L’haptique

# Situation initiale

La réalité permet aux utilisateurs de s’immerger dans un autre monde de façon plus ou moins efficace : plus les sens sont crédibles (audio, vision, touché…) meilleure est l’immersion. De nombreuses études ont montré que les caractéristiques des mouvements d’exploration ont une grande importance sur les perceptions.

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 d’un des cinq sens du corps humain. L’**haptique** désigne cette science du toucher. Il englobe le toucher et la perception du corps dans l’environnement (phénomènes kinesthésiques).

# L’haptique

L’étendue est fonction de la capacité d’un moyen de communication à présenter l’information à travers le monde. 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 ci-dessus, 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 que le toucher du bout du doigt, cela peut marcher avec n’importe quelle partie du corps. Il est cependant vrai que la première utilisation de l’haptique passe par la main et plus précisément par les doigts grâce auxquels nous pouvons interagir avec le monde tel que nous le connaissons.

Cette science peut être différenciée en deux catégories de perceptions : La perception cutanée et la perception tactilo-kinesthésique.

* La **perception cutanée** ou passive 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 parcours sa paume. Le traitement perceptif ne concerne que les informations cutanées liées au stimulus appliqué sur la main.
* La **perception tactilo-kinesthésique** ou active, désignée en psychologie comme « haptique » par Revesz (1934, 1950), résulte de la stimulation de la peau grâce aux mouvement 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 qui nous intéressera pour le projet.

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**. La **pression** donnera la **dureté du matériau**. Nous avons finalement 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. Certaines de ces actions sont optimales pour les propriétés. Par exemple, le frottement latéral nous donnera une meilleure image de la texture qu’avec le contact statique. Idem pour le soulèvement qui est nécessaire et optimale pour avoir une information sur le poids de l’objet **[3, 4A]**.

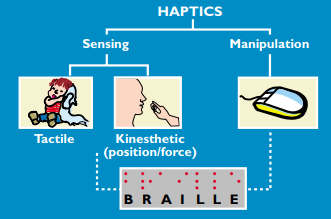


Figure : Définition de l'haptique

# Technologie haptique

La technologie haptique est une rétroaction tactique qui tire parti du sens du toucher de l’utilisateur en appliquant des forces, des vibrations et des mouvement à l’utilisateur.

Les technologies haptiques sont, pour le moment, bien souvent utilisées pour ressentir un contact lors de manipulation d’objets dans un monde virtuel en 3D. A court terme, elles permettront à quiconque les utilisent de s’immerger dans son environnement virtuel (souvent représenté par le biais d’un casque de réalité virtuelle) à l’aide de ses cinq sens.

Parallèlement à cette utilisation, cette technologie est 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 capteur de pression sous l’écran. A défaut des systèmes visuels et auditifs existants, les **interfaces haptiques** permettent une **perception couplée à une interaction dans le milieu [4].** Bien qu’en plein développement, ces dispositifs s’approchent avec difficulté d’une restitution fidèle des sensations tactiles. **[25]**

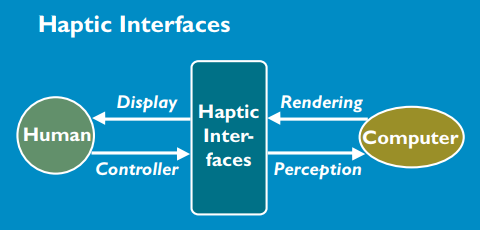


Figure : Technologie haptique

# Dispositif haptique

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*" **[4A]**

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 vêtements et 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) **[13, 14]** et le Master II de Rutgers University **[14A].** Aucun d’entre eux n’a connu de succès commercial.



Figure : Gant Rutger Master II

Figure : Gant CyberGrasp

Ce sont des systèmes tactilo-kinesthésique physique 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 matériel 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 **[5]** :

* 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 des applications telles que la conception assistée par ordinateur, la chirurgie assistée par ordinateur et l’assemblage assistée par ordinateur. Le retour tactile traite des propriétés de surface telles que la rugosité, la température et la douceur de l’objet.

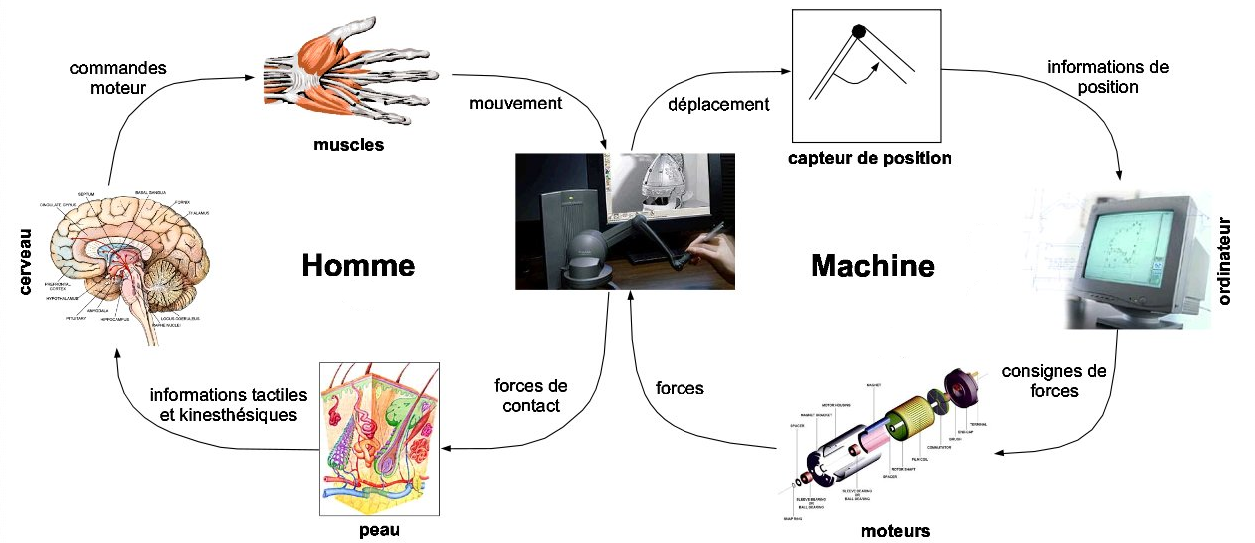


Figure : Configuration basique des dispositifs haptiques. Casiez, 2004

Le système haptique se compose essentiellement de deux parties :

* Partie humaine
* Partie machine

La partie humaine est responsable du contrôle de la position et rotation et ses mains et des doigts, pendant que la partie machine applique les forces sur la main ou les doigts de manière à simuler le contact avec un objet virtuel de la meilleure des façon possible afin de maximiser l’immersion dans le monde virtuel. 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 effectuent la détection de l’objet, le cerveau analyse les données et effectue le traitement et les muscles exécutent l’activation du mouvement effectué par la main **[4, 5]**.

Dans le but de bien différencier les différentes propriétés de la partie machine, nous pouvons en sortir trois performances :

* La stabilité
* La transparence
* La résolution de position

La stabilité correspond à la capacité de reproduction d’un objet, mur ou 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 se caractérise par le **retour de force** dans la plupart des gants haptiques.   
La transparence est perçue par l’utilisateur lorsqu’il manipule directement des objets virtuel. Il doit idéalement pouvoir plonger sans ressentir la dynamique de l’interface haptique. Le poids, le frottement, l’inertie, la facilité de mouvement, etc. du dispositif haptique ne doivent pas être perçus par l’utilisateur.   
Finalement, la résolution de position vise la précision du dispositif. Elle est définie par la plus petite quantité de mouvement sur lequel les capteurs détectent un changement de position. Plus cette résolution de position est précise, plus la démonstration de la rigidité des murs virtuels sera représentative de la réalité.

Bien qu’ils ne soient pas encore autant commercialisés qu’ils ne pourraient l’être, les dispositifs haptiques sont très promus dans certaines entreprises et font l’étude d’un grand nombre de recherche dans le monde entier.

# Domaines d’activité, recherches et implémentations

La technologie haptique promet d’avoir de vastes applications comme elle l’a déjà fait dans certains domaines. Par exemple, la technologie haptique 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 *Bosh* 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 **[6]**. 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.

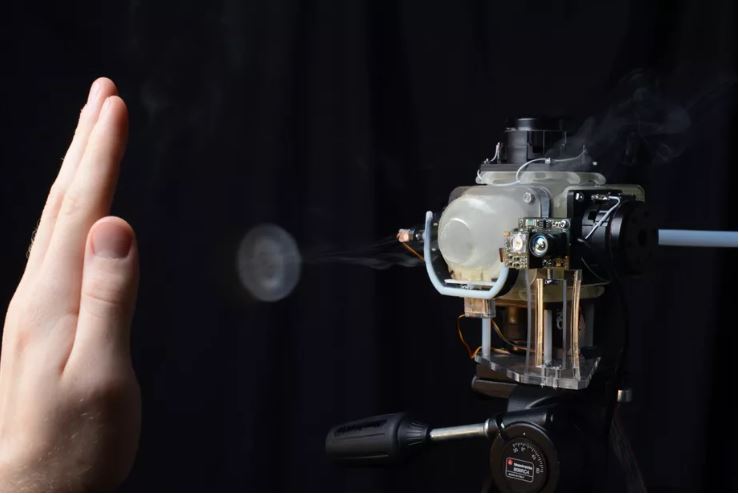


Figure : Système de vortex pour Disney Aireal

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 VR, permettent à leurs utilisateurs un ressenti bien plus réel qu’une simple image couplée à un son.

En robotique, le *Shadow Hand* **[7]** utilise le sens du toucher, de la pression et de la position pour reproduire la force, la délicatesse et la complexité de la prise humaine. Développé par une équipe d’ingénieurs à Londres, le programme continu d’être le sujet de recherche et développement 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 **[8]**.



Figure : Shadow Hand

La technologie haptique est aussi très promue dans le domaine de la médecine et de l’apprentissage ou réapprentissage de gestes métiers ou de la vie quotidienne. L’utilisateur est très souvent impliqué physiquement dans un processus de réapprentissage où ses gestes et actions auront un impact direct dans l’environnement virtuel **[20, 20A]**. Ce domaine est étroitement lié à l’accessibilité des personnes handicapées, en particulier les personnes malvoyantes pour qui le monde numérique reste encore difficile voire impossible d’accès. **[21]**

Une image contenant table, intérieur, portable, ordinateur

Description générée automatiquement

Figure : Prototype d'un système de réhabilitation basé sur l'haptique **[27]**

En médecine, des scientifiques ont tenté avec succès l’intégration d’un dos haptique virtuel dans le programme d’études de l’Ohio **[9]**. Aussi, les interfaces haptiques pour la simulation médicale peuvent s’avérer particulièrement utiles pour la formations à des interventions peu invasives comme la laparoscopie et la radiologie interventionnelle **[10]** ainsi que pour la chirurgie à distance **[11]**. Un avantage particulier de ce type de travail est que les chirurgiens peuvent effectuer plus d’opérations avec un stress et une fatigue moindres.

# Une image contenant personne, intérieur, homme, mur Description générée automatiquement

Figure : L'haptique peut simuler la sensation de différents types de tissus **[28]**

# 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 surtout utilisée pour des interfaces qui essaient de renvoyer la perception du toucher à l’utilisateur.

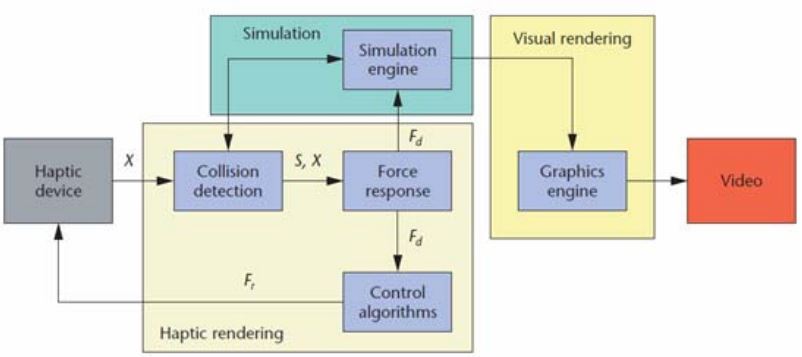


Figure : Diagramme de blocs d'un système haptique

La figure 7 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 **[11A]**

**L’algorithme de détection de collision :** Détecte la collision entre l’objet et l’utilisateur dans l’environnement 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. **[11B]**

**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. **[11C]**

De tous les dispositifs de réalité virtuelle, le gant haptique est à la fois le plus recherché et le plus complexe à développer. En effet, chaque humain a non seulement une taille et une forme de main uniques, mais aussi une paire de mains qui ne sont pas identiques et non symétriques. 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 **[12]**.

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 l’utilisateur. Ils créent ne impression de mouvement et/ou de résistance à travers les muscles. Ces deux types de retours sont bien entendu présents lorsqu’on touche un objet dans la vie réelle **[12]**.

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 portable (c.-à-d. non lourd), ergonomique et ne doit pas entraver les mouvements naturels des doigts **[12]**. 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, soit être adaptable à n’importe quel utilisateur. Cette dernière contrainte est généralement traitée grâce à une sélection de taille différente pour les gants. Malgré une solution qui semble pratique, cette dernière n’est pas aussi simple que cela. En effet, elle devient fastidieuse lorsque les actionneurs ou capteurs doivent être placés très précisément par rapport à l’anatomie de l’utilisateur. Dans le cadre de gants textiles, cela peut se faire sans trop de problèmes pour les Hi5 VR Glove **[15]**. Pour les gants exo squelettiques, des tailles différentes sont très difficiles voire impossibles à mettre en place. Nous avons pour exemple les gants SenseGlove **[17]** ou les HaptX **[13]**



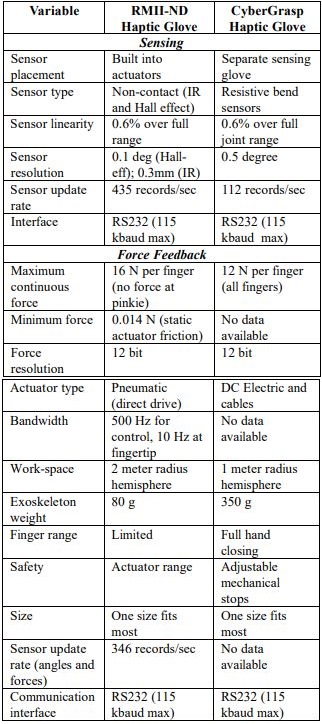
Figure 7: Hi5 Glove

Figure 8: SenseGlove

Une autre problématique concernant ce domaine repose sur les caractéristiques de chaque dispositif. En effet, chaque matériel étant développé 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°C et possède une texture lisse.   
Avec des gants **HaptX [13]**, 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.   
Parallèlement, si j’utilisais les **AvatarVR [18]** , je ne ressentirais ni la texture, ni la température, ni la dureté du matériau. J’aurais quand même la sensation d’avoir un objet dans la main grâce au retour haptique et pourrais le lancer avec autant d’aisance que je le souhaite grâce à la liaison non câblée des gants.   
Avec des **Novint Falcon [19]**, je n’aurais pas un ressenti de la pierre elle-même dans ma main mais je pourrais ressentir son poids, propriété que les gants ci-dessus n’offre pas. En dépit de cela, ces dispositifs sont représentés sous forme de joystick et donc « cassent » l’immersion dans le monde virtuel.

Une étude et comparaison a été faite dans un centre de recherche informatique avec 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 finalement les comparer avec les gants CyberGrasp. **[16]**



La conclusion de cette comparaison rejoint sur beaucoup de points notre étude sur les différentes propriétés des gants haptiques. Nous remarquons donc que la capacité de retour de force, 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 étude **[12]**, nous pouvons également observer que quelque que soit le gant utilisé dans une application, les résultats ne seront jamais parfaitement identiques à une deuxième paire dont les caractéristiques se rapprochent étroitement de la première.

# Classification des matériels haptiques pour ce projet

Pour simplifier l’analyse, la classification suivante sera suivie dans ce travail.

1. Gants traditionnels
2. Gants exo-squelettiques
3. Joystick

Bien que les différentes classes partagent les mêmes objectifs et contraintes, les trois catégories suivent des approches technique très différentes **[12]**. Les sections suivantes décrivent ces catégories et les représente par le biais d’exemples.

Les **gants traditionnels [3]** sont des gants relativement ergonomiques grâce à leur composition textile. Ils sont faits d’un tissu souple, généralement élastique, 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 ne pas se faire trop ressentir lors de l’utilisation du gant.  
Ensuite, l’ensemble de l’équipement (gants, câble, connexion, etc.) doit être flexible et ergonomique. Les mouvement de l’utilisateur ne doivent en aucun cas être limités. Cela inclus la taille/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, cela inclus les étirement lors de l’insertion et de l’extraction. Ces déformations que subi le gant ne doivent ni endommager sa structure ni affecter son fonctionnement.



Figure : Gants traditionnels Avatar VR

Un **gant exo-squelettique [3]** 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 jusqu’à bloquer les doigts de l’utilisateur pour simuler le toucher. Un retour de force autant puissant est caractérisé par les liaisons reliant chaque phalange à l’exosquelette. Bien entendu, il faut se prêter au jeu et pas essayer de « casser » ce retour de force en exerçant une trop grande pression. Aussi, dans certains cas, il sera possible de ressentir la rigidité de l’objet, sa température mais aussi son poids et d’autres propriétés.

En dépit de leurs capacités, quelques contraintes sont à noter pour les utilisateurs. La principale concerne l’ergonomie. Effectivement, les gants exo-squelettiques sont souvent bien plus lourd et plus dérangeant 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 prise en main plus complexe, allant du positionnement sur la main jusqu’au câblage. La plupart de ces gants dérangent à la première prise en main et le port de ces derniers ne passe pas inaperçu durant leurs utilisations, même couplée à un casque VR.



Figure : Gants exo-squelettiques HaptX Gloves

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, non négligeable. Sans difficulté dans leur prise en main, les joysticks sont les premiers dispositifs permettant une liaison entre l’utilisateur et son environnement virtuel. Ils se caractérisent sous différentes formes chacune intégrant leurs propriétés et caractéristiques. Dans le cadre de notre projet, nous utiliserons les Novint Falcons **[19]**. En dépit d’une forme qui peut paraître complexe et douteuse, ce matériel permet une reproduction des gestes en 3 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.

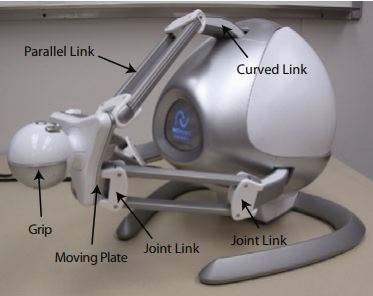


Figure : Cinématique Novint Flacon basé sur [24]

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 Novint Falcons **[23]** ou encore la modélisation haptique pour les non-voyant à l’aide du Novint Falcon **[21]**

# Transition (Conclusion état de l’art)

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, les informations concernant l’environnement et les objets qui nous entourent, d’autre part partie intégrante d’études et de recherches sur son domaine dans le monde entier. Comme développé dans le chapitre [**1. HAPTIQUE**], 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 aux sens comme l’audio et la vision, offre une bien 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 gants haptiques.

La technologie haptique, mise au point par le biais d’interfaces haptiques, permet une perception couplée à une interaction dans cet environnement virtuel. 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.z

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 sera publiée dans les annexes pour le rendu de ce mémoire.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **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 |

# Spécifications

## 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 seront développés par nos propres moyens 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 touchons 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.

## Sense Glove

* **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 à l’adresse suivante : <https://github.com/Adjuvo/SenseGlove-Unity>

* **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 à l’adresse suivante <https://github.com/Adjuvo/SenseGlove-Unity/wiki> 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 de maximiser 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, forme et rigidité différentes. Le modèle des mains sera le même que celui déployé dans le GitHub ci-dessus. Les Sense Glove 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.

## Senso Glove

* **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 <https://senso.me/downloads/drivers/senso-driver-latest.zip> ne fonctionne que pour Windows 7 et les versions supérieures. Une fois le driver installé en suivant les étapes de la documentation <https://senso.me/docs/>, 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 <https://senso.me/downloads/Demo/Senso_Hands_Demo.zip> 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 <https://senso.me/downloads/Unity/SensoPlugin.unitypackage> 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 Sense Glove, nous passerons quelques jours sur l’étude concernant l’intégration des gants. Une page de documentation sur le plugin Unity est disponible ici <https://senso.me/docs/unity/>. 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 uniquement 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 Glove ne fournissent pas de système de retour de force mais uniquement un système de retour tactile caractérisé pas 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.

## Hi5 Glove

* **Installation SDK / Tests des gants.**

Comme pour les deux premiers gants, les Hi5 Glove nécessitent un SDK disponible sur leur site internet <https://hi5vrglove.com/downloads> pour les intégrer à Unity. Nous commencerons donc par le télécharger et tester son bon fonctionnement en l’important directement dans un projet de test / d’exemple fournit par l’équipe de développeurs. Parallèlement à ça, nous effectuerons les tests des Hi5 par le biais des application *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 ViveTracker dans notre projet pourra être mise en place.

* **Recherche sur l’intégration, documentation et prise en main du SDK**.

Plusieurs documents concernant le domaine d’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 se résultant par des vibrations. Nous utiliserons donc principalement le guide *Hi5 Unity Interaction SDK UserGuide v.1.1.0.35* pour permettre aux gants de simuler le toucher avec les objets de notre scène. Parallèlement à la lecture de documents, divers tests et essais seront créés dans des scènes externes pour minimiser 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.

## 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 <https://avatarvr.es/developer/>. Elle nous permettra entre autres de tester le bon fonctionnement des gants, de comprendre leurs technologies et de faire nos premiers pas dans l’utilisation de la technologie haptique mise en place par les Avatar VR.

* **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 <http://docs.neurodigital.es/#/unity/api_v2019.html>. Nous apprendrons notamment à préparer une scène, intégrer les gants à cette dernière et mettre en place les différentes propriétés haptiques disponibles telles que le ressenti d’un objet, ou l’effet de 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.

## Novint 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 <https://hapticshouse.com/pages/drivers> 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 <https://github.com/kbogert/falconunity> 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 de minimiser les erreurs que nous pourrions avoir lors de la prochaine tâche.

* **Intégration au projet Unity**.

Les Falcon 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 Falcon en liens avec nos objets. Une grande partie du code concernant l’intégration aura déjà été acquise et testée durant la tâche précédente afin de minimiser la perte de temps due à la non-documentation du matériel.

## Finalisation

* **Ajout d’un 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 et de changer de matériel haptique et, par la même occasion, 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, d’ajouter divers commentaires au 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 cette des Falcon.

* **Document récapitulatif des matériels**

Finalement, le document de comparaison complet des matériels sera rédigé en dernier. Il permettra à quiconque de le lire d’avoir une idée globale sur les caractéristiques, les capacités et limites 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 de transition, et une partie limites / ressenti / **Avis personnel, mieux pour ça, moins bien pour ça, etc.** 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.

# Références :

[1] *Defining Virtual Reality*, Jonathan Steuer, Journal of Communication, 1992

<http://steinhardtapps.es.its.nyu.edu/create/courses/2015/reading/steuer.pdf>

[2] *OpenHaptics Toolkit version 3.0*, Programmer’s Guide, Sensable Technologies, Inc., 1999-2008

[3] C. Pacchierotti, S. Sinclair, M. Solazzi, A. Frisoli, V. Hayward, and D. Prattichizzo*,   
 “Wearable Haptic Systems for the Fingertip and the Hand: Taxonomy, Review, and Perspectives”,* IEEE Transactions on Haptics (ToH), IEEE, 2017, 10 (4), pp.580 - 600

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7922602>

[4] Harris W., *How Haptic Technology Works*, Juin 2018, Retrieved from <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/haptic-technology.htm>

[4A] V. Hayward, O. R. Astley, M. Cruz-Hernandez, D. Grant et G. Robles-De-La-Torre, *Haptic interfaces and devices*, 2004

<https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/02602280410515770>

[5] B.Divya Jyothi et R. V. Krishnaiah, *Haptic Technology – A Sense of Touch*, International Journal of Science and Research (IJSR), Septembre 2013

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.681.299>

[6] R. Sodhi, I. Poupyrev, M. Glisson, A. Israr, *AIREAL* *:* *Interactive Tactile Experiences in Free Air,* Disney Research, Juillet 2013

<https://www.researchgate.net/publication/262402201_AIREAL_Interactive_tactile_experiences_in_free_air>

[7] ShadowRobot.com , *Shadow Robot Company : The Hand Overview*, 2010

[8] Robonaut.jsc.nasa.org, *Robonaut*, 2010

[9] Ent. ohiou.edu*, Honors And Rewards*, Avril 2008

[10] Jacobus, C., [*Method and system for simulating medical procedures including virtual reality and control method and system*](https://patents.google.com/patent/US5769640A/en)*,* Juin 1998

[11] Pinzon D, Byrns S, Zheng B. *[Prevailing Trends in Haptic Feedback Simulation for Minimally Invasive Surgery](http://nebula.wsimg.com/9a3c4945e03855c95d1ed02338ae2d77?AccessKeyId=46F6B87634D8D667D17E&disposition=0&alloworigin=1). Surgical innovation,* Février 2016

[11A] Lin M., & Salisbury K., *Haptic Rendering—Beyond Visual Computing*, Retrieved from <https://www.computer.org/csdl/magazine/cg/2004/02/mcg2004020022/13rRUwciPhM>, Mars 2004

[11B] Cagatay Basdogan, Suvranu De, Jung Kim, Manivannan Muniyandi, Hyun Kim, and Mandayam A. Srinivasan, *Haptic in Minimally Invasive Surgical Stimulation and Training*, IEEE Computer Graphic and Applications, March/April 2004

[11C] Shoon So Oo, Noor Hazrin Hany and Irraivan Elamvazuthi, 2009, *Closed-loop Force Control for Haptic Simulation: Sensory Mode Interaction*, Proceedings of 3rd IEEE Conference on Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications (CITISIA 2009), 25-26 July 2009, Kuala Lumpur, Malaysia

[12] J. Perret, E. Vander Poorten, *Touching Virtual Reality : a Review of Haptic Gloves*, Haption GmbH and Department of Mechanical Engineering, Juin 2018

[13] <http://www.cyberglovesystems.com/cybergrasp>, Avril 2019

[14] M. Turner, D. Gomez, M. Tremblay and M. Cutkosky, *Preliminary tests of an arm-grounded haptic feedback device in telemanipulation* in Proc. ASME Dyn. Syst. Control Div., 1998, vol. DSC-64, pp. 145–149

[14A] <https://ieeexplore.ieee.org/document/1011262>

[15] <https://hi5vrglove.com/store/hi5glove>, Hi5 Glove Avril 2019

[16] M. Bouzit, G. Popescu, G. Burdea and R. Boian, *The Rutgers Master II-ND Force Feedback Glove*, IEEE VR 2002 Haptics Symposium, Mars 2002

[17] <https://www.senseglove.com/pre-order-form>, Sense Glove Avril 2019

[18] <https://www.neurodigital.es/avatarvr/>, Avatar VR, Avril 2019

[19] S. Martin and N. Hillier, *Characterisation of the Novint Falcon Haptic Device for Application as a Robot Manipulator*, Decembre 2019, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.368.6007&rep=rep1&type=pdf>

[20] S. Flynn, B. Lange, S. Yeh, A. Rizzo, *Virtual reality rehabilitation – what do users with disabilities want ?*, University of Southern California, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.486.7897&rank=3>

[20A] <https://www.researchgate.net/publication/15643955_Virtual_reality_for_physically_disabled_people>

[21] R. Mason, R. Manduchi, *Haptic Modeling for the Blind using the Novint Falcon*, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.211.274&rep=rep1&type=pdf>

[22] Hong Z. Tan, *Haptic Interfaces*, Communication of the ACM, 2000. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.27.4247&rep=rep1&type=pdf>

[23] Aman V. Shah , Scott Teuscher , Eric W. Mcclain , Jake J. Abbott, *How to build a inexpensive 5-dof haptic device using two novint falcon*, 2010, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.712.1139&rep=rep1&type=pdf>

[24] Stamper, R.E*., A Three Degree of Freedom Parallel Manipulator with Only Translational Degrees of Freedom*. PhD thesis, Department of Mechanical Engineering, The University of Maryland (1997)

[25]H. Culberston, S. B. Schorr, A. M. Okamura, *Haptics: The Present and Future of Artificial Touch Sensation*, Annual Review of Control, Robotics and Autonomous Systems, Mai 2018 <https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-control-060117-105043>

[26] Falcon et Unity intégration <https://pdfs.semanticscholar.org/7dcc/a273da5e4add8b0392da775958d38a3e40c5.pdf>

[27] New technologies to assist in-home rehab using haptic

<https://csl.illinois.edu/news/illinois-researchers-developing-new-technology-assist-home-rehab-care>

[28] Midas Touch – the technology driving the haptics revolution

<https://www.theengineer.co.uk/haptic-technologies-revolution/>

Figure 1 image : G. Casiez, *Contribution à l’étude des interfaces haptiques. Le DigiHaptic: un périphérique haptique de bureau à degrés de liberté séparés*. Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille. <https://tornil.me/these/047-bibliographie.html#Casiez2004>

Figure 2 image : J. Blagdon, *Disney’s Aireal lets you feel the imaginary*, Juillet 2013, <https://www.theverge.com/2013/7/25/4555278/aireal-haptic-display-lets-you-feel-imaginary-objects-in-open-air>

Figure 3 image : Shadow Hand wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Shadow_Hand>

Figure 4 image : Google image

Figure 5 image : Google image

Figure 6 image : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.681.299&rep=rep1&type=pdf>

# Bibliographies (Ressources externes, a trouver) :

3D touch : <https://developer.apple.com/ios/3d-touch/>

# Hi5 Gloves

* Très propres
* Livrés sans documentation
  + Tout chercher sur leur site
* Spécialisation dans le tracking avec des VIVE Tracker.

## Prise en main

Utilisation avec un VIVE Tracker sur chaque gant

<https://vvvv.org/blog/using-htc-vive-trackers-without-headset>

<http://help.triadsemi.com/steamvr-tracking/steamvr-tracking-without-an-hmd>

Utilisation sans casque 🡪 Modifs à faire

Mise à jour des 2 vive tracker

Installation de SteamVR (depuis Steam)

Vive tracker connecté mais sa position n’est pas détectée…

## Intégration à Unity

## Problèmes/Remarques

# SenseGlove

* Très technique
* Prise en main difficile
* Liaison câblée chiante.
* Tracking :
  1. Pas de handtracking
  2. On voit seulement les doigts et le poignet bouger
  3. Pas conçu pour porter un VIVE Tracker
  4. Mais un bracelet est fourni avec les gants pour permettre le port d’un VIVE Tracker

## Intégration à Unity

<https://github.com/Adjuvo/SenseGlove-Unity/wiki>

Les scripts principaux (mainScripts) dont on a besoin pour commencer avec les gants sont les 4 suivants :

* **SenseGlove\_Object** : Contient les fonctionnalités pour connecter et recevoir les données d’un SenseGlove
* **SenseGlove\_Data**: Un « snapshot » contenant toutes les données entièrement implémentées que l’on peut recevoir d’un SenseGlove
* **SenseGlove\_DeviceManager** : Est responsable de la connexion et du nettoyage des ressources pour le SenseGlove
* **SenseGlove\_VirtualHand** : Un SenseGlove\_HandModel autorisant l’assignation des « joints » via l’inspecteur.

En suivant, nous avons les prefab de chaque gants (chacun représenté par une main) :

* **SenseGloveHand – Right Grab**: Représente la main droite
* **SenseGloveHand – Left Grab**: Représente la main gauche

Chaque préfab nécessite au minimum 3 scripts pour fonctionner correctement.

* **SenseGlove\_Object**
* **SenseGlove\_VirtualHand**
* **SenseGlove\_PhysGrab**: Ce script, qui peut être utilisé uniquement avec un objet ayant le script SenseGloveObject attaché, est un script de saisie basé sur la physique. Il permet de déterminer quand il faut prendre quelque chose (dans notre cas, quand faut-il prendre un objet).

En plus de ces 3 scripts, un 4ème a été attaché à chaque prefab afin de permettre la calibration de chaque main.

* **SenseGlove\_KeyBinds**: Ce script représente la liste de touche afin d’interagir directement sur les gants. Ces commandes sont directement utilisées par l’utilisateur afin de calibrer les poignets, les doigts ou bien d’autres choses encore.

L’intégration se fait grâce aux différents scripts et prefabs contenus dans le SDK.

Main droite/gauche pour les mains

Les objets sont soumis à différentes propriétés/scripts.

Un script pour le matériel (dur, mou, retour haptique, magnitude, etc.), sa « cassabilité », s’il est attrapable ou pas, etc…

# Matériels

* Le premier matériel mis à disposition par le HE-ARC sont les gants haptiques **Sense Glove.** Ce dispositif haptique possède un retour de force, tactile et une capacité de ressentir la texture (durs, glissants) et la pression (solide) de l’objet 3D !

* Nous avons ensuite le **Novint Falcon**. Un joystick permettant de reproduire les gestes en 3 dimensions. Il permet notamment le ressenti du poids de l’objet, et possède un système de retour de force.



* Le **HaptX Glove**
  + <https://haptx.com/early-access/>
  + Est un gant VR permettant de ressentir la forme, la texture et même la température des objets dans la réalité virtuelle.
  + Il est également possible de sentir si l’objet est mou ou dur.
  + Contacter l’entreprise pour une possible commande.
  + Prix inconnu
* **HoloSuit Lite** est une combinaison pour une main !
  + <https://www.holosuit.com/product/holosuit-lite/>
  + SDK Unity
  + Sensor tracking pour l’avant-bras, bras et épaule
  + Pas beaucoup d’informations
  + Pas d’haptique. Principalement du motion tracking
  + $599.00
* **AvatarVR**
  + [**https://www.neurodigital.es/avatarvr/**](https://www.neurodigital.es/avatarvr/)
  + Gant VR
  + Retour haptique (10 « actionneurs » vibrant à des fréquences naturellement perçues par les humains)
  + Full body tracking
  + 6-8 heures d’autonomie continue
  + Design au top !
  + SDK Unity
  + 2 gants : 1’500€
  + 1 gant (D ou G) : 800€
* **Razer Hydra Gaming Motion Sensing Controller**
  + <https://www.amazon.com/Gaming-Motion-Sensing-Controllers-RZ80-00630200-B3U1/dp/B0052S3ZBG>
  + Plutôt une manette qu’un matériel haptique, mais peut être très bien intégré à ce genre de projet.
  + Contrôleur de reconnaissance de mouvement
  + Contrôle en 3 dimension.
  + Prix : Environ 400$
* **Oculus Touch** 
  + <https://www.fr.fnac.ch/Manettes-Oculus-Touch-pour-Oculus-Rift/a10126054>
  + Contrôler à détection de mouvement
  + Tracking reconnaissant le pouce, l’index et le majeur.
  + Prise en main exemplaire
  + Ergonomie parfaite
  + Prix : 119€
* **bHaptixs TactSuit**
  + <https://www.bhaptics.com/>
  + Ensemble composé d’une veste, manches et masque haptique !
  + Sensations torse, bras et visage
  + 87 points de retour haptique
  + Logiciel dédié pour l’édition haptique (fournit avec la commande)
  + SDK Unity
  + Prix : 549$
* **Capto Glove**
  + <https://www.captoglove.com/shop/>
  + Conversion des gestes de la main du porteur en commandes
  + Utilisation dans le domaine santé, JV, professionnelle, etc.
  + Approche différente du gant VR
  + SDK Unity et Unreal
  + Prix : 490$
* **Dexmo**
  + <https://www.dextarobotics.com/en-us/#product>
  + Gants VR Exosquelettiques
  + Sentir la forme, taille, rigidité des objets
  + Retour de force +++
  + Hyper précis
  + Connection sans fil
  + SDK Unity/Unreal
  + Environ $250
* **Hi5 VR Glove**
  + <https://hi5vrglove.com/#features>
  + Gants VR
  + Retour haptique
  + Full finger tracking
  + Low latency
  + Batterie remplaçable/rechargeable
  + SDK Unity/Unreal
  + Délivrés en 6 jours ouvrables dans la plupart des destinations !
  + Prix : $1000
* **Manus VR**
  + <https://manus-vr.com/products/>
  + Tracking des gestes de la mains
  + Surtout des mouvements des doigts
  + Retour haptique
  + 6 heures autonomie
  + Confort +++
  + Marche sans câble avec une latence <5ms
  + HTC Vive et Stream Tracking VR headset
  + Lavables en machine
  + SDK Unity/Unreal + Logiciel donné
  + Livraison 2-5 jours ouvrables
  + Prix : env. $250
* **VMG 35 Plus**