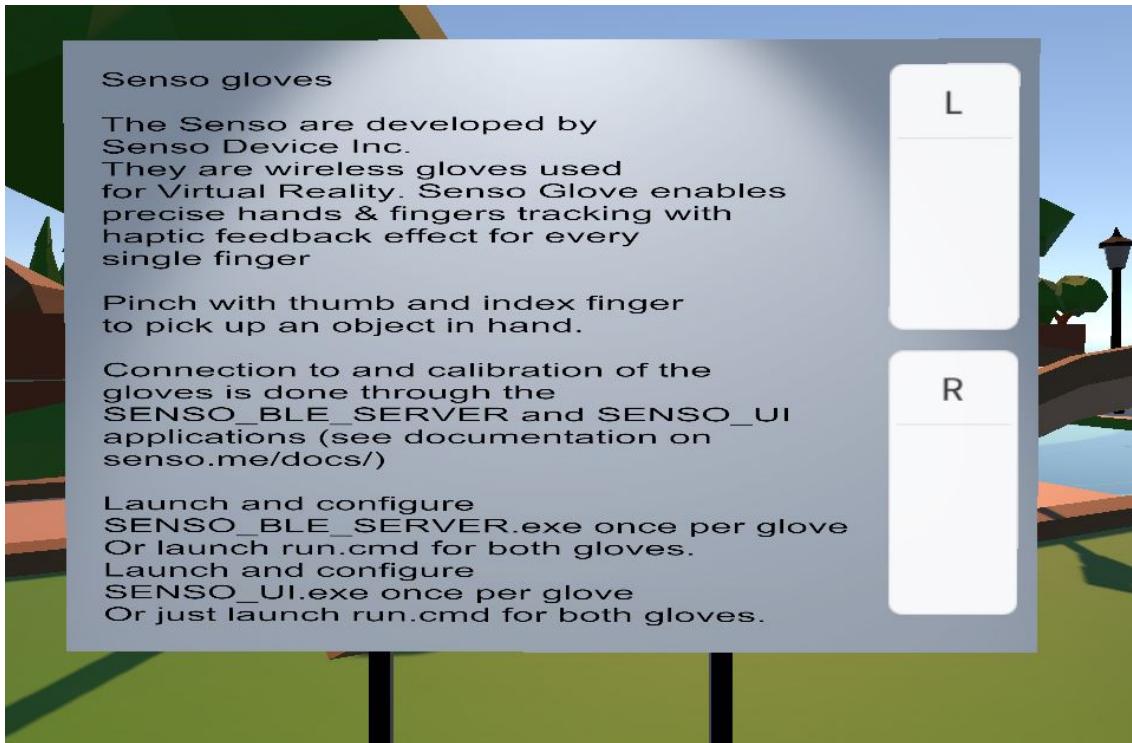


FIGURE 4.85 – Affichage du tableau si aucun gant Senso n'est connecté

Lorsque les applications *SENSO_BLE_SERVER* et *SENSO_UI* sont démarrées, notre application Unity tente de se connecter au serveur. Le message *Try to connect to Senso server* est alors affiché en bas du tableau. Une fois que les applications *SENSO_BLE_SERVER* et *SENSO_UI* ont été démarées, reconnues par Unity, et que les gants ont été calibrés, un logo de batterie est affiché pour chaque gant. Le pourcentage exact de la batterie restante est, quant à lui, indiqué en bas du tableau.

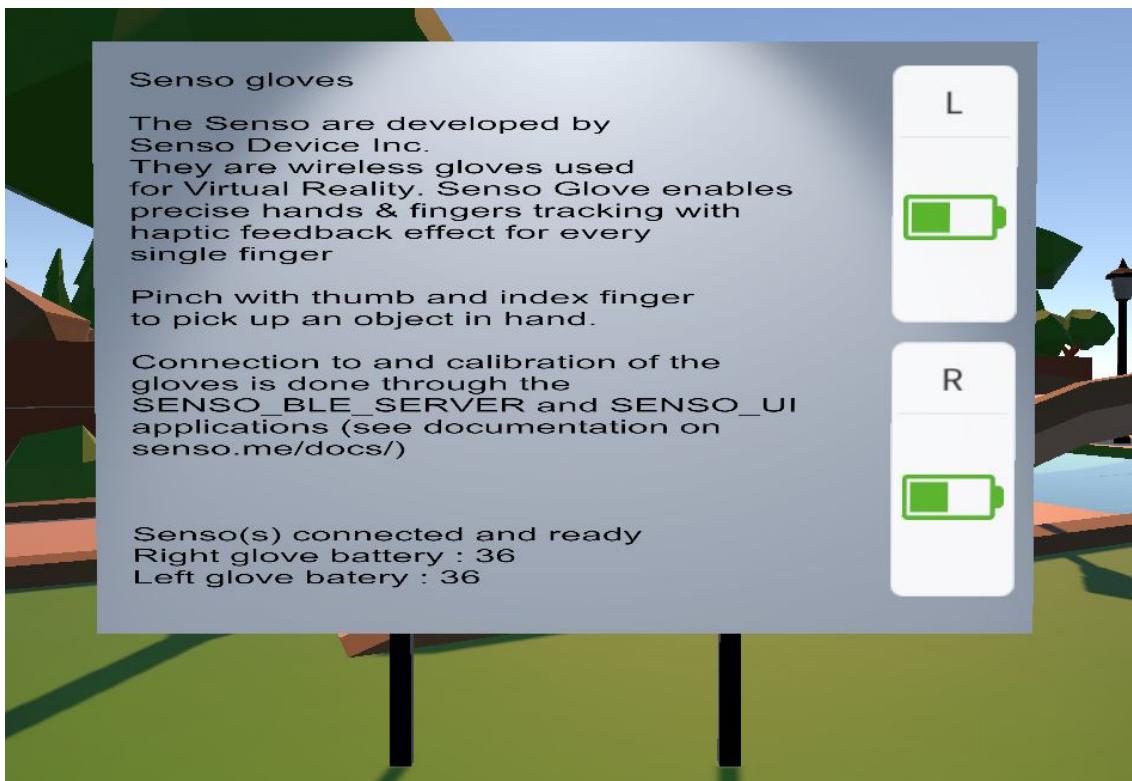


FIGURE 4.86 – Affichage du tableau après la connexion des deux gants Senso

- Le logo batterie pleine signifie que le pourcentage de batterie restant du gant est plus grand que 66%.
- Lorsque la batterie est à moitié remplie, le pourcentage restant est compris entre 33% et 66%.
- La batterie est vide si le pourcentage de batterie restant du gant est plus petit que 33%.
- Finalement, si le logo n'est pas affiché mais que le niveau de batterie est égal à -1, cela signifie que le gant est détecté par l'application Unity, mais qu'il n'a pas encore été calibré.

4.7.6 Problèmes et remarques

Le principal problème des Senso vient de la connexion client-serveur nécessaire à l'utilisation des gants. En effet, si cette connexion n'est pas instanciée, les gants ne fonctionneront pas.

La connexion bluetooth est responsable de la reproduction des mouvements de la main virtuelle de l'application, par les mouvements effectués avec les gants Senso. Aussi, les vibrations déclenchées dans le monde virtuel sont reproduites sur les gants Senso par le biais de cette connexion sans fil. De ce fait, lorsque beaucoup d'informations sont envoyées et reçues en même temps entre le serveur et le client, la reproduction des mouvements du gant Senso sur la main virtuelle est soumise à une latence. Cette dernière peut varier de plusieurs dizaines de millisecondes, jusqu'à une perte de connexion temporaire des gants Senso. Cette latence, bien que temporaire, empêche l'utilisateur d'interagir correctement avec les objets de la scène et donc casse l'immersion ressentie.

Malgré une étude des trames et des données transmises entre le client et le serveur, aucune solution n'a été trouvée pour résoudre ce problème de latence, excepté la diminution des interactions et des mouvements effectués avec les gants. En effet, les trames transmises entre le client et le serveur contiennent les données de position, de rotation, et d'envoi de vibration. Il n'est donc pas possible de modifier ces dernières afin d'alléger le traitement des données.

D'autres problèmes et remarques plus généraux concernant les Senso sont décrits dans le document annexe **SensoGlove Details**.

4.7.7 Conclusion

Pour la conclusion du chapitre sur les gants haptiques Senso, nous nous baserons sur quatre performances, dont trois ont été décrites dans le chapitre 2.3 : la stabilité, la transparence et la résolution de position (précision). Le quatrième paramètre est la connexion. Ce paramètre est ici pour étudier la stabilité de la connexion des gants au PC.

Stabilité

Les capacités de simulation des Senso sont caractérisées uniquement par un retour tactile. Ce retour tactile est déclenché grâce à un moteur de vibration placé au bout de chaque doigt. Ce système permet aux Senso de simuler le ressenti de plusieurs rugosités de texture différentes grâce aux mouvements exploratoires.

Comme aucun système de retour de force n'est disponible sur ces gants, la stabilité du Senso se résume uniquement à sa capacité de reproduction de la rugosité des textures. Ce retour tactile, bien que configurable, n'offre pas un ressenti immersif. En effet, le moteur de vibration n'est pas positionné au bout de chaque doigt mais au milieu de l'avant dernière phalange. De ce fait, les vibrations ne sont pas ressenties sur le bout des doigts, et l'immersion est alors réduite.

Transparence

Le type de gant (traditionnel), sa connexion sans fil et sa souplesse permettent à l'utilisateur d'effectuer n'importe quels mouvements sans être encombré. Effectivement, l'utilisateur ne sera pas limité dans ses mouvements, et, grâce aux composants du gant (moteur de vibration, capteurs et batterie) qui sont assez petits, il sentira peu la présence du dispositif porté.

Résolution de position

La reproduction des mouvements effectués avec les Senso, sur les mains virtuelles de l'application Unity, est grossière. Cette grossièreté est dûe à un modèle de main virtuel imprécis. En effet, la reproduction des doigts et de la paume de la main virtuelle se rapprochent peu des doigts et de la paume d'une main réelle.

Aussi, comme les gants ne couvrent pas les doigts dans leurs intégralité, la précision ressentie lors de l'utilisation des gants Senso est diminuée. Cette diminution de précision affecte directement les interactions avec les objets virtuels car la position des doigts virtuels ne correspond pas toujours à la position et des doigts de la main sur laquelle est placé le gant Senso.

Connexion

Comme détaillé dans le document annexe **SensoGlove Details**, les gants sont reliés au PC par une connexion client-serveur. Cette connexion est instanciée grâce aux applications *SENSO_UI* et *SENSO_BLE_SERVER* et aux clés USB bluetooth branchées au PC. Le serveur et le client s'envoient, de manière bi-directionnelle, les données concernant des gants.

La connexion sans fil est un avantage des Senso, surtout grâce au script *run.cmd* qui facilite la mise en place de cette dernière. Aussi, l'application *SENSO_UI* permet d'avoir une visualisation globale de l'état des gants. Les informations comme la batterie, la calibration ou encore la position du gant sont affichées sur son interface *SENSO_UI* respective.

Cependant, en dépit du script qui facilite la mise en place de la connexion aux gants, cette dernière est instable dès son instantiation. En effet, lorsque trop d'informations sont envoyées entre l'application Unity et le serveur, les gants subissent une latence de plusieurs millisecondes, allant jusqu'à leur déconnexion. Cette latence empêche complètement l'utilisateur d'interagir correctement avec son environnement virtuel, cassant ainsi l'immersion ressentie. Nous remarquons donc que la connexion qui relie les gants au PC est instable. Elle ne supporte pas le surplus de donnée et cela se fait directement ressentir pendant l'utilisation des gants.

4.8 Gants Hi5

4.8.1 Analyse

Les gants haptiques Hi5 VR Gloves sont des gants traditionnels sans fil, développés par la société Noitom Inc. Ils sont désignés pour capturer les actions de la main et des doigts en réalité virtuelle. Leur utilisation n'est possible qu'avec les accessoires compatibles SteamVR (VIVE Tracker).

Les gants possèdent un temps de réponse rapide, une réactivité solide et une facilité d'utilisation pour le transport des mains dans l'environnement virtuel. Un moteur de vibration est présent sur chaque poignet, ce qui permet aux Hi5 de produire des vibrations pour des signaux interactifs comme le clic sur un bouton.

Grâce aux différents capteurs placés sur chaque gant, les Hi5 reproduisent en temps réel et avec précision, les doigts, la main et le poignet par tous les gestes possibles.



FIGURE 4.87 – Gants haptiques Hi5 vus du dessus



FIGURE 4.88 – Gants haptiques Hi5 vus du dessus

Les capacités de ressenti haptiques du gant Hi5 sont limitées à un retour tactile, caractérisé par des vibrations sur chaque poignet. De ce fait, un gant Hi5 ne peut reproduire ni la forme, ni la taille, ni la rugosité, ni la texture de l'objet avec lequel il interagit. En revanche, certains signaux interactifs comme le clic sur un bouton ou le contact d'une goutte de pluie sur la main peuvent être simulés par le retour tactile.

Il n'y a donc aucun ressenti haptique lorsqu'un objet est ramassé avec la main virtuelle, exceptée une vibration au poignet en fonction de l'objet. De plus, le ressenti du retour tactile déclenché au contact entre la main et un objet est faible car la puissance du moteur de vibration est limitée.

La description, l'installation et l'utilisation des gants haptiques Hi5 sont détaillées dans le fichier annexe **Hi5 Details**.

4.8.2 Présentation générale

La scène des Hi5, *Hi5Glove_Park*, est représentée dans la figure ci-dessous.



FIGURE 4.89 – Scène Hi5Glove_Park

Avant toute utilisation des gants, il faut effectuer la procédure de démagnétisation. Cette procédure est décrite plus en détails dans le fichier annexe **Hi5 Details**.

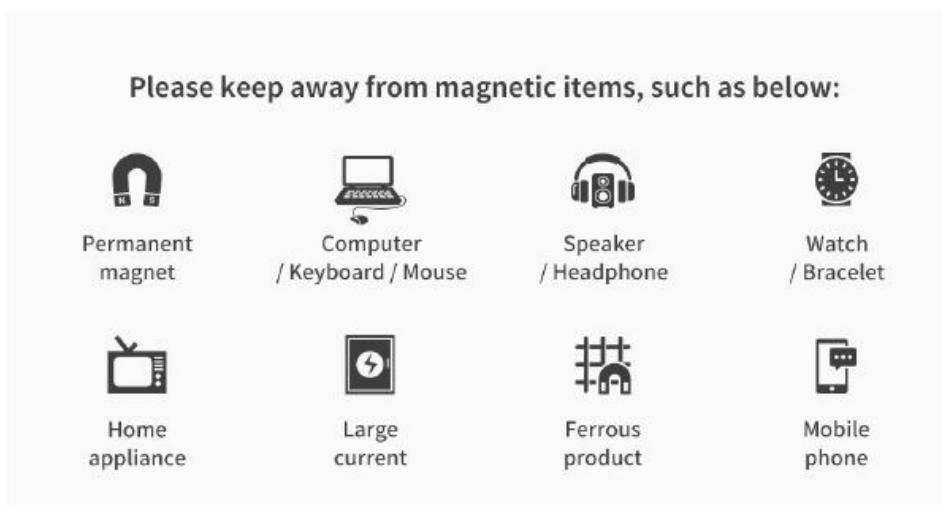


FIGURE 4.90 – Démagnétisation des gants Hi5

Les gants Hi5 ne possèdent pas de système de retour tactile sur chaque doigt. La seule fonctionnalité tactile disponible est un moteur de vibration, placé sur chaque poignet. De ce fait, le ressenti du contact entre la main virtuelle et les objets est limité et identique pour chaque objet. Tous les objets, exceptés les boutons, peuvent être ramassés avec les mains virtuelles. Pour cela, Les Hi5 possèdent trois "forme" de main, chacune caractérisée par une prise et une couleur différente.



FIGURE 4.91 – Prise poing fermé de la main virtuelle



FIGURE 4.92 – Prise poing fermé du gant Hi5



FIGURE 4.93 – Prise main ouverte de la main virtuelle



FIGURE 4.94 – Prise main ouverte du gant Hi5

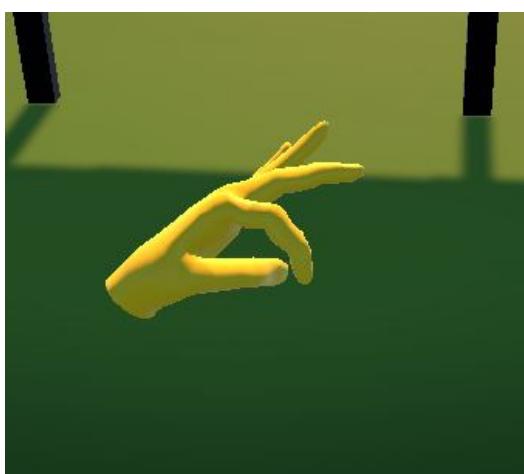


FIGURE 4.95 – Prise en pincement de la main virtuelle



FIGURE 4.96 – Prise en pincement du gant Hi5

- La première prise est caractérisée par la couleur rouge. La main virtuelle prend cette apparence dès que l'utilisateur ferme son poing. Si la main est en contact avec un objet virtuel, ce dernier sera alors ramassé.
- La deuxième prise est définie par la couleur verte. Cela signifie que la main est actuellement en position ouverte. Les objets peuvent alors être portés en positionnant la main sous l'objet désiré, ou en positionnant une main de chaque côté de l'objet.
- La dernière prise est caractérisé par la couleur jaune. La couleur est attribuée à la main si cette dernière est en position de pincement. De plus, si la main est en contact avec un objet virtuel, ce dernier sera alors ramassé.

Les méthodes d'interaction sont définies dans le script *Hi5_Object_Property* du SDK.



FIGURE 4.97 – Propriétés du script *Hi5_Object_Property*

IsPinch signifie que l'objet peut être ramassé en utilisant la prise en pince, caractérisé par une couleur jaune.

IsLift signifie que l'objet peut être porté si la main est en position ouverte, sous le corps que nous souhaitons porter.

IsClap signifie que l'objet peut être porté par les deux mains en même temps.

Les méthodes d'interaction de chaque objet de la scène sont identiques. Tous peuvent être ramassé en mode *pinch*, *lift* ou *clap*.

4.8.3 Table d'objets statiques

Sur la table de gauche sont disposés tous les objets qui ne sont pas destinés à être lancés à travers les buts.



FIGURE 4.98 – Table d'objets statiques de la scène *Hi5Glove_Park*

La table est composée de quatre boutons, détaillés dans la section Boutons, et de deux teddybear.

Teddybear

Les teddybears sont ici pour démontrer un problème de contact entre la main virtuelle et les objets qui possèdent un collider de type *Mesh*. En effet, les objets Unity qui possédant un *Mesh Collider* ne pourront être correctement ramassés qu'à partir d'une certaine taille suffisamment grande. Cette taille limite est propre à chaque objet.

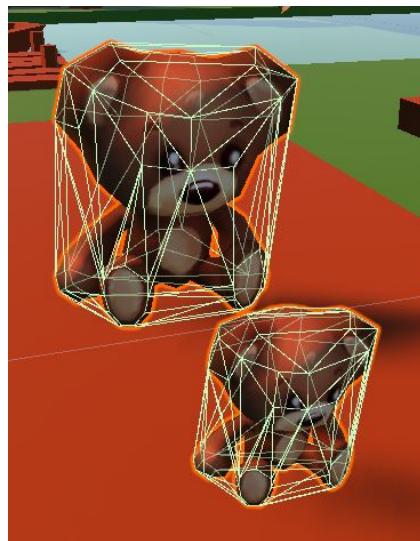


FIGURE 4.99 – Représentation des mesh colliders de chaque ours en peluche

Les teddybears servent de démonstration à ce problème : le gros ours peut être ramassé correctement avec les Hi5, ce qui n'est pas le cas du petit ours. Ce dernier est identique en tout point à l'ours précédent, exceptée sa taille plus petite, qui l'empêche d'être ramassé.

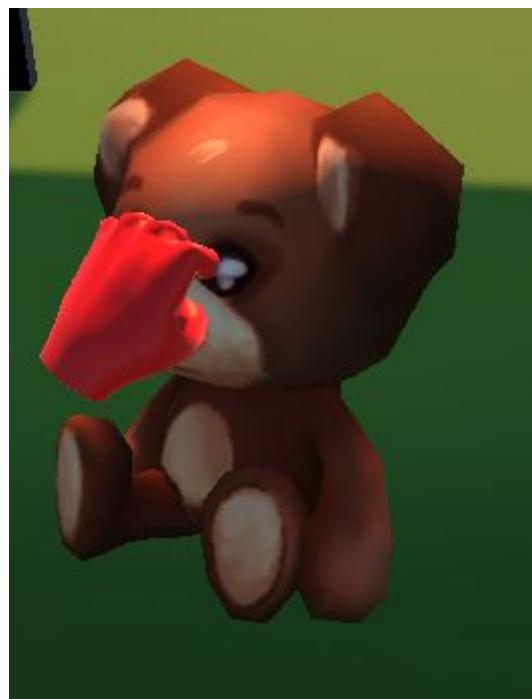


FIGURE 4.100 – Le plus gros ours peut être ramassé

4.8.4 Table d'objets dynamiques

Sur la table de droite sont posés tous les objets qui sont destinés à être lancés à travers les buts.



FIGURE 4.101 – Table d'objets dynamiques de la scène Hi5Glove_Park

Comme la capacité des Hi5 à ressentir les propriétés du matériau des objets est nulle, nous ne détaillerons pas tous les objets présents sur cette table.

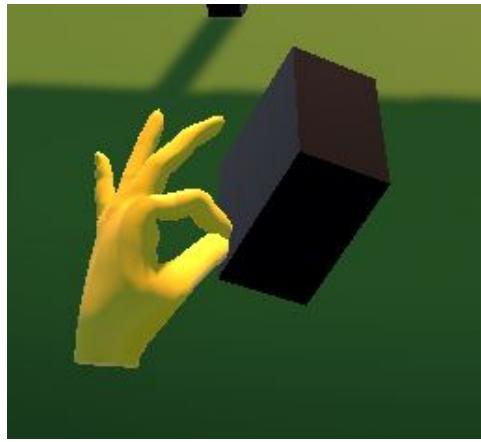


FIGURE 4.102 – Cube ramassé avec la prise en pincement

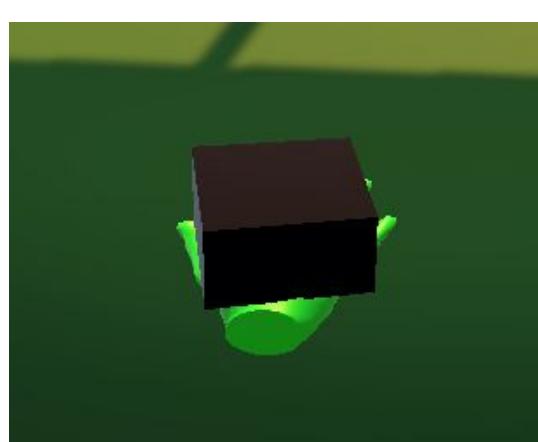


FIGURE 4.103 – Cube porté avec la prise main ouverte

La réactivité et la souplesse des gants haptiques Hi5 permettent de jongler facilement entre les objets. Aussi, les mouvements utilisés pour interagir avec l'objet virtuel sont fidèles aux mouvements effectués dans la vie réelle. Grâce à la fidélité de reproduction de mouvement, à la réactivité et à la précision des gants, l'utilisateur peut lancer les objets en l'air et les rattraper avant qu'ils ne tombent. Il peut également les pousser avec précision en utilisant un doigt. Finalement, l'utilisateur peut lancer les objets aussi loin qu'il le souhaite, sans se soucier du mouvement de lancer effectué ou de son amplitude.

Les buts de la scène *Hi5_Park* ont été placés plus loin que dans les scènes précédentes, car le mouvement de lancer est plus représentatif de la réalité qu'avec les gants précédents.

4.8.5 Tableau

Le tableau est ici pour donner les informations des Hi5 en temps réel à l'utilisateur. Il est composé des éléments suivants :

- Icône "batterie" liée au niveau de batterie de chaque gants. Si les gants sont déconnectés, l'icône ne sera pas affichée.
- Icône "démagnétisation" liée au niveau de démagnétisation de chaque gants. Une icône rouge indique que le gant n'est pas correctement démagnétisé. A l'inverse, une icône de démagnétisation verte indique à l'utilisateur que le processus de démagnétisation du gant a été effectuée.
- Informations générales sur la scène actuelle et sur les Hi5.

Lorsque l'application Unity ne détecte aucun gant Hi5, les icônes "batterie" et "démagnétisation" ne sont pas affichées. Quand les gants sont connectés et reconnus, l'application affiche le niveau de batterie de ces derniers, ainsi que leur niveau de démagnétisation.

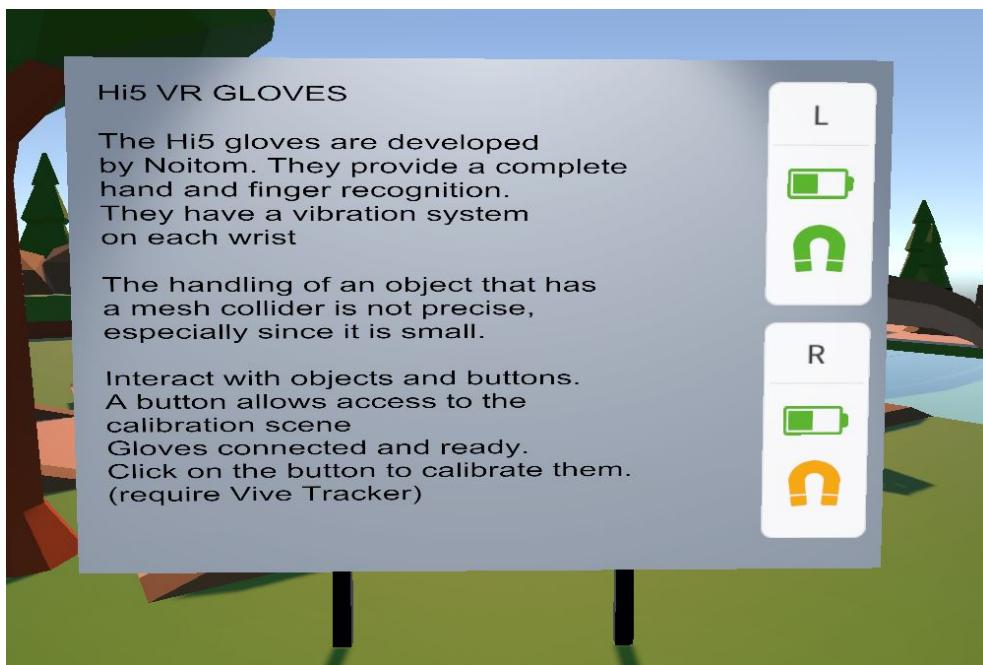


FIGURE 4.104 – Affichage du tableau après la connexion des deux gants Hi5

4.8.6 Problèmes et remarques

A cause de la magnétisation qui est souvent présente, il est difficile de calibrer correctement les gants. En effet, le nombre d'objet à éloigner pour effectuer la démagnétisation est important. Dans la plupart des cas, les gants seront calibrés de manières imprécises. Pour contourner le problème, il est possible de connecter et calibrer qu'un seul gant. La calibration d'un seul gant sera alors plus précise que la calibration des deux gants à la fois. Cependant, les interactions ne pourront se faire correctement qu'avec le gant connecté et calibré.

Aussi, les gants Hi5 ont plus de difficulté à interagir avec les objets possédant un collider de type *Mesh*. Plus le *Mesh collider* est petit, plus il sera difficile de ramasser l'objets avec les gants. A partir d'une certaine taille, propre à chaque objet, ces derniers ne pourront plus être ramassé. Aucune solution n'a été trouvée car le problème est interne au SDK fourni par la team Noitom.

D'autres problèmes et remarques plus généraux concernant les gants Hi5 sont décrits dans le document **Hi5 Details**.

4.8.7 Conclusion

Pour la conclusion du chapitre sur les gants haptiques Hi5, nous nous baserons sur quatre performances, dont trois ont été décrites dans le chapitre 2.3 : la stabilité, la transparence et la résolution de position (précision). Le quatrième paramètre est la connexion. Ce paramètre est ici pour étudier la stabilité de la connexion des gants au PC.

Stabilité

Comme les gants Hi5 n'offrent pas de retour tactile sur chaque doigt, nous ne nous pouvons pas dire que les gants Hi5 possèdent une quelconque stabilité. En effet, le seul retour qu'offre le gant est un retour tactile sur chaque poignet. De ce fait, la rugosité des textures et les propriétés des objets et de leurs matériaux ne peut pas être ressenti. Cependant, ce retour tactile peut être utilisé pour les signaux interactifs tel que le clic sur un bouton ou le ressenti d'une particule.

Transparence

Le type du gant (traditionnel), sa connexion sans fil et sa souplesse permettent à l'utilisateur d'effectuer n'importe quels mouvements sans être encombré. Cependant, le moteur de vibration et la batterie, placés sur le poignet du gant, peuvent empêcher l'utilisateur d'oublier qu'il porte le gant. En effet, ces composants sont gros et encombrants. De plus, le gant Hi5 doit obligatoirement avoir d'un VIVE Tracker attaché à son poignet. Ce périphérique de suivi diminue grandement la transparence du gant pendant son utilisation.

Résolution de position

Lorsque le gant est complètement démagnétisé, la calibration a plus de chance de réussir. Dans ce cas la reproduction des mouvements effectués avec les Hi5, sur les mains virtuelles de la scène Unity, est très précise. En effet, comme le modèle de la main virtuelle se rapproche étroitement d'une vraie main, les mouvements de la paume et des doigts sont d'une grande précision. Cependant, cette précision dépend de la calibration qui, elle, est difficile à réaliser correctement à cause de la magnétisation quasi constante des gants.

La précision de la résolution de position se fait directement ressentir lors de l'utilisation des gants dans un environnement virtuel. Les gants Hi5 reproduisent les mouvements du poignet, de la main et des doigts aussi fidèlement que dans la vraie vie. Grâce à cela, il est possible de jongler, avec aisance, entre les objets de la scène. L'utilisateur peut, par exemple, ramasser une sphère, la lancer et la rattraper avec la main avec autant d'aisance que s'il ne portait pas de gant. En dépit du ressenti provoqué par le retour tactile, quasiment nul, la précision, le dynamisme et la réactivité des gants offrent une immersion qui se fait clairement ressentir durant la démonstration des gants.

Connexion

La réactivité du gant est directement reliée à sa connexion. La clé USB fournie avec les gants supporte toutes les informations de mouvement du Hi5 sans latence ni déconnexion. Aussi, la connexion ne dépend pas d'application externes. Elle est directement reliée au SDK du moteur de jeu Unity, ce qui diminue le temps de latence et, par la même occasion, augmente à la fois la réactivité et la stabilité des gants, à la fois l'immersion obtenue.

4.9 Joysticks Falcons

4.9.1 Analyse

Le joystick Falcon est un appareil à retour haptique développé par la firme Novint Technologies Inc. Ce périphérique haptique, branché en USB, possède un système de retour de force qui permet de ressentir la texture et la résistance des objets. Une autre propriété des Falcons est le ressenti du poids des objets. Son utilisation passe par une boule, reliée au support par 3 tiges. C'est cette boule qui transmet à la main de l'utilisateur les efforts des moteurs.

Avec un temps de réponse rapide, un contrôle sur 3 degrés de liberté et des propriétés haptiques multiples, les Novint Falcons permettent de ressentir la taille, le poids, la forme, la rigidité et la texture des objets. Cependant, la forme du Falcon offre un ressenti et une immersion différente des gants haptiques.



FIGURE 4.105 – Joysticks Falcons

Comme l'utilisateur déplace la poignée (boule) en trois dimensions, X, Y et Z, le logiciel qui utilise le Falcon garde la trace de l'endroit où la poignée est déplacée et crée des forces que l'utilisateur peut sentir, en envoyant des courants aux moteurs du dispositif. Grâce aux tiges reliant la boule au support, les forces peuvent être appliquées à la boule sur 3 dimensions, permettant ainsi à l'utilisateur de ressentir le poids des objets virtuels, mais aussi leur forme, leur taille et leur rigidité.

Les capteurs du Falcon peuvent suivre la position de la poignée à une résolution submillimétrique et les moteurs sont mis à jour 1000 fois par seconde (1 kHz), ce qui donne une réactivité quasi instantanée et un sens du toucher réaliste.

4.9.2 Présentation générale

L'utilisation du joystick Falcon nécessite une connexion au *FalconServer*. La mise en place de cette connexion, ainsi que l'installation et l'utilisation des joysticks sont détaillées dans le fichier annexe **Falcon Details**.

Comme détaillé dans le chapitre ci-dessus, ce dispositif haptique n'est pas présenté sous la forme d'un gant, mais sous la forme d'un joystick. Pour permettre une facilité de contact entre les Falcons et les objets virtuels, nous avons modifié la scène afin de n'avoir qu'une seule table. Tous les objets avec lesquels l'utilisateur peut interagir sont donc répartis sur la même table.

La figure ci-dessous représente la scène des Falcons, *Falcon_Park*.

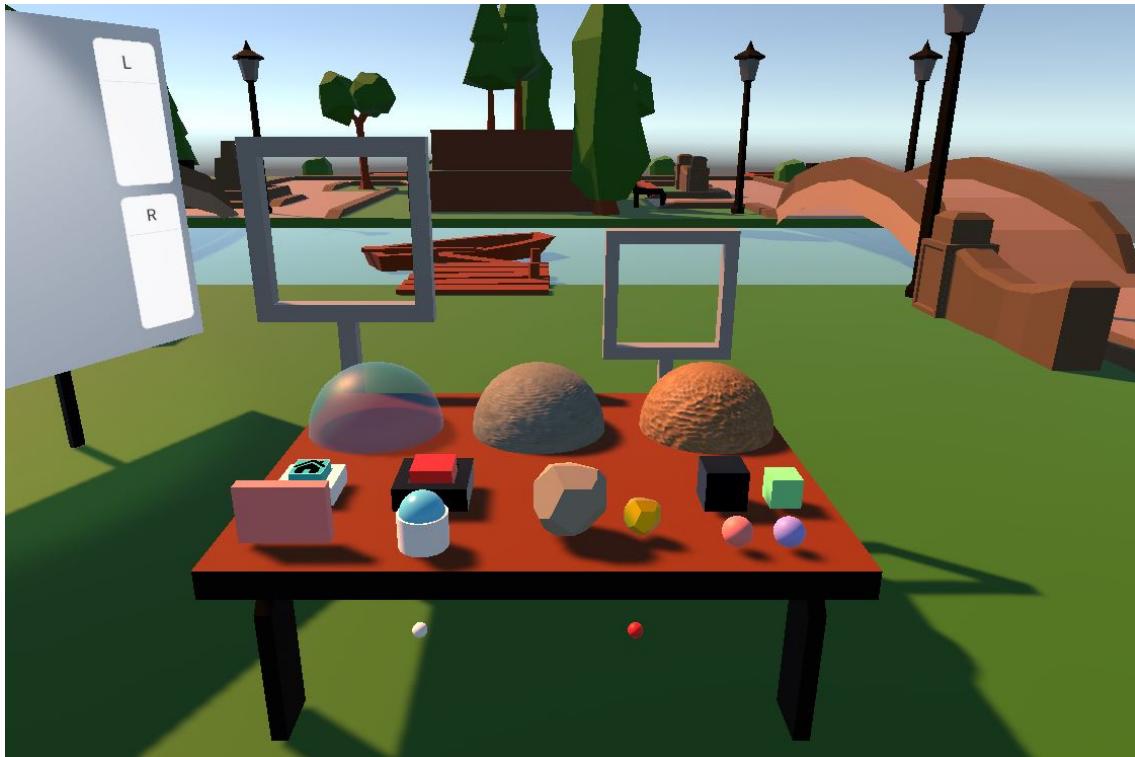


FIGURE 4.106 – Scène Falcon_Park

Chaque Falcon est représenté par une petite sphère. La petite sphère blanche est reliée au premier Falcon instancié. C'est cette même sphère qui sera contrôlée si l'utilisateur ne se sert que d'un seul joystick. La petite sphère rouge est contrôlée par le deuxième Falcon instancié. Les détails concernant l'instanciation des Falcons sont décrits dans le fichier annexe **Falcon Details**.

L'interaction entre une sphère, qui est contrôlée par un Falcon, et un objet virtuel est unique. En effet, grâce au système retour de force, les joysticks Falcons ont la capacité de reproduire les propriétés des objets telles que la taille, la forme, le poids et la texture. Comme les propriétés citées ci-dessus sont différentes pour chaque objet de la scène, le ressenti du contact d'un objet, par le Falcon, sera unique.

4.9.3 Table d'objets statiques

La figure ci-dessous contient les objets statiques de la scène.

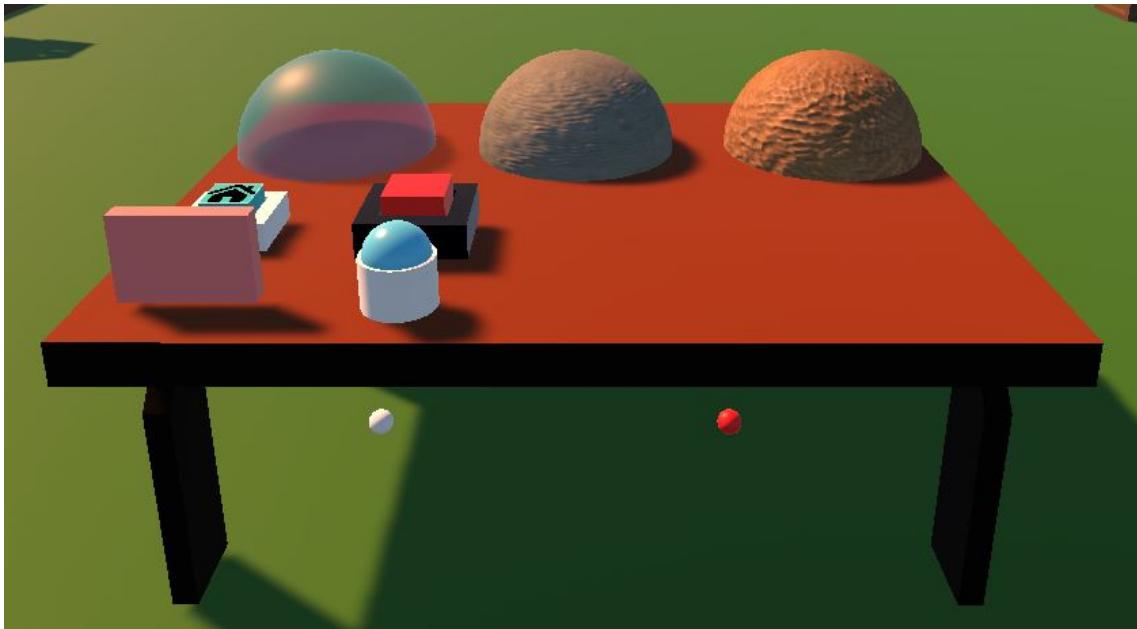


FIGURE 4.107 – Table d'objets statiques de la scène Falcon_Park

Nous y retrouvons les trois boutons détaillés dans la section Boutons, ainsi que quatre autres objets : trois grosses sphères et un "mur" rose.

Aucun de ces objets ne peut être ramassé par le Falcon. Tous les objets, excepté les boutons, sont là pour démontrer différentes capacités de ressenti haptique du Falcon : simulation de texture, simulation d'une forme et simulation de masse.

Sphères

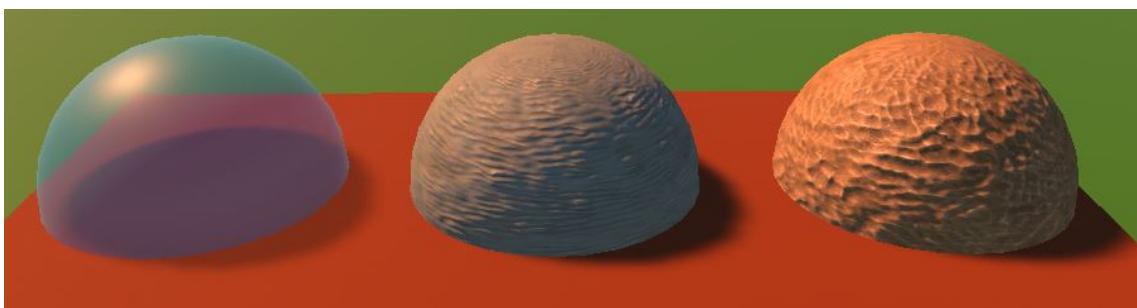


FIGURE 4.108 – Sphères de la table d'objet statiques des Falcons

Les sphères sont ici pour démontrer la capacité du joystick Falcon, à reproduire une texture et une forme. Le frottement d'un Falcon sur la sphère de droite est caractérisé par un retour de force simulant une texture fortement rugueuse.

En revanche, le frottement d'un Falcon sur la sphère de gauche est caractérisé par un retour de force qui simule une texture lisse.

Finalement, la sphère du milieu possède une texture mi-rugueuse, qui est aussi ressentie lors du frottement avec un Falcon.

Parallèlement au ressenti de texture, le joystick Falcon simulera aussi la forme sphérique de l'objet, grâce au système de retour de force du dispositif haptique.

Mur rose

Le rôle du mur rose est de démontrer la puissance du retour de force du Falcon. Cet objet, dont la masse est de 15kg, doit être poussé par le Falcon virtuel afin d'être renversé. Etant donné la masse du mur rose, il est normal de devoir appliquer une force conséquente sur le Falcon.

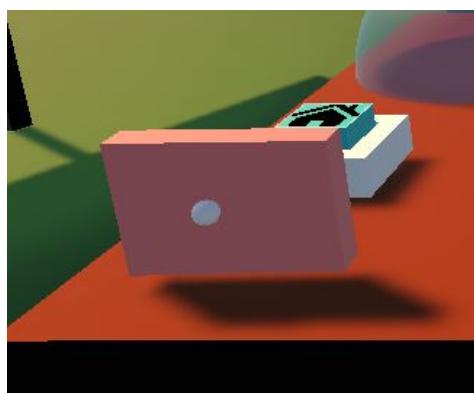


FIGURE 4.109 – Le mur est en train d'être poussé

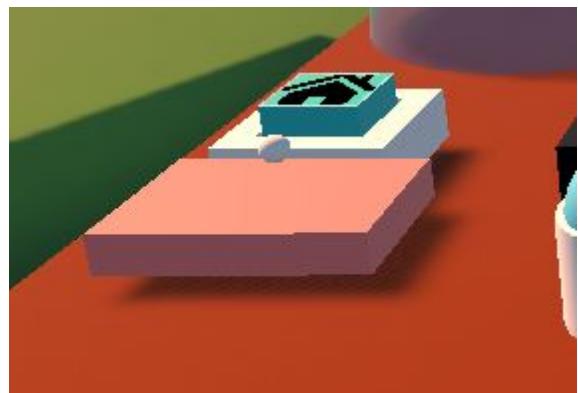


FIGURE 4.110 – Au bout d'une certaine force appliquée, le mur tombe

Le mouvement effectué par l'utilisateur est détaillé dans la figure suivante :



FIGURE 4.111 – Mouvement de poussée

Le mouvement inverse peut également être effectué, en plaçant la boule virtuelle, contrôlée par le Falcon, derrière le mur. L'utilisateur devra alors tirer le joystick vers lui pour renverser le mur.

4.9.4 Table d'objets dynamiques

La figure ci-dessous représente la table contenant les objets dynamiques.

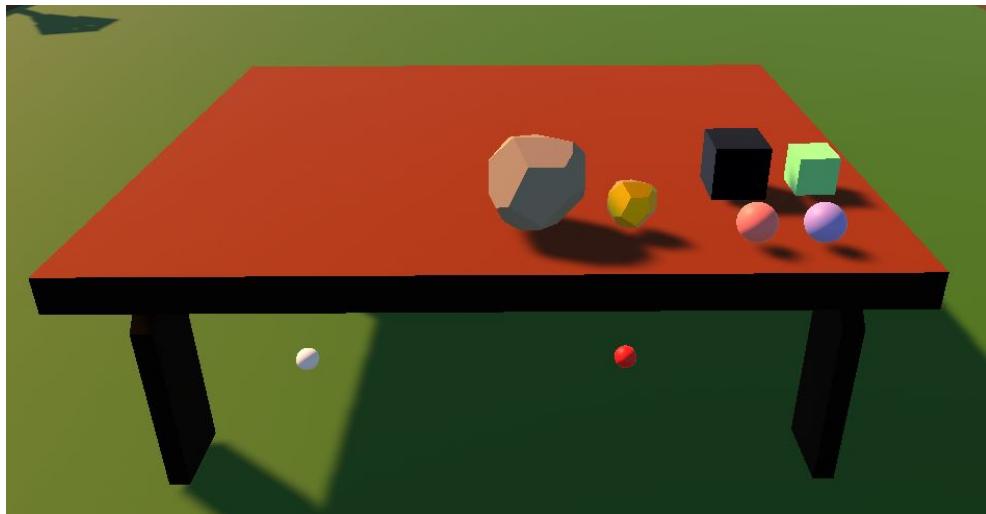


FIGURE 4.112 – Table d'objets dynamiques de la scène Falcon_Park

Les objets dynamiques peuvent tous être ramassés. Cette action se fait en cliquant sur le bouton du milieu de la boule du joystick Falcon. En cliquant une fois sur le bouton, le prochain objet dynamique touché par le Falcon dont le bouton a été pressé sera ramassé. Quand un objet est ramassé, il faut cliquer sur le même bouton, situé au milieu de la boule Falcon, pour le relâcher.



FIGURE 4.113 – Le Falcon gauche est prêt à ramasser la pierre grise.

Une fois que le bouton du milieu a été activé, et que l'objet a été touché, ce dernier prend la place du Falcon virtuel, comme le montre la figure ci-dessous.

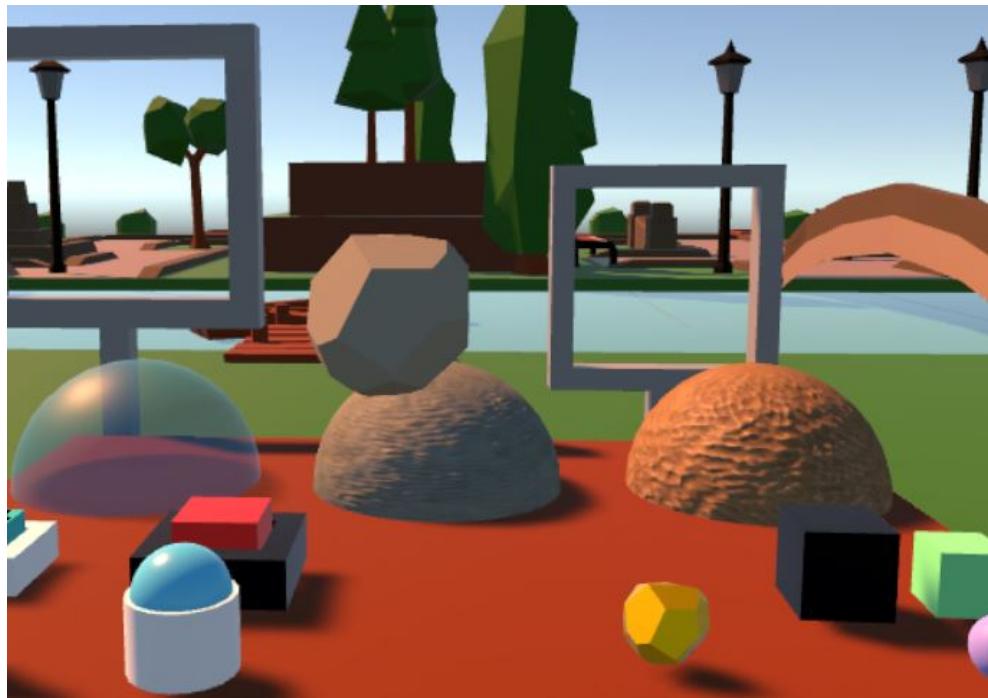


FIGURE 4.114 – La pierre grise a été ramassée par le Falcon gauche

L'utilisateur contrôle alors le Falcon virtuel, au milieu duquel est positionné l'objet attrapé. Dès qu'un objet est ramassé, sa masse est appliquée au joystick Falcon. En plus de pouvoir être ramassés, ces objets, aux propriétés haptiques différentes, sont ici pour démontrer la capacité du Falcon à reproduire leur masse, leur forme et leur taille. Comme les Falcons n'ont pas une structure sous forme de gants, il faut effectuer des mouvements exploratoires autour des objets pour ressentir ces trois propriétés.

Rocks

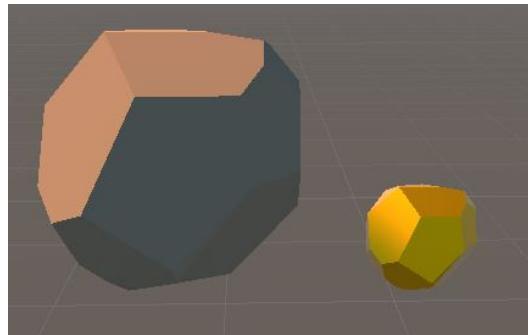


FIGURE 4.115 – Représentation de la pierre et de la pépite

La pierre grise et la pépite en or (qui sont similaires aux scènes précédentes) ont la même forme, avec une taille et une masse différentes. La pierre grise possède une masse virtuelle de 9kg, contre 3kg pour la pépite en or.

Lorsque la pierre grise et la pépite sont ramassées chacune par un Falcon, le retour de force des dispositifs haptiques simulera le poids de leur objet tenu en appliquant une certaine force vers le bas, en fonction de la masse virtuelle de l'objet.



FIGURE 4.116 – Le Falcon gauche tient la pierre grise et le Falcon droit tient la pépite en or

Deux secondes après la capture des objets, nous remarquons que la boule du Falcon gauche est descendue plus bas que la boule du Falcon droit. Cela signifie que la force appliquée sur le Falcon gauche, auquel est rattaché la pierre grise de 9kg, est bien plus grande que la force appliquée sur le Falcon droit, tenant la pépite en or de 3kg.

4.9.5 Tableau

Le tableau est ici pour donner les informations des Falcons à l'utilisateur. Il est composé des éléments suivants :

- Icône "batterie" liée à l'état de connexion des joysticks. Si le Falcon n'est pas connecté, son icône respective ne sera pas affichée.
- Informations générales sur la scène actuelle et sur les joysticks Falcons.

La figure ci-dessous représente le tableau de la scène *Falcon_Park*, avec deux joystick connectés.

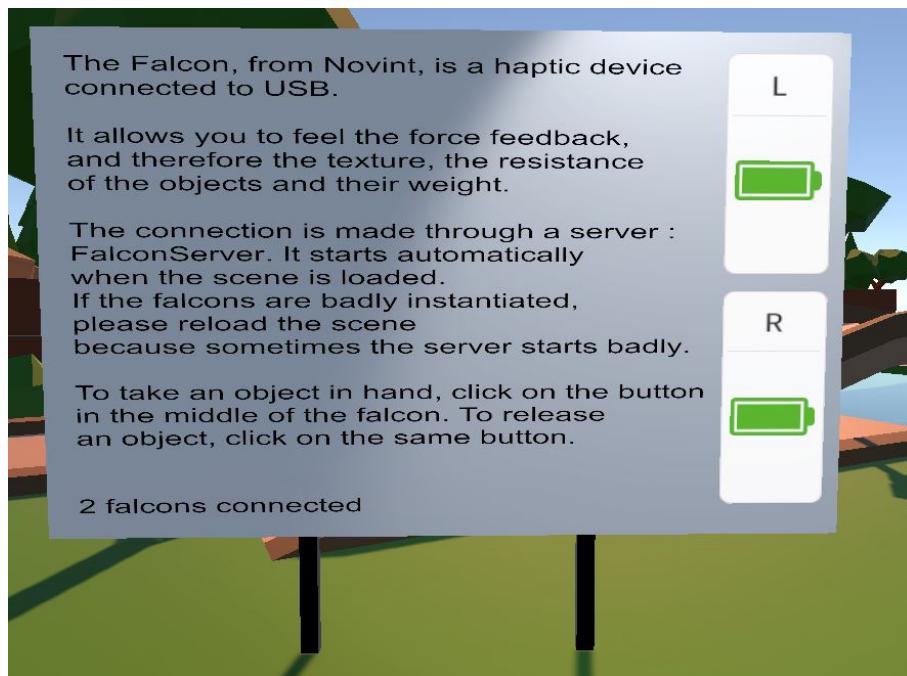
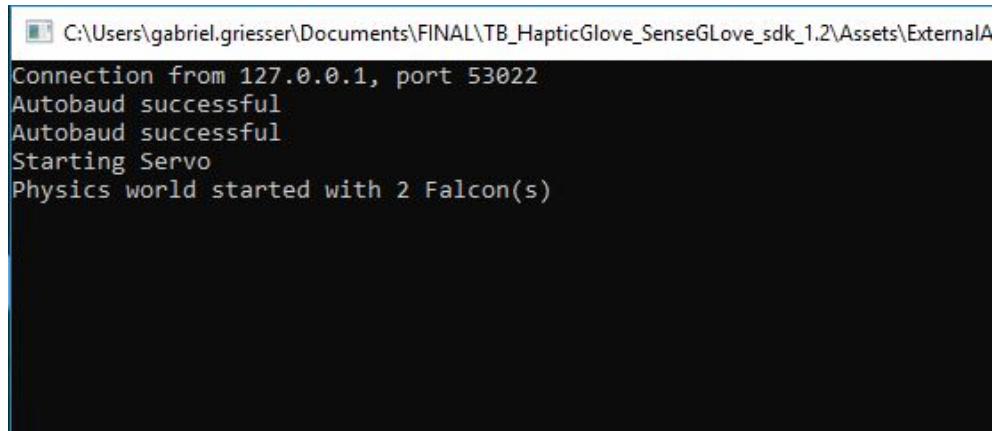


FIGURE 4.117 – Affichage du tableau lorsque deux Falcons sont utilisés

4.9.6 Problèmes et remarques

Un des problèmes des Falcons est obtenu par la mauvaise mise en place d'une instance du *FalconServer*. En effet, même si le serveur reconnaît correctement les deux Falcons, comme sur la figure ci-dessous



```
C:\Users\gabriel.griesser\Documents\FINAL\TB_HapticGlove_SenseGLove_sdk_1.2\Assets\ExternalA
Connection from 127.0.0.1, port 53022
Autobaud successful
Autobaud successful
Starting Servo
Physics world started with 2 Falcon(s)
```

FIGURE 4.118 – *FalconServer* démarré et connecté à deux Falcons

Il se peut que le monde virtuel ne soit pas correctement mis en place. Une mauvaise instanciation du server peut être caractérisée par :

- Un joystick Falcon non connecté au serveur. Dans ce cas, la sphère blanche/rouge reliée au dispositif haptique non connecté ne bougera pas.
- Ou par un joystick Falcon connecté, mais un monde virtuel vide. Cela signifie que le monde virtuel de la scène Unity n'a pas été transmis correctement au *FalconServer*. Dans ce cas, les Falcons virtuels sont contrôlées par les joysticks Falcons, mais ni les forces, ni les collisions ne sont détectées.

Si ce problème devait arriver, la seule solution disponible est de redémarrer l'application et le serveur *FalconServer*.

Pour finir, la fermeture de la scène *Falcon_Park* n'entraîne pas la fermeture de la connexion au serveur *FalconServer*. Le problème vient d'une mauvaise déconnexion des Falcons et d'une mauvaise fermeture du socket utilisé par le serveur. Il n'est donc pas possible, à partir de la scène *Falcon_Park*, de revenir au menu principal pour relancer la même scène qui utilise les joystick Falcons. En effet, comme la connexion au serveur n'aura pas été convenablement éteinte, la nouvelle instance du *FalconServer* ne démarrera pas correctement.

D'autres problèmes et remarques plus généraux concernant les joysticks Falcons sont décrits dans le document **Falcon Details** situé dans les annexes.

4.9.7 Conclusion

Pour la conclusion du chapitre sur les joysticks Falcon, nous nous baserons sur quatre performances, dont trois ont été décrites dans le chapitre 2.3 : la stabilité, la transparence et la résolution de position (précision). Le quatrième paramètre est la connexion. Ce paramètre est ici pour étudier la stabilité de la connexion des joysticks au PC.

Stabilité

Les capacités de simulation des Falcons sont multiples. Grâce à la capacité du retour de force, ce dispositif haptique est capable de simuler la taille, la forme, le poids, la rigidité de l'objet et même la rugosité de sa texture. C'est grâce aux tiges, reliant la boule au support, que des forces peuvent être appliquées dans trois dimensions et donc simuler la forme, la taille et le poids de l'objet.

Comme démontré grâce aux trois sphères statiques de la scène *Falcon_Park*, le joystick peut aussi simuler la texture des objets virtuels avec une grande précision. De plus, la simulation de la forme et de la taille de l'objet améliore le ressenti de la texture de ce dernier. En effet, quand nous parcourons l'objet avec le Falcon, le retour de force provoqué simule avec précision à la fois la taille, la forme et la texture de l'objet. Nous avons donc l'impression de réellement toucher l'objet virtuel.

Finalement, le retour de force du Falcon permet de simuler le poids d'un objet de manière quasiment identique au ressenti obtenu lorsqu'on porte un objet dans la vie réelle. Le poids de l'objet est ressenti dès que le Falcon virtuel entre en contact avec l'objet virtuel. Si ce dernier est ramassé, alors sa masse sera appliquée sur le joystick contrôlé par l'utilisateur grâce à une force déployée vers le bas.

Grâce à son retour de force, le Falcon obtient une grande stabilité. En effet, ses trois tiges, reliées à la boule que l'utilisateur manie, permettent de déployer une force allant jusqu'à 8.9 Newtons, et ainsi simuler les matériaux les plus lourds et les plus solides. La démonstration du mur rose de la scène *Falcon_Park* est un bon exemple de la capacité du Falcon à déployer des une grande force.

Transparence

La grande stabilité du Falcon est mise au profit d'une transparence diminuée. Le dispositif haptique ne se présente pas sous la forme d'un gant, mais sous la forme d'un joystick. De ce fait, l'immersion obtenue est nettement moins grande que celle ressentie en utilisant des gants haptiques. En effet, la forme et la taille du joystick, ainsi que sa prise en main se font clairement ressentir durant l'utilisation du Falcon.

Résolution de position

Les capteurs du Falcon peuvent suivre la position de la poignée à une résolution submillimétrique et les moteurs sont mis à jour 1000 fois par seconde (1 kHz), ce qui donne une réactivité quasi instantanée et un sens du toucher grandement réaliste. En plus de ça, les Falcons n'ont pas besoin d'être calibrés.

Cependant, avec ces joysticks, il arrive que nous ayions du mal à nous repérer dans l'environnement virtuel. Cela est causé par une position statique, elle même causée par la non-portabilité du joystick. Effectivement, comme nous ne pouvons pas nous déplacer, mais que nous contrôlons les Falcons virtuels en trois dimensions, ces derniers sortent parfois de notre champ de vision. Il faut alors les déplacer afin de les localiser à nouveau, et cela peut devenir encombrant dans certains cas.

Connexion

La réactivité du joystick est directement reliée à sa connexion câblée. Cependant, pour intégrer les Falcons à Unity, nous avons dû utiliser un serveur (voir fichier annexe **Falcon Details**). Si ce dernier est bien démarré, alors les Falcons seront stables pour toute l'instance de la scène *Falcon_Park*. En revanche, si le serveur ne démarre pas correctement, il faut redémarrer à la fois la scène et le serveur.

Aussi, à cause de sa mauvaise déconnexion, le serveur ne peut être utilisé qu'une seule fois par instance de l'application TMS => Gants Haptiques.

Bien que ces problèmes puissent ralentir la mise en place de la connexion aux Falcons, il ne diminue ni la réactivité, ni le ressenti ni la stabilité produits par les Falcons.

Conclusion

5.1 Bilan

L'objectif de comparaison des quatre dispositifs haptiques est entièrement rempli. L'étude de l'état de l'art a permis de découvrir et d'analyser les différentes propriétés haptiques des objets et les différentes capacités de retour haptique des dispositifs utilisés. Ainsi, l'environnement virtuel de chaque démonstration a pu être mis en place de façon à pouvoir comparer, pour un même objet, les capacités de retour haptique de chaque matériel utilisé. Grâce à cette comparaison, une étude comparative a pu être rédigée sous forme de tableau. Ce tableau compare, pour chaque matériel haptique utilisé dans ce projet, ses différentes propriétés et caractéristiques.

Les différentes scènes, chacune mettant en place la démonstration d'un matériel haptique, permettent d'utiliser les dispositifs dans un environnement virtuel adapté à leurs besoins. Les objets statiques démontrent clairement les capacités des dispositifs haptiques à reproduire la sensation de mou du matériau d'un objet virtuel, la texture de ce même objet et les signaux interactifs mis en place par les boutons. Les objets dynamiques, quant à eux, permettent de comparer le ressenti de la taille, la forme, le poids et la rigidité de l'objet virtuel avec lequel nous interagissons. Parallèlement à cette comparaison de ressenti, nous nous faisons une idée sur les limites et les contraintes d'utilisation de chaque dispositif haptique utilisé. Finalement, tous ces objets ont pu être mis en place dans une seule et unique application, permettant ainsi à l'utilisateur de jongler entre les gants et le joystick intégrés à ce projet.

5.2 Ressenti

Durant l'utilisation de chaque dispositif, nous avons pu clairement analyser et comparer les différentes capacités de retour haptique de ces derniers.

Grâce au retour de force du joystick Falcon, appliqué sur trois dimensions, la simulation de la texture, de la forme, de la taille et du poids de l'objet se rapproche étroitement du ressenti obtenu dans la vie réelle. Ce ressenti est également renforcé grâce à la puissance maximale du retour de force du Falcon. Comme cette dernière avoisine les 9 Newtons, le Falcon reproduit de manière encore plus fidèle la rigidité des objets virtuels. La simulation de la texture d'un objet virtuel, quant à elle, se fait grâce à plusieurs micro retours de force, et non pas grâce à un système de vibration comme pour les gants haptiques. De ce fait, le ressenti obtenu est bien meilleur qu'avec les trois autres dispositifs haptiques. En effet, le ressenti de la rugosité d'une texture réelle se caractérise plus par des micro retours de force que par des simples vibrations.

Les gants SenseGlove, tout comme les Falcons, ont une bonne capacité de simulation de la taille, de la forme et du matériau des objets virtuels. En revanche, le poids de l'objet, avec lequel le SenseGlove interagit, n'est pas ressenti. Aussi, toujours avec les SenseGlove, la simulation de texture n'est caractérisée que par un retour de vibrations sur chaque doigt et, de ce fait, est ressentie de manière grossière. En revanche, la puissance du système de vibration est un avantage dans l'utilisation du retour tactile pour la simulation de signaux interactifs. C'est ce que nous démontrons avec le bouton explosion, qui déclenche les vibrations de puissance maximale sur chaque doigt.

Les Senso, eux, ne possèdent pas de système de retour de force et donc ne peuvent simuler, que grossièrement, la rugosité de la texture de l'objet. Parallèlement à cette simulation, le retour tactile du Senso peut être utilisé pour reproduire des signaux interactifs. Cependant, en dépit de la taille des gants, la puissance du retour de force est assez grande et peut être utilisée pour simuler de multiples signaux interactifs différents.

Finalement, les gants haptiques Hi5 ne possèdent aucun système de retour haptique pouvant être utilisé dans une comparaison de ressenti des propriétés des objets virtuels. Les moteurs de vibrations des Hi5, qui sont disposés uniquement sur les poignets, ne peuvent être utilisés que dans le cas de signaux interactifs.

5.3 Limites et contraintes

L'intégration des quatre dispositifs haptiques dans une même application permet aussi de comparer les limites et les contraintes liées à l'utilisation de chaque matériel.

Comme démontré dans ce projet, le joystick Falcon offre un meilleur ressenti que les trois autres gants haptiques. En revanche, l'immersion obtenue avec le Falcon est vite limitée car nous ne pouvons ni nous déplacer, ni oublier l'utilisation du joystick. En effet, sa non-portabilité, sa structure et sa prise en main ne nous permet pas de plonger dans l'environnement virtuel de manière aussi efficace qu'avec des gants haptiques.

Bien que le SenseGlove offre une immersion supérieure aux Falcons, et un ressenti haptique bien meilleur que les gants Senso et Hi5, son utilisation est dépendante des câbles de connexion. En effet, notre position et nos mouvements sont limités par la taille du câble qui relie le gant au moteur central. De plus, la structure exo-squelettique du gant et sa mise en place sur la main est encombrante. De ce fait, il nous est difficile d'oublier le port du dispositif haptique durant son utilisation.

L'utilisation du gant Senso, quant à elle, est clairement limitée par la mise en place d'une connexion client-serveur. Comme cette dernière ne supporte pas le surplus de données transmis, les gants ne permettent pas une utilisation aussi stable que les autres dispositifs haptiques. En revanche, si nous n'effectuons pas trop de mouvements et d'interactions en même temps, le gant Senso se fait facilement oublier pendant son utilisation, et l'immersion ressentie est alors augmentée. L'oubli du Senso pendant son utilisation est principalement dû à sa texture souple, légère et élastique, mais aussi à sa forme de gant traditionnel, qui recouvre les doigts uniquement jusqu'au milieu de leurs avant-dernières phalanges.

Finalement, le gant Hi5 possède une grande réactivité et permet de reproduire, avec précision, n'importe quel mouvement que nous effectuons. Par contre, cette reproduction de mouvement nécessite une calibration du gant quasi parfaite. Cette dernière est dépendante de la démagnétisation du Hi5, qui, elle, est difficile à obtenir. Si la calibration est réussite et précise, alors l'utilisation du gant haptique offre une immersion plus grande que celle obtenue avec les trois autres dispositifs haptiques. En effet, la précision, la réactivité et la stabilité du gant nous permettent presque d'oublier son plus grand défaut : l'absence d'un retour haptique complet.

5.4 Domaines d'application des dispositifs

Une fois que les capacités de retour haptique de chaque dispositif ont été analysées et comparées, et que les limites et contraintes d'utilisations ont été définies, nous pouvons, pour chaque matériel haptique, lui attribuer un domaine d'application.

Comme le Falcon offre un retour haptique permettant de simuler la plupart des propriétés des objets virtuels avec précision, le joystick aurait une grande efficacité dans les applications dont l'immersion est moins demandée que le ressenti haptique. En effet, le joystick Falcon est le seul dispositif capable de simuler à la fois la taille, la forme, le poids, la rigidité et la texture de l'objet virtuel. En revanche, cette grande capacité de simulation est mise au profit d'une immersion réduite par la structure et l'utilisation des Falcons. De ce fait, le Falcon est le dispositif idéal pour les projets de grandes envergures, requérant une simulation haptique complète et dont le manque d'immersion ne pose pas de problèmes. L'exemple d'une telle application est le projet TMS, dont le but est de soulever des objets avec des poids.

Le gant haptique SenseGlove permet de simuler la taille, la forme, la rigidité et, bien que grossièrement, la texture de l'objet virtuel. En revanche, malgré une immersion accrue obtenue grâce à la forme du dispositif et à ses capacités haptiques, le SenseGlove ne permet pas de faire des mouvements à notre guise. De ce fait, ce gant haptique est le dispositif idéal pour les applications où l'amplitude des mouvements effectués par l'utilisateur est petite, mais qui nécessitent à la fois un retour haptique puissant et une immersion correcte. Une telle application peut se situer dans le domaine de la médecine avec, par exemple, une application de réhabilitation des doigts, ou de réadaptation des mouvements de la main.

Le gant haptique Senso offre peu de possibilités. En effet, à cause de la latence obtenue par la surabondance de mouvements et d'interactions, le gant ne peut être utilisé que dans les applications simples et légères. Par exemple, le Senso aurait sa place dans une application interactive où l'utilisateur doit cliquer sur différents boutons, ou dans une application qui requiert peu de mouvements de la part de l'utilisateur.

Le gant haptique Hi5 offre une immersion aussi grande que sa précision. Si nous laissons de côté le problème de magnétisation du gant, le Hi5 est le dispositif idéal à la fois pour les applications lourdes et dynamiques, à la fois pour les applications nécessitant une grande précision. Ces deux types d'applications ne doivent pas requérir de retour haptique. En effet, la stabilité, la réactivité et la précision du gant sont mises au profit d'une capacité de simulation haptique presque nulle. De ce fait, le gant Hi5 peut être utilisé dans un simulateur de chirurgie, ou l'utilisateur devra faire partie d'une grande précision. Aussi, le Hi5 peut être intégré dans des applications ludiques et dynamiques comme un simulateur de jonglage.

Bibliographie

- [1] J. Steuer, “Defining virtual reality : Dimensions determining telepresence,” *Journal of Communication*, vol. 42, 1992.
- [2] Sensable Technologies Inc., *OpenHaptics Toolkit version 3.0, Programmer’s Guide*, 1999-2008.
- [3] Bouaziz, “La modalité haptique.” [Online]. Available : http://theses.univ-lyon2.fr/documents/getpart.php?id=lyon2.2004.bouaziz_s&part=269948
- [4] J.-L. Rodríguez, R. Velázquez, C. Del-Valle-Soto, S. Gutiérrez, J. Varona, and J. Enríquez-Zarate, “Active and passive haptic perception of shape : Passive haptics can support navigation,” *Electronics*, vol. 8, 2019.
- [5] C. Pacchierotti, S. Sinclair, M. Solazzi, A. Frisoli, V. Hayward, and D. Prattichizzo, “Weable Haptic Systems for the Fingertip and the Hand : Taxonomy, Review, and Perspectives,” *Transactions on Haptics*, vol. 10, 2017.
- [6] V. Hayward, O. R. Astley, M. Cruz-Hernandez, D. Grant, and G. Robles-De-La-Torre, “Haptic interfaces and devices,” *Sensor Review*, vol. 24, 2004.
- [7] H. Tan, “Perceptual user interfaces : haptic interfaces,” *Communications of the ACM*, vol. 43, 2000.
- [8] Apple Inc., “Take advantage of 3d touch,” 2017. [Online]. Available : <https://developer.apple.com/ios/3d-touch/>
- [9] W. Harris, “How haptic technology works,” 2008. [Online]. Available : <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/haptic-technology.htm>
- [10] H. Culbertson, S. B. Schorr, and A. M. Okamura, “Haptics : The present and future of artificial touch sensation,” *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, vol. 1, 2018.
- [11] C. Systems. [Online]. Available : <http://www.cyberglovesystems.com/cybergrasp>
- [12] M. L. Turner, D. H. Gomez, M. R. Tremblay, and M. Cutkosky, “Preliminary tests of an arm-grounded haptic feedback device in telemanipulation,” 2019.
- [13] M. Bouzit, G. Burdea, G. Popescu, and R. Boian, “The rutgers master ii-new design force-feedback glove,” *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 7, 2002.
- [14] B. D. Jyothi and R. V. Krishnaiah, “Haptic technology- a sense of touch,” *International Journal of Science and Research*, vol. 2, 2013.
- [15] R. Sodhi, I. Poupyrev, M. Glisson, and A. Israr, “Aireal : Interactive tactile experiences in free air,” *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 32, 2013.
- [16] ShadowRobot Inc., “Shadow dexterous hand™,” 2017. [Online]. Available : <http://www.shadowrobot.com/products/dexterous-hand/>
- [17] NASA, “Robonaut r2,” 2012. [Online]. Available : <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-robonaut-58.html>
- [18] S. M. Flynn, B. S. Lange, S. C. Yeh, and A. A. Rizzo, “Virtual reality rehabilitation – what do users with disabilities want ?” 2008. [Online]. Available : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.486.7897>
- [19] T. Kuhlen and C. Dohle, “Virtual reality for physically disabled people,” *Computers in biology and medicine*, vol. 25, 1995.

- [20] R. Mason and R. Manduchi, "Haptic modeling for the blind using the novint falcon." [Online]. Available : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/versions?doi=10.1.1.211.274>
- [21] K. Gudeman, "Illinois researchers developing new technology to assist in-home rehab care." [Online]. Available : <https://csl.illinois.edu/news/illinois-researchers-developing-new-technology-assist-home-rehab-care>
- [22] R. L. Williams II, M. Srivastava, J. N. Howell, D. C. Conatser, Robert R.and Eland, J. M. Burns, and A. G. Chila, "The virtual haptic back for palpatory training," 2007. [Online]. Available : <https://www.ohio.edu/mechanical-faculty/williams/html/PDF/ICMI04.pdf>
- [23] C. J. Jacobus and J. Lynn Griffin, "Method and system for simulating medical procedures including virtual reality and control method and system for use therein," 1998. [Online]. Available : <https://patentimages.storage.googleapis.com/b4/6a/37/d505c9d6a52d24/US5769640.pdf>
- [24] D. Pinzon, S. Byrns, and B. Zheng, "Prevailing trends in haptic feedback simulation for minimally invasive surgery," *Surgical Innovation*, vol. 23, 2016.
- [25] A. Wade, "Midas touch – the technologies driving the haptics revolution," 2017. [Online]. Available : <https://www.theengineer.co.uk/haptic-technologies-revolution/>
- [26] K. Salisbury, F. Conti, and F. Barbagli, "Haptic rendering : Introductory concepts," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 24, 2004.
- [27] M. Lin and K. Salisbury, "Haptic rendering–beyond visual computing," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 24, 2004.
- [28] C. Basdogan, S. De, J. Kim, Manivannan Muniyandi, H. Kim, and M. A. Srinivasan, "Haptics in minimally invasive surgical simulation and training," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 24, 2004.
- [29] Shoon So Oo, N. H. H. Hanif, and I. Elamvazuthi, *Closed-loop force control for haptic simulation : Sensory mode interaction*, 2009.
- [30] J. Perret and E. Vander Poorten, "Touching virtual reality : a review of haptic gloves," 2018.
- [31] N. Ltd., 2019. [Online]. Available : <https://hi5vrglove.com/>
- [32] S. Glove., 2019. [Online]. Available : <https://www.senseglove.com/>
- [33] H. Inc., 2019. [Online]. Available : <https://haptx.com/>
- [34] S. NeuroDigital Technologies, 2019. [Online]. Available : <https://avatarvr.es/>
- [35] S. Martin and N. Hillier, "Characterisation of the novint falcon haptic device for application as a robot manipulator," *Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA)*, 2009.
- [36] T. National Science Foundation, R. E. Stamper, and A. L-w. Tsai, "A three degree of freedom parallel manipulator with only translational degrees of freedom," 2000.
- [37] A. V. Shah, S. Teuscher, E. W. McClain, and J. J. Abbott, "How to build an inexpensive 5-dof haptic device using two novint falcons," in *In Haptics : Generating and Perceiving Tangible Sensations*. Springer, 2010.

Table des figures

1.1	Logo Unity	3
2.2	Haptique actif et passif	5
2.3	Définition de l'haptique	6
2.4	Techologie haptique représentée par une interface	7
2.5	Gant CyberGrasp	8
2.6	Gant Rutgers Master II	8
2.7	Configuration basique des dispositifs haptiques. Casiez, 2004	9
2.8	Système de Vortex pour Disney Aireal	10
2.9	La main Shadow C6M Smart Motor devant la main Shadow C3 Dexterous Air Muscle	11
2.10	Le Robonaut 2 de la Nasa peut soulever des poids d'environ 9kg	11
2.11	Prototype d'un système de réhabilitation basé sur l'haptique	12
2.12	L'haptique peut simuler la sensation de différents types de tissus	12
2.13	Diagramme de blocs d'un système haptique	13
2.14	Gant Hi5 VR Glove (ancien design)	14
2.15	Gant SenseGlove	14
2.16	Tableau de comparaison entre les CyberGrasp et les Rutgers Master II	15
2.17	Gant traditionnel Avatar VR	16
2.18	Gant exo-squelettique HaptX	17
2.19	Cinématique du Falcon	18
2.20	Tableau récapitulatif des différents matériels haptiques	19
3.21	Gant SenseGlove	22
3.22	Gant Senso	23
3.23	Gant Hi5 VR Glove	24
3.24	Gant Avatar VR	26
3.25	Joystick Falcon	27
4.26	La zone d'interaction est délimitée en bleu dans Unity	29
4.27	Menu d'accueil	30
4.28	Menu de sélection de gant	31
4.29	Menu de sélection du numéro de connexion des VIVE Tracker	31
4.30	Menu de sélection du FalconServer	32
4.31	Structure des scènes de l'application	33
4.32	Boutons	33
4.33	Buts	34
4.34	Effet "pluie" activé	34
4.35	Les gants SenseGlove vus de dessus	35
4.36	Les gants SenseGlove vus de dessus	35
4.37	Scène des SenseGlove, SenseGlove_Park	36
4.38	Table d'objets statiques de la scène SenseGlove_Park	36
4.39	Représentation d'un ours en peluche	37
4.40	Interaction avec le teddybear	37
4.41	Représentation de la stressball	38
4.42	Prise en main de la stressball	38
4.43	Représentation du breakable glass	38
4.44	Prise en main du breakable glass	39

4.45	Pénétration d'environ 0.08m dans l'objet. Il est à la limite de se briser	39
4.46	Représentation du breakable container	40
4.47	Objet breakable container cassé	40
4.48	Table d'objets dynamiques de la scène SenseGlove_Park	41
4.49	Représentation de la pierre et de la pépite	41
4.50	Prise en main de la pierre	42
4.51	Retour de force simulant la forme de la pierre	42
4.52	Prise en main de la pépite	42
4.53	Retour de force simulant la forme de la pépite	42
4.54	Représentation du cube et du cylindre	43
4.55	Prise en main du cube	43
4.56	Retour de force simulant la forme du cube	43
4.57	Prise en main du cylindre	44
4.58	Retour de force simulant la forme du cylindre	44
4.59	Représentation des deux sphères	44
4.60	Représentation du bâton en bois	44
4.61	Prise en main du bâton en bois	45
4.62	Retour de force simulant la forme du bâton	45
4.63	Représentation des deux sphères	45
4.64	Début de la calibration des deux gants	46
4.65	Calibration du gant droite terminée	46
4.66	Calibration du gant gauche terminée	47
4.67	Début du mouvement de lancer, l'objet est encore dans la main	48
4.68	Fin du mouvement de lancer, l'objet est alors relâché car les doigts ne sont plus en contact avec ce dernier	48
4.69	Gants haptiques Senso vus du dessus	50
4.70	Gants haptiques Senso vus du dessus	50
4.71	Composition du gant Senso	51
4.72	Scène SensoGlove_Park	51
4.73	Présentation du script <i>Senso_Material</i>	52
4.74	Prise en pince avec le gant Senso	52
4.75	Table d'objets statiques de la scène Senso_Park	53
4.76	Représentation d'un ours en peluche	53
4.77	Configuration du script <i>Senso_Material</i> du Teddybear	54
4.78	Prise en main du teddybear	54
4.79	Table d'objets dynamiques de la scène Senso_Park	54
4.80	Représentation du bâton en bois	55
4.81	Configuration du script <i>Senso_Material</i> du Woodstick	55
4.82	Représentation du cube	55
4.83	Configuration du script <i>Senso_Material</i> du Cube	56
4.84	Prise en main du cube	56
4.85	Affichage du tableau si aucun gant Senso n'est connecté	57
4.86	Affichage du tableau après la connexion des deux gants Senso	57
4.87	Gants haptiques Hi5 vus du dessus	60
4.88	Gants haptiques Hi5 vus du dessus	60
4.89	Scène Hi5Glove_Park	61
4.90	Démagnétisation des gants Hi5	61
4.91	Prise poing fermé de la main virtuelle	62
4.92	Prise poing fermé du gant Hi5	62
4.93	Prise main ouverte de la main virtuelle	62
4.94	Prise main ouverte du gant Hi5	62
4.95	Prise en pincement de la main virtuelle	62
4.96	Prise en pincement du gant Hi5	62
4.97	Propriétés du script <i>Hi5_Object_Property</i>	63

4.98 Table d'objets statiques de la scène Hi5Glove_Park	63
4.99 Représentation des mesh colliders de chaque ours en peluche	64
4.100Le plus gros ours peut être ramassé	64
4.101Table d'objets dynamiques de la scène Hi5Glove_Park	65
4.102Cube ramassé avec la prise en pincement	65
4.103Cube porté avec la prise main ouverte	65
4.104Affichage du tableau après la connexion des deux gants Hi5	66
4.105Joysticks Falcons	68
4.106Scène Falcon_Park	69
4.107Table d'objets statiques de la scène Falcon_Park	70
4.108Sphères de la table d'objet statiques des Falcons	70
4.109Le mur est en train d'être poussé	71
4.110Au bout d'une certaine force appliquée, le mur tombe	71
4.111Mouvement de poussée	71
4.112Table d'objets dynamiques de la scène Falcon_Park	72
4.113Le Falcon gauche est prêt à ramasser la pierre grise.	72
4.114La pierre grise a été ramassée par le Falcon gauche	73
4.115Représentation de la pierre et de la pépite	73
4.116Le Falcon gauche tient la pierre grise et le Falcon droit tient la pépite en or	74
4.117Affichage du tableau lorsque deux Falcons sont utilisés	74
4.118 <i>FalconServer</i> démarré et connecté à deux Falcons	75

Annexes

- Cahier des charges - 19INF-TB228_CC_TMS-Gants haptique_Griesser Gabriel.pdf
- Planning de Gantt - Planning_De_Gantt.mvdx
- Etude comparative - Etude_Comparative.pdf
- Journal de travail - Journal_De_Travail.pdf
- Document SenseGlove - Details - SenseGlove_Details.pdf
- Document SensoGlove - Details - SensoGlove_Details.pdf
- Document Hi5Glove - Details - Hi5Glove_Details.pdf
- Document Falcon - Details - Falcon_Details.pdf