Le Game Design des jeux en réalité virtuelle

Quels sont les nouveaux défis à relever pour les Game Designer de jeux en réalité virtuelle ?



LORANS Julien

Sommaire:

Introduction	2
I Une ergonomie repensée et indispensable a) Simulator Sickness et confort d'utilisation b) Interface utilisateur	3 3 7
II Un tout nouveau Gameplay à réinventer a) Les différents périphériques d'entrées b) Locomotion c) Mécanique principal et genre de jeu	11 11 17 20
III Des mondes de jeux plus cohérent et immersif. a) Level design b) Narration	23 23 26
Conclusion	28
Annexes - Lexiques - Sources - Schémas	29 29 30 34

Nous sommes en 2016. Le 05 avril est une date importante pour l'industrie du jeu vidéo. C'est la date de sortie du premier casque de réalité virtuelle « haut de gamme » sur le marché. La réalité virtuelle arrive pour les joueurs du monde entier. C'est un secteur qui débute et dont les applications sortent même du cadre du jeu vidéo. C'est un domaine fascinant qui va apporter de nouvelles expériences vidéo ludiques. On peut se demander quels sont les nouveaux défis à résoudre pour les Game Designer de jeux en réalité virtuelle.

Mais qu'est-ce que cette fameuse réalité virtuelle ?

C'est une simulation informatique interactive destinée à immerger l'utilisateur dans un environnement virtuel. La « réalité » de l'environnement est retranscrite à l'aide d'appareils servant à stimuler la vue (sens majeur de l'être humain) ou plusieurs autres sens. Pour cela, on utilise un casque qui va afficher à l'écran l'environnement selon l'orientation du regard. Aujourd'hui, on peut ajouter la proprioception à la liste des sens grâce à la position des mains (à l'aide de manette) qui peuvent être détectées et affichées à l'écran. Cela permet aussi d'interagir avec l'environnement. L'immersion ressentit est alors beaucoup plus importante que précédemment.

La réalité virtuelle devient possible grâce à la technologie qui a suffisamment avancé pour offrir des casques légers et performants. Passons rapidement en revue les différents casques de réalité virtuelle et leur avantage et spécificité. L'oculus rift et le HTC vives sont des casques haut de gamme. Ils procurent les sensations les plus fortes et favorisent, le plus, l'émergence de présence. Le GearVR est un casque bas de gamme qui présente le moins de fonctionnalité. Il est destiné avant tout aux développeurs indépendants. Enfin, le PlayStationVR se situe entre les deux, côté fonctionnalités. Sony le voit plus comme un complément de la PlayStation 4 que comme un tout nouveau support à part entière. Veuillez trouver en annexe une description plus approfondie des différents casques.

L'engouement de la réalité virtuelle est en grande partie dû au phénomène de présence. C'est le sentiment d'être physiquement présent autre part, d'être réellement « dedans ». Cela va apporter des jeux beaucoup plus percutants pour le joueur. Dans mon mémoire, je vais donc considérer comme le fait d'avoir de la présence dans le jeu est un des défis principaux. Le Game designer doit faire attention à la garder tout le long du jeu. Il est possible de réaliser un bon jeu en réalité virtuelle sans avoir de la présence. Néanmoins, la présence est unique à la réalité virtuelle et c'est ce qui la rend si intéressante. C'est un outil puissant qui doit être maitrisé.

I Une ergonomie repensée et indispensable

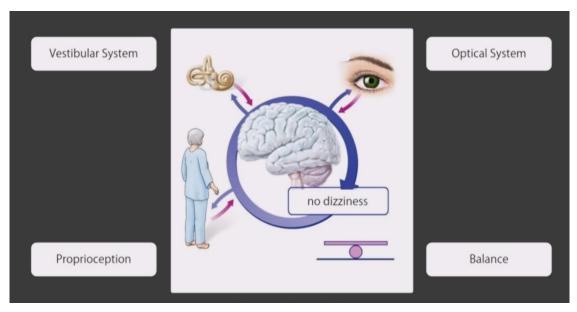
a) Simulator Sickness et confort d'utilisation

Tout d'abord, un peu de vocabulaire, on entend souvent dire Motion Sickness au lieu de Simulator Sickness pour désigner le mal dont souffrent certains joueurs quand ils utilisent un casque de réalité virtuelle. Motion Sickness (pour désigner le mal des transports) est l'ensemble des symptômes que l'on peut ressentir lorsque l'on se déplace à l'aide d'un véhicule.

Le Simulator Sickness est le mal que l'on peut ressentir lorsque l'on regarde un écran. Ce n'est pas exclusif à la réalité virtuelle. Une minorité de joueurs de jeux vidéo classique le ressentent. On peut aussi l'avoir en utilisant un portable ou ordinateur.

Qu'est-ce que le Simulator Sickness ? C'est avant tout un ensemble de symptômes : nausée, mal de tête, maux de ventre, fatigue générale, fatigue visuelle, désorientation, perte d'équilibre et inconfort. Lorsqu'un de ces symptômes commence à apparaitre, ils ne disparaissent pas tant que l'utilisateur n'a pas enlevé son casque. Ces symptômes sont bien plus fort en réalité virtuelle qu'avec n'importe quelle simulation ou écran. Plusieurs raisons existent à cela. Avec le casque de réalité virtuelle l'écran est beaucoup plus proche des yeux et couvre une grande partie du champ visuel. Ce qui veut dire qu'on peut percevoir du mouvement en périphérie contrairement aux autres écrans. La Vection (Illusion de mouvement propre produite par la vision) est beaucoup plus forte. Nos yeux ne se comportent pas comme ils devraient en réalité : dans la vie, nos yeux bougent énormément mais pas beaucoup la tête. En réalité virtuelle, c'est l'inverse. Tout un tas de mécanismes pour percevoir notre environnement vient de ce « balayage » effectué par les yeux, qui n'existe tout simplement pas en réalité virtuelle.

Mais pourquoi tombe-t-on malade lorsque l'on expérimente la réalité virtuelle ? Le domaine est très peu documenté scientifiquement mais il semblerait que les causes soient multiples. La cause principale est un conflit des informations reçues par le cerveau provenant de plusieurs sens.



Dans le cas de la réalité virtuelle, la vue va être la plus grande source de conflit. Notre système visuel va percevoir du mouvement alors que notre système vestibulaire (equilibrioception) ne perçoit pas de mouvement. La vue peut aussi entrer en conflit avec la proprioception. On peut voir nos bras à des emplacements différents qu'ils ne sont en réalité. Cela crée une dissonance des sens, qui peut provoquer par la suite un malaise.

Deux explications possibles :

- Dans la réalité, nos sens envoient des informations au cerveau qui se connectent entre elles. La seule possibilité pour que cela ne soit pas le cas (hors réalité virtuelle) est l'ingestion d'une substance nocive. Le champignon « Psilocybe semilanceata » par exemple provoque des hallucinations qui peuvent nous faire percevoir du mouvement. Au fil de l'évolution de l'espèce humaine, différents automatismes de survie et de protection se sont mis en place. La dissonance des sens était un bon moyen de détecter si l'on a ingéré du poison. Le cerveau nous suggère que nous devrions vomir cette substance en nous rendant nauséeux. Malheureusement cet automatisme est beaucoup moins utile à l'époque moderne. On peut le ressentir lorsque l'on voyage à bord d'un véhicule.
- Une autre cause peut être possible : une dissonance crée « un paradoxe » pour le cerveau. Ce dernier détestant les paradoxes va à tout prix chercher à le résoudre, quitte à créer lui-même les problèmes : « tes sens sont en contradiction car tu es malade. Je vais donc te rendre nauséeux. »

Le Simulator Sickness varie selon les personnes. Il semblerait que seulement 5 à 10% des joueurs souffrent de Simulator Sickness. Les hommes seraient légèrement plus résistants au Simulator Sickness que les femmes. Les jeunes enfants sont plus susceptibles de tomber malade. La résistance au simulator Sickness augmente avec l'âge*.

Le pourcentage de chances de tomber malade augmente si l'on est familier (dans la vraie vie) avec l'activité pratiquée en réalité virtuelle. Par exemple, un pilote d'avion aura plus de chances de tomber malade s'il joue à un jeu où il doit diriger un avion. Plus les personnes sont confrontées à la réalité virtuelle, plus les chances qu'elles tombent malades diminuent. Leur cerveau s'adapte et s'acclimate à la réalité virtuelle.

Si seulement 5 à 10% des personnes tombent malades et qu'elles ont tendance à s'acclimater, pourquoi les Game Designer devraient-ils prendre en compte le Simulator Sickness ?

Tout d'abord, la réalité virtuelle est « jeune ». Aucun consommateur n'a joué suffisamment à des jeux en réalité virtuelle pour s'être accoutumé à cette dernière. De plus, le marché de la réalité virtuelle pour les jeux est assez segmenté, avoir le maximum de joueurs potentiels est critique. Enfin, les personnes qui ont été fortement malades seront très réticentes à l'idée de réessayer la réalité virtuelle. Ils critiqueront en premier le media et non le contenu. Les premiers Game Designer à travailler sur des jeux en réalité virtuelle ne doivent pas seulement faire de « bons » jeux, mais aussi « vendre » la réalité virtuelle dans son ensemble au consommateur. Les personnes qui ont eu une mauvaise expérience des jeux en réalité virtuelle sont souvent plus écoutées que les autres. Réduire le Simulator Sickness est un défi de premier ordre à résoudre tout le long du développement d'un jeu.

Combattre le Simulator Sickness impose de nombreuses contraintes techniques qui peuvent affecter le Game Design. 60 images par seconde est le minimum requis pour un jeu en réalité virtuelle : il faut que l'image soit fluide lorsque l'on regarde et bouge la tête. Mais plus important, il ne doit JAMAIS y avoir un ralentissement ou une baisse du taux d'affichage. Une simple baisse, quelle que soit sa durée, cause un Simulator Sickness instantanément à beaucoup de personnes. Cela impose des contraintes au Game design mais surtout dans les situations de jeux. Par exemple, il n'est pas possible d'avoir dans une même scène beaucoup d'objets interactifs en même temps. Le nombre d'ennemis ne peut pas varier énormément au cours d'une même partie. Ces contraintes sont beaucoup plus fortes sur le

^{* &}lt;a href="http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA295861">http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA295861

GearVR. Il est à noter que Sony impose un taux d'affichage de 120 images par seconde sur n'importe quel jeu en réalité virtuelle sur ses modèles (PlaysationVR).

Cela impose aussi une limitation au niveau des feedbacks et effets visuels dans le jeu. Il faut toujours garder une image nette. Tout effet de flou, tout effet d' « adaptation visuelle » (si le joueur est dans une grotte et qu'il sort de celle-ci, l'image va être saturée de blanc quelques secondes) sont interdits en réalité virtuelle. Cela provoque du Simulator Sickness. En effet, ces effets sont censés reproduire à l'écran des mécanismes



utilisés par l'œil. En réalité virtuelle, ces effets visuels sont produits naturellement par l'œil, les reproduire à l'écran met « mal à l'aise» le cerveau. Au niveau des feedback purs, il faut proscrire tout effet de clignotement ou de flash de l'image et éviter d'utiliser des couleurs trop vives.

Une autre contrainte de Game Design est le temps. L'utilisateur a beaucoup moins de chance de tomber malade si l'expérience est courte. De plus, s'il tombe malade, il doit pouvoir arrêter l'expérience le plus rapidement possible. Les jeux en réalité virtuelle doivent donc être conçus pour être joués par courte session. De plus, l'utilisateur doit pouvoir arrêter la partie à n'importe quel moment, sans craindre de perdre sa progression.

Le Simulator Sickness augmente avec la familiarité de l'activité pratiquée (hors réalité virtuelle). On peut l'utiliser à notre avantage. Par exemple, un jeu à la 1ère personne où le personnage marche a plus de chance de le provoquer. En proposant des expériences nouvelles et jamais expérimentées par l'utilisateur (piloter un vaisseau spatial, par exemple) peuvent réduire le simulator Sickness.

Le plus gros fournisseur de Simulator Sickness est le conflit de sens. Nous allons commencer par celui du système visuel avec le système vestibulaire. Le principal moyen de le résoudre est de réduire le mouvement perçu par notre système visuel. Une solution radicale est donc de faire un jeu où la caméra virtuelle ne bouge tout simplement pas : un jeu à la 1^{ere} personne où l'avatar ne bouge pas, par exemple. Il faut donc éviter les mouvements virtuels de la caméra, c'est-à-dire toute translation et rotation de la caméra qui ne viennent pas directement de la tête du joueur.

Par chance, le système vestibulaire est loin d'être parfait. En réalité il ne détecte que l'accélération/ralentissement/rotation et non la vélocité. En fait, notre oreille interne a trois tubes avec un liquide à l'intérieur. Lorsque l'on va avoir un changement de vélocité, le liquide (endolymphe) va se déplacer dans le tube et va toucher les cils collés à la paroi. Cela va envoyer un signal électrique au cerveau. On peut donc dire que l'on peut avoir du mouvement dans les jeux en réalité virtuelle mais il doit être linéaire et en ligne droite (si le mouvement courbe, le cerveau le perçois comme une rotation) tout le long.

Mais, attention, pour des raisons de confort, il faut que tout mouvement soit contrôlé par le joueur. Les mouvements supplémentaires de gauche à droite (ScreenBob) auparavant utilisés dans les jeux de tir à la première personne ne sont donc plus possible en réalité virtuelle. D'autant plus, de tels mouvements avaient eux-aussi tendance à rendre les joueurs de jeux vidéo classiques nauséeux.

De plus, notre système vestibulaire détecte très bien si l'on est debout. La vue du joueur doit être parallèle à celle de l'horizon. Il faut donc éviter le mouvement rotationnel ou d'avoir une rotation contraire à celle de l'horizon.

Une autre façon d'atténuer la sensation de mouvement est d'utiliser des « illusions » visuelles pour tromper le cerveau. Par exemple, pour les jeux qui se passent en extérieur où il y a peu de montagnes et où le joueur a pratiquement tout le temps un contact visuel avec le ciel, il est suggéré d'utiliser une image de fond fixe au lieu d'utiliser une représentation mouvante du ciel. Le cerveau va alors croire que ce n'est pas lui qui bouge mais que c'est l'environnement autour de lui qui se déplace. Dans la même veine, on peut utiliser des objets de référence : par exemple mettre le joueur dans un cockpit peut atténuer la Vection et donc le sentiment de mouvement. On peut aussi donner un point fixe au joueur à regarder au centre de l'écran. Cela réduit le Simulator Sickness. Par exemple, au cours du développement du jeu (classique) Mirror's Edge, les développeurs se sont aperçus que beaucoup de joueurs souffraient de Simulator Sickness. Ils ont eu alors l'idée de mettre un tout petit point blanc au milieu de l'écran. Inconsciemment, le joueur fixait alors ce point lorsqu'il jouait. Sans que l'on connaisse la raison à ça, les joueurs avaient beaucoup moins de Simulator Sickness après cela.

Un autre moyen de rendre confortable les jeux en réalité virtuelle pour les personnes sensibles au Simulator Sickness est d'ajouter des options de confort. Par exemple, la taille du champ de vision peut être un facteur de simulator Sickness. On peut utiliser un champ de vision modifiable par le joueur. Le jeu « Smash Hit Plunder » pour GearVR propose plusieurs modes de mouvement, laissés au choix du joueur. Le jeu est fait de manière à ce que les différents modes de mouvements n'affectent pas le Gameplay du jeu mais uniquement le confort du joueur. Un mode visuel est aussi proposé au joueur : différents cubes 3D transparents apparaissent autour de ce dernier mais reste à la même position quel que soit les mouvements du joueur. Cela atténue le sentiment de mouvement.

D'ailleurs, un des moyens de lutter contre le conflit entre la vue et la proprioception est la personnalisation obligatoire. Il est conseillé d'éviter de montrer un avatar au joueur lors de la réalité virtuelle à cause justement du sens de proprioception. Néanmoins, si certains jeux imposent d'avoir un avatar visible, il est possible de mitiger l'apparition du Simulator Sickness. On peut laisser à l'utilisateur le choix du sexe de l'avatar (de sorte à ce qu'il soit le même que celui du joueur) ou alors mettre des habits sur l'avatar de manière à ce qu'il soit impossible de reconnaitre le sexe. De même, si de la peau est visible, on peut laisser au joueur le choix de la couleur. Enfin, il faut veiller le plus possible à mettre l'avatar dans la même position que le joueur. Si le joueur est debout, l'avatar est debout, etc.

Le moyen de s'assurer qu'un jeu ne provoque pas de Simulator Sickness est de le faire tester, le plus souvent possible. Mais, ce n'est pas aussi simple qu'un jeu classique. Tout d'abord, les développeurs sont les plus mauvaises cibles à qui faire tester le jeu, à cause de l'accoutumance. Ils sont beaucoup moins sensibles aux Simulation Sickness. Il faut donc le faire tester à des gens extérieurs sensibles. Il faut aussi éviter de le faire tester trop souvent à la même personne, celle-ci va s'acclimater. Organiser des séances de playtest, le plus souvent possible, est donc de rigueur. Ces séances sont compliquées à réaliser. Il faut réussir à réunir suffisamment de matériel (les casques coûtent chers). Lors des séances, il faut éviter de définir le but du playtest au joueur : si on dit qu'ils ont des chances de tomber malade, ils vont s'autosuggérer qu'ils vont tomber malade. Il faut éviter de leur poser des questions sur comment ils se sentent pendant la partie. Leur donner un questionnaire* à la fin de la séance est la meilleure solution. Ce dernier a été approuvé par des chercheurs et est de nature quantitative plus que qualitative. Il existe aussi un second problème : les joueurs mentent souvent sur leur état lors de tests utilisateur en réalité virtuelle. Tom Forsyth, un des programmeurs sur l'Oculus Rift a souvent rencontré ce cas. Pour minimiser cela, il faut faire croire à l'utilisateur que c'est le programme d'une tierce personne ou faire conduire les tests par une autre personne et rappeler au joueur que c'est lui l'expert. C'est le programme qui est à tester, pas lui.

En conclusion de cette partie, le Simulator Sickness est un des défis principaux pour le Game Designer à relever. Celui-ci devra y faire attention tout le long du développement. De ce fait, le Simulator Sickness cause de nombreux autres problèmes. J'en parlerai tout le long de mon mémoire. Néanmoins, dans le futur, il se pourrait que les Game Designers aient moins de problèmes à résoudre dus au Simulator Sickness : deux projets visant à le réduire sont en cours : un casque de Samsung* et un autre vMocion**. Ceux-ci stimulent électriquement l'oreille interne pour lui faire croire au mouvement.

b) Interface utilisateur

La réalité virtuelle change complètement l'interface utilisateur, que ce soit au niveau du HUD (Headup display) ou des menus.

Je vais d'abord aborder les changements au niveau du HUD. En Réalité virtuelle, il n'y a plus vraiment d'écran. L'utilisateur voit à travers ses propres yeux : il n'y a donc plus de bords d'écran. Le HUD en tant que tel disparait complètement dans les jeux en réalité virtuelle. Maintenant, n'importe quel élément d'interface est en 3D. Aucun n'est rattaché à « l'écran ».



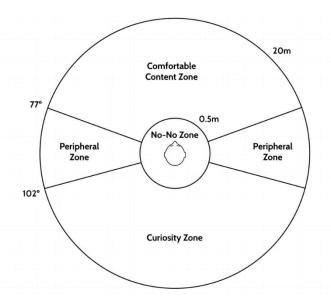
Même un réticule de visée au centre de l'écran doit être en 3D, à cause notamment de la vision stéréoscopique et de l'accommodation de l'œil. Si le curseur de visée est en 2D l'utilisateur va alors se concentrer ou s'accommoder sur ce point. Si on regarde un objet de près, tout va bien. Mais, si on vise un objet lointain, le point va rester à la même distance de l'œil et l'objet

lointain apparaîtra flou. Pour corriger cela, il faut que le réticule de visée soit en 3D et toujours à la même distance que l'objet visée.

En fait, tout élément d'interface doit être un peu comme un « hologramme ». Un exemple parfait de comment doit s'adapter l'interface utilisateur est dans le film « Iron man 2 ». L'interface a du volume et se manipule « en volume ». C'est-à-dire que l'utilisateur doit souvent bouger la tête pour manipuler l'interface. Un des moyens courant pour sélectionner un élément de l'interface est d'utiliser le centre de la vision comme « pointeur».



^{* &}lt;a href="http://www.lesnumeriques.com/casque-audio/samsung-entrim-4d-p32029/entrim-4d-casque-gvs-a-electrodes-pour-accompagner-gear-vr-n50691.html">http://www.lesnumeriques.com/casque-audio/samsung-entrim-4d-p32029/entrim-4d-casque-gvs-a-electrodes-pour-accompagner-gear-vr-n50691.html



Les interfaces en réalité virtuelle sont moins chargées en information que les autres. Elles doivent être simples et synthétiques. Notamment, parce qu'on ne peut lire qu'un petit nombre de texte sans bouger la tête. Il faut donc l'UI la plus petite possible pour éviter à l'utilisateur de bouger la tête. L'UI doit être placé à environ 2m de l'utilisateur pour un plus grand confort. Pour les expériences en réalité virtuelle assise, il est conseillé d'organiser l'interface voire l'aire du jeu selon le schéma de gauche.



Le menu principal de l'Oculus Store est organisé selon le schéma ci-dessus.

Le centre de la vision sert de pointeur. Le menu est organisé de manière à ce que l'utilisateur n'ait pas à bouger sa tête de plus de 77°.

Dans le schéma ci-dessus, on trouve une zone très importante, la « No-No zone ». Celle-ci est approximativement de 0.5m. En psychologie, elle correspond à la « Zone intime ». Seulement, la famille et les amis proches peuvent y pénétrer. Si une personne étrangère entre dans cette zone, l'autre va ressentir un malaise, une gêne. En réalité virtuelle, c'est la même chose. Aucun élément ne doit entrer dans cette zone sans le consentement du joueur car elle appartient à ce dernier. La seule exception possible est de susciter une réaction forte ou une émotion (par exemple, rapprocher un personnage dans cette zone lors d'une scène dramatique ou encore faire subitement apparaître un monstre dans un jeu d'horreur).

Enfin, pour ne pas briser la présence, l'Interface utilisateur doit savoir « se faire oublier » et être la plus diégétique possible. Elle est trop « artificielle ». Dans les jeux vidéo classiques, on peut avoir des interfaces ancrées dans le monde du jeu mais ce n'est pas nécessaire selon le type de jeu. En réalité virtuelle, c'est quasiment obligatoire quel que soit le genre de jeu. Un bon exemple d'interface utilisateur



diégétique est dans le jeu Dead Space. La barre de vie est intégrée à la combinaison de l'avatar. Comme la caméra est à la troisième personne, le joueur voit toujours le dos du personnage et donc sa barre de vie. De plus, les menus du jeu (inventaire, etc....) sont des hologrammes projetés par la combinaison. Ils sont donc « intégrés » dans le jeu et sont donc plus diégétiques.

Un autre exemple, mais en jeu en réalité virtuelle cette fois, dans « Lucky Tales », la barre de vie n'apparait que lorsque le personnage prend des dégâts ou régénère sa vie. Elle est placée au-dessus du personnage. « Land's End », par le créateur de l'excellent « Monument Valley », est un jeu minimaliste avec très peu d'interface. En fait, le seul élément d'interface est un « pointeur » qui permet d'interagir avec les différents éléments du jeu. Celui-ci apparaît uniquement lorsque l'on se rapproche d'un élément interactif. De cette manière, l'écran du jeu est la moitié du temps dépourvu d'interface, ce qui renforce le sentiment de présence. Un autre exemple, avec une interface beaucoup plus chargée est « EVE Gunjack » un jeu de tir pour GearVR. Le joueur est immergé dans une tourelle et doit tirer sur les vagues d'ennemis pour défendre sa station de minage. On est dans un cockpit, l'interface est complètement diégétique. Les différentes interfaces simulent l'affichage en tête haute que le pilote voit pour l'aider à viser ou voir les différents ennemis. Dernier exemple, « Bazaar », sur GearVR, est un jeu de game jam qui, par la suite, a été commercialisé. Dans ce jeu, on explore une ville orientale sur un tapis volant. Toute l'interface est retranscrite par des objets présents sur le tapis volant. Par exemple, la Minimap est représentée par une carte qui va se dessiner au fur et à mesure de notre progression, ou encore un coffre qui sert d'inventaire. L'interface de ce jeu est l'une des meilleures. Elle est complétement diégétique et est faite en « volume ». L'interface, auparavant « 2D » est représenté par des objets 3D. Cela nous mène au casque « haut de gamme », qui permet la capture de position de la tête et des mains. Ils donnent la possibilité de réaliser des interfaces plus novatrices et encore plus en « volume ».

Ces casques, à l'aide des manettes avec capture de position, permettent de manipuler « physiquement » des objets 3D et donc d'interagir plus naturellement avec les « interfaces ». Les menus se retrouvent beaucoup modifiés. Par exemple, dans le menu principal du jeu « Cloudlands : VR Minigolf », pour sélectionner un élément (jouer, option...), il faut envoyer la balle virtuelle dans le « trou » correspondant. Le menu du jeu « apprend » à jouer au jeu ! Les « trous » sont suffisamment grands pour éviter au joueur de « rater » sa sélection. Les menus d'inventaires « classiques » se retrouvent chamboulés et sont plus naturels en réalité virtuelle « haut de gamme ». Par exemple, dans le jeu d'aventure « The Gallery », l'inventaire est tout simplement un sac à dos. Il suffit au joueur de prendre son sac à dos derrière lui et de le poser devant. Après avoir ouvert le sac à dos, il peut ranger les différents objets qui sont à l'intérieur, comme on le ferait dans la réalité. Les interfaces vont donc s'inspirer beaucoup plus des objets réels que dans les jeux vidéo classiques.





Pour illustrer ce changement d'interface, prenons l'exemple d'un jeu classique qui a été entièrement recréé pour la réalité virtuelle : « Fantastic Contraption ». C'est un jeu de construction. Le but est de construire une machine qui doit aller d'un point A à un point B. A la base, c'était un jeu flash « classique » sur le web. Les créateurs ont transformé leur ancienne interface (1er image) en un objet 3D (2ème image). Un chat est devenu une interface ! Au lieu d'appuyer sur des boutons pour obtenir tel ou tel élément de construction, on va les prendre en main directement à partir du chat. Celui-ci est non seulement un élément diégétique du jeu, mais il est aussi très pratique pour obtenir les différents éléments. On peut bouger le chat pour le placer à un autre endroit, de manière à avoir plus rapidement l'élément que l'on veut. On peut voir que les bonnes interfaces en réalité virtuelles permettent des interactions beaucoup plus simples et «naturelles ». On peut jouer avec une bonne interface comme si c'était un « jouet ». Une bonne interface en réalité virtuelle (hors GearVR) a trois caractéristiques :

- L'utilisation « principale » (influence dans le jeu) de l'interface est fun. En effet, on réutilise des choses qui sont à la base du Gameplay (par exemple, swinguer la balle dans Cloudlands). De plus, une utilisation détournée permet de faire des choses « amusantes » (par exemple, on peut prendre le chat pour le placer plus prés (intérêt dans le Gameplay et le confort de jeu) ou le lancer en dehors de la zone du jeu et le faire tomber (utilisation amusante))
- L'interface est complètement diégétique (par exemple, l'utilisation d'un sac à dos dans un jeu d'aventure).
- Il y a des interactions « immersives ». Ces interactions ne servent pas directement le Gameplay du jeu mais permettent de rajouter du GameFeel et de l'immersion dans le jeu. Cela renforce le sentiment de présence (par exemple, le chat dans Fantastic Contraption suit du regard nos manettes et lorsque l'on se rapproche de lui, il nous regarde).

En conclusion, la réalité virtuelle change complétement l'interface utilisateur. Le défi est donc de la réinventer complétement pour convenir à ce nouveau média. Mais, la réalité virtuelle donne aussi au Game Designer et aux Ergonomes l'opportunité de créer des interfaces beaucoup plus naturelles et

minimalistes, voire même de transmettre des émotions, des sensations. Elle devient un élément de Gameplay à part entière.

II Un tout nouveau Gameplay à réinventer

a) Les différents périphériques d'entrées

Le Gameplay des jeux en réalité virtuelle est conditionné en grande partie par les périphériques d'entrées utilisées. Ils conditionnent les possibilités et la manière d'interagir avec le monde du jeu. Analysons ensemble les différents périphériques majeurs sortis à ce jour. L'un des défis du Game Designer pour la réalité virtuelle est de tirer parti du périphérique d'entrée pour créer une expérience adaptée à ce dernier.

Manette de jeu traditionnel (manette Xbox ou ps4)



Cette manette est le périphérique de base pour les jeux vidéo classique. Celle-ci n'est pas très adaptée à la réalité virtuelle, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, elle est très connue des joueurs mais compliquée à utiliser pour un néophyte. Ensuite, elle restreint les mouvements du joueur. Par exemple, certaines manettes ne sont pas sans fil, ce qui impose au joueur de rester prés de leurs PC ou consoles. (Empêches le « room-scale »). De plus, une utilisation normale de cette manette impose de la tenir à deux mains. Cette position empêche le joueur de bouger ces bras et l'incite à ne pas se déplacer. Enfin, ce périphérique limite l'immersion et peut briser le sentiment de présence. D'une part, en contraignant les mouvements, cela empêche le joueur de

développer des réflexes de présence : toucher les objets virtuels avec ses mains ou se protéger avec les mains lorsque quelque chose arrive sur lui. D'autre part, la raison est psychologique. Avoir une manette conventionnelle dans les mains rappelle constamment au joueur qu'il est en train de jouer à un jeu vidéo. De par notre consommation habituelle des médias « sur écran », c'est-à-dire être assis et regarder un écran sans trop bouger la tête ou le corps, conditionne le joueur à ne pas trop regarder autour de lui. Avoir une manette dans les mains renforce ce biais psychologique. Pour finir, se déplacer en utilisant un joystick dans la réalité virtuelle n'est pas très naturel. Aussi, Interagir avec des objets en utilisant un joystick n'est pas intuitif.

Néanmoins, cet appareil peut être adapté pour certains jeux en réalité virtuelle. Par exemple, le jeu « lucky tales » est un jeu de plateforme à la troisième personne. Il est donc naturel d'utiliser une manette pour contrôler ces mouvements.

Ce périphérique est donc la plus mauvaise solution (sauf cas énoncé ci-dessus) comme périphérique d'entrée pour les jeux en réalité virtuelle. Selon l'avis de beaucoup d'acteurs de l'industrie, il est même « nocif » d'encourager l'utilisation d'une manette pour les jeux en réalité virtuelle. Par exemple, L'entreprise OculusVR vend l'Oculus rift avec une manette Xbox one sans fil comme seul périphérique

d'entrée. De plus, elle encourage les jeux utilisant ce type de périphérique : les deux jeux (Lucky tales et Eve Valkyrie) offerts avec l'achat de l'oculus sont uniquement compatibles avec une manette « classique ». En distribuant l'oculus rift uniquement avec une manette Xbox, l'entreprise définit celleci comme étant le périphérique d'entrée par défaut de leur casque de réalité virtuelle. Les développeurs vont être encouragés à utiliser ce type de support pour leur jeu, même si l'oculus Touch est achetable après quelque mois. Tout simplement parce qu'ils vont assumer que tous les possesseurs de l'oculus rift ont une manette compatible. Le marché étant alors segmenté, ils préfèrent cibler tous les joueurs. L'HTC vive par exemple, avec ces deux manettes spécifiquement conçus pour la réalité virtuelle directement livré avec le casque. Sony est d'ailleurs en train de faire marche arrière car elle s'est rendu compte que la manette ps4 ne fonctionne pas aussi bien en réalité virtuelle que le PlayStation move. L'entreprise va sortir la PlayStationVR directement avec la PlayStation move et la camera qui permet la capture de position. (Auparavant, seul le casque était inclus).

Les boutons sur les casques de réalités virtuelles mobiles (Google Cardboard et GearVR).





Le Google cardboard possède un simple bouton. Le GearVR possède un trackpad sur le côté: il détecte le « tap » et le « swipe ». (Pour des soucis de simplicité, je ne prendrais en compte que le GearVR). Ces types de contrôle sont très simples. Même s'il ne renforce pas l'immersion du joueur, il ne brise pas la présence. Les jeux qui utilisent ce type de périphérique doivent tirer parti de leur simplicité. Il est déconseillé de les utiliser pour des interactions complexes. De plus, la contrainte technique étant beaucoup plus forte sur smartphone, périphériques sont donc très adaptés. Le centre de la vision du joueur est alors souvent utilisé comme « pointeur » qui permet donc d'interagir avec son environnement. Qu'il soit unique (EVE Gunjack) ou contextuel (dead valley). Néanmoins, ce type de périphérique

d'entrée a un gros défaut : il n'utilise pas la proprioception et empêche de manipuler les objets « physiquement ». Cela représente un défi : comment manipuler des objets physiquement alors que le périphérique principal d'entrée ne le permet pas ?

En fait, les Game Designers ont déjà trouvé un moyen de contourner cette contrainte. Il y a un périphérique qui utilise déjà les mouvements du corps : le casque ! Pour interagir physiquement avec le monde du jeu, il y alors deux possibilités. Première façon, on attache un objet directement à la tête du personnage. Cette « excroissance » nous servira à interagir physiquement avec les autres objets. Par exemple, dans le jeu « Dumpy: Going Elephants », on incarne un éléphant. Une trompe géante est alors attachée à notre tête. Celle-ci sert alors à interagir physiquement avec les différents objets de la scène. Deuxième façon, on peut saisir un objet de la scène avec le casque. Cet objet sera alors « attaché » au casque et suivra les mouvements de celui-ci. Un peu comme si notre avatar avait un

pouvoir de télékinésie. Par exemple, dans le jeu Land's End, le joueur peut déplacer d'immenses rochers à l'aide du casque. Ou encore dans le jeu « esper 1&2», on peut déplacer différents objets pour résoudre des énigmes. Ces deux manières permettent de générer un sentiment de présence plus fort chez le joueur. Néanmoins, elles ont un grand défaut en commun : il est fatiguant de beaucoup bouger la tête. Il est donc judicieux de limiter l'emploi de cette mécanique. Par exemple, dans Land ends et Esper, on doit bouger la tête de quelque degrés seulement pour déplacer l'objet d'un point A à un point B. De plus, La durée d'une partie est encore plus courte sur cette plateforme car le smartphone à tendance à chauffer beaucoup. Il va cesser de fonctionner si la température est trop élevée. D'après des tests effectués, il semblerait que 30 minutes d'utilisation en continuent soit le grand maximum avant que le smartphone ne surchauffe. Enfin ce casque de réalité virtuelle a un avantage : il n'a aucune connexion filaire. L'utilisateur est libre de bouger à 360° sans contrainte. Des jeux comme darknet ou Anshar Wars 2 utilisent cette particularité à son maximum. D'ailleurs, OculusVR conseille d'utiliser le GearVR assis sur une chaise rotative.

En Conclusion, bien que ce casque ait de nombreuses limitations, il est possible de les contourner pour créer des expériences courtes mais intenses, riche en sentiment de présence.

Le clavier / souris



Tous les possesseurs de l'oculus rift ou de l'HTC vive possèdent au moins un clavier et une souris. Pourquoi alors ne pas les utiliser comme périphérique d'entrée ? Tout d'abord, le clavier : Il possède de nombreuses touches qui sont toutes identiques. C'est un périphérique impossible à utiliser en réalité virtuelle : impossible de savoir où sont les différentes touches en pleine partie. Écartons-le de notre liste des périphériques et concentrons-nous sur la souris. Cet appareil sert avant tout à diriger un pointeur sur un écran. Mais souvenons-nous, en réalité virtuelle, on n'a pas vraiment d'écran : il n'y a aucun bord à celui-ci. Ce périphérique est donc à

utiliser de manière totalement nouvelle. Son principal avantage, c'est que qu'il s'utilise à travers les mouvements de son utilisateur. Le seul jeu en développement qui utilise ce périphérique est « I Expect You To Die ». Ce jeu est développé par Schell Games. Dans ce jeu, on incarne un agent secret qui doit s'échapper avec une voiture. L'équipe a réussi à créer un système d'interaction avec les objets à la souris qui facilite l'émergence de présence. Ce système permet de manipuler des objets dans la scène. Tout d'abord, on va sélectionner un objet de la scène avec la souris à l'aide d'un pointeur virtuel au centre de l'écran. Ensuite, l'objet est rattaché à la « tête » de l'utilisateur. Si l'on déplace la souris de gauche à droite, l'objet bouge de même selon l'orientation de la tête. Si par contre on déplace la souris de haut en bas, l'objet va bouger à la verticale. Ensuite, on peut utiliser la molette de la souris pour bouger l'objet d'avant en arrière. Ce système permet des interactions riches avec l'environnement et de donner un sens de présence beaucoup plus fort qu'avec une manette classique. Néanmoins, il pourrait y avoir un problème avec la proprioception lorsque l'utilisateur manipule un objet à la gauche de son écran. Selon l'image en annexe, l'utilisateur va bouger la souris dans un certain sens, mais l'objet dans le monde virtuel va bouger dans tout autre sens. En théorie, cela va créer une dissonance entre la vue et la proprioception... mais en pratique pas du tout! Le cerveau trouve « normal » de bouger notre main d'avant en arrière et que l'objet manipulé par notre main bouge de gauche à droite! Ce système n'a pas l'air non plus très intuitif, pourtant en pratique, il se révèle incroyablement intuitif! Aucune personne à Schell Games ne comprend pas pourquoi cela fonctionne mais l'importance est que ça marche. C'est une des particularités de la réalité virtuelle. Beaucoup d'idées reçues, « bon sens » ou théorie, ne fonctionnent tout simplement pas en pratique. Le seul moyen de voir ce qui marche ou pas est de playtest.

Pour résumer, la souris est a priori un périphérique d'entrée inutilisable en réalité virtuelle, pourtant un fois utilisé de manière novatrice, il peut servir d'incroyables outils pour manipuler des objets en réalité virtuelle. En fait la manette « classique » est un peu dans le même cas. Utilisé de manière traditionnelle, c'est un périphérique d'entrée qui se révèle très inadapté à la réalité virtuelle, pourtant utilisé de manière créative elle pourrait se révéler être un puissant périphérique d'entrée permettant de générer de la présence. Il ne reste plus qu'à découvrir comment ?

Double manette de jeu avec capture de position et rotation.



Ce sont les manettes utilisées par les casques de réalité virtuelle « haut de gamme » : PlaysationVR, Oculus rift, HTC vive. Chaque manette est dans une main du joueur. Celles-ci possèdent plusieurs boutons. De plus, la position et rotation exacte dans l'espace des deux manettes (et donc des mains) est capturée. De plus, le casque possède aussi de la capture de position. Les possibilités offertes par ce

type de périphériques sont bien plus importantes. Certains designers parlent de « véritable » réalité virtuelle : le sentiment de présence est bien plus fort car il permet d'interagir beaucoup plus naturellement avec le monde du jeu et renforce la proprioception. En premier lieu, cette nouvelle manette met nos « mains » directement dans le monde du jeu. Cela permet de pouvoir interagir avec les objets virtuels, comme on le fera dans le monde réel : attraper un objet, le manipuler avec nos mains etc... Néanmoins de tels systèmes d'interactions imposent une abstraction sur la manière dont on va manipuler les objets virtuels. Pas seulement parce que on n'utilise pas « réellement » nos doigts ; lls restent fixes sur les emplacements des boutons ; mais aussi parce que on n'a pas de retour haptique minime : seule une vibration de la manette est possible. Il faut rendre abstraite l'utilisation et la manipulation des objets physiques. Pour cela, il faut analyser comment on manipule ces objets dans le monde réel (voir Taxonomie d'utilisation des mains pour tenir des objets en annexe). Il faut les découper en sous-action. Ensuite, définir les systèmes d'aides utilisés pour permettre au joueur de réaliser cette action. Attention ! Il ne faut pas être « binaire » dans la manipulation des objets, une porte par exemple n'est pas ouverte ou fermée uniquement.

On peut définir trois types d'objets dans la réalité virtuelle. Premièrement, l'objet statique. C'est-à-dire un objet qui ne bouge pas dans le monde du jeu. Par exemple, un mur. Celui-ci sert à limiter les mouvements des autres objets dans le jeu. Attention, il ne faut pas oublier que ce mur est virtuel et n'existe pas en réalité. Il ne peut donc pas gêner les mouvements réels du joueur. Néanmoins à cause de l'effet de présence, aucun joueur ne va essayer de le traverser.

Deuxiemement, nous avons les « constrained objects », c'est-à-dire un objet qui dans sa globalité ne bouge pas, mais certaines de ces parties sont amovibles par le joueur et soumis à la gravité. Dans cette

catégorie, nous avons : les portes, les tiroirs, les leviers etc... Le Game Designers et le programmeur doivent alors travailler ensemble pour définir les systèmes « d'aides » qui vont permettre de simplifier l'interaction que le joueur aura avec ces objets.

Prenons l'exemple d'un tiroir de bureau. Tout d'abord, le Game Designer doit définir si celui-ci peut « sortir » du bureau si l'on tire trop. Ensuite, la manière d'interagir va être différente selon comment on représente les mains du joueur dans le jeu : est-ce que ce sont de véritables mains ? Seulement la manette est représentée ? Une boule de lumière ? Dans le premier cas, l'interaction sera beaucoup plus réaliste qu'avec la seconde. Le joueur doit d'abord saisir la poignée. Est-ce que la « main » du joueur doit être exactement positionnée correctement ? On ne possède pas véritablement de main en réalité virtuelle. Celles-ci sont des abstractions de main. Il faut que la prise de poignée le soit aussi. Pour cela, le joueur va maintenir appuyer sur la touche « agripper » (souvent la touche qui est positionnée à l'arrière de la manette). Si celle-ci est suffisamment proche de la poignée on agrippe alors la poignée dans le monde virtuel. Après ça, que fait-on de la main ? On la déplace et on bloque sa position sur la poignée ? On ne la déplace pas ? Ces questions n'ont pas de réponses finies. Elles dépendent en partie du type de jeu réalisé. Le Game Designer doit y répondre pour définir le « Feel » de son jeu. Prenons le cas où la main va se déplacer et s'agripper à la poignée. Lorsque l'utilisateur tire le tiroir avec sa main, la trajectoire ne sera pas parfaite à cause du manque de feedback haptique. Si la « main » reste droite, l'utilisateur va être surpris. On va alors donner une rotation à la main selon où se trouve la « vraie » main de l'utilisateur.

Cette solution est bonne mais elle a encore un défaut : on peut bouger notre main de gauche à droite sans que la main virtuelle ne bouge (car elle tient la poignée). Pour résoudre ce problème, au lieu de corriger le système d'aide, on peut modifier le tiroir. C'est un objet du monde réel. Il n'est pas adapté au monde virtuel car il n'y a (pas encore ?) de feedback haptique. Un des moyens de le transformer est de changer son affordance. L'affordance est un concept utilisé en psychologie et en ergonomie. Dans le premier, cela désigne toutes les possibilités d'action qu'a un être vivant sur un objet ou son environnement. Par exemple, un poisson a une affordance avec l'eau. Ces caractéristiques physiologiques (branchies, nageoires) imposent qu'il soit dans l'eau. Dans le cas de l'ergonomie, cela désigne la capacité d'un objet à suggérer sa propre utilisation. Par exemple, l'anse d'une tasse donne une affordance pour être tenu et agripper. Dans le cas de la réalité virtuelle, l'être humain n'a plus la même affordance : ces capacités d'action changent (sens psychologique). Certains objets du quotidien perdent alors leur affordance (sens ergonomique). Revenons à notre exemple avec le tiroir. Pour que son interaction soit plus naturelle on peut, par exemple, remplacer la simple poignée ronde par une barre horizontale. Lorsque la main réelle se déplace de gauche à droite, il suffira de faire glisser les mains virtuelles le long de la barre horizontale. La conception des interactions avec les objets virtuels passe par la mise en place ainsi qu'un changement de la forme de ceux-ci. Le Game designer doit donc travailler en accord avec le game artist. De plus, comme les objets interactifs sont avant tout des objets « utilitaires » (ils ont une fonction), il peut être nécessaire d'avoir dans l'équipe un designer produit ou un designer industriel car il saura travailler sur le design d'un objet et son affordance.

Le dernier type à traiter est l'objet dynamique. C'est un objet soumis aux lois de la physique que l'on peut déplacer à loisir dans le monde du jeu. Il est généralement de petite taille (Moins de 1m³). Dans le monde réel, on peut facilement le manipuler dans nos mains. Pour ces objets, on peut distinguer trois catégories : L'objet à fonction passive, l'objet à fonction unique (ou multiple) activable, l'objet à parti « amovible ».

Tout d'abord, l'objet à fonction passive. C'est-à-dire un objet qu'on peut manipuler et déplacer dans l'espace 3D (par exemple, une tasse, un verre, balle, une chaise ...). Cet objet peut posséder des

capacités et/ou effet spécial mais ceux-ci ne s'activent uniquement à la suite du mouvement de l'objet. Par exemple un couteau, la fonction de celui-ci (couper) s'effectue que lorsqu'on le déplace.

Ensuite nous avons l'objet à fonction unique (ou multiple) activable. Celui-ci se comporte tout comme l'objet décrit ci-dessus. Il en en plus une fonction activable par l'utilisateur lorsque celui-ci l'a en main. Par exemple un briquet, on peut l'allumer ou l'éteindre. Attention, la mise en place de ces objets peut sembler simple mais elle ne l'est pas en réalité. Prenons l'exemple de l'implémentation du pistolet dans « bullet train » d'epic games. Lorsqu'on « saisit » un pistolet dans les mains virtuelles, le jeu le place dans une certaine position dans les mains du joueur. Les développeurs ont décidé d'adopter une approche « réaliste » dans le positionnement et le maniement du pistolet. Après plusieurs séances de playtest, les développeurs se sont aperçus de deux choses : le pistolet ne se comportait pas selon les expectations des joueurs. Ceux qui avaient manié de véritable pistolet n'avaient aucun problème avec le maniement de celui-ci. Il faut faire attention, surtout lorsque le joueur va devoir manipuler des objets avec lequel il n'est pas familier. Le joueur va souvent avoir des attentes et des idées reçues sur le comportement d'un objet. Il faut donc, encore une fois, playstest énormément pour vérifier que l'objet se comporte comme les joueurs pensent qu'il devrait se comporter.



Enfin, l'objet à parti « amovible ». Celui-ci se situe entre « constrained object » et un objet dynamique. Il peut avoir des fonctions activables. Sa particularité est qu'il doit être manipulé à deux mains pour accéder à ces différentes fonctionnalisées. Par exemple, le sac à dos de « The gallery » nécessite de le prendre puis de le tenir d'une main. L'autre main va alors l'ouvrir et prendre des objets à l'intérieur. Un autre exemple est le « bâton de

construction » de the Fantastic Contraption, ils doivent être tenus des deux mains pour pouvoir être agrandi. De tels objets sont complexes à équilibrer et à concevoir car ils souffrent des défauts des constrained object et des objets dynamiques. Néanmoins, avoir de tels objets dans un jeu permet d'augmenter l'immersion et la présence du joueur.

Comme nous venons de le voir la mise en place de main en réalité virtuelle impose de nombreux défis aux Game designers sur comment définir les interactions dans son jeu. De plus, la conception de telle interaction impose une collaboration accrue entre quatre domaines distincts : le game design (le pourquoi, la raison d'être de l'objet), la programmation (le comment, définition des possibilités du système d'aide), l'art (le quoi, l'apparence de l'objet), le design industriel (le qui, définir comment l'objet doit s'adapter à son utilisateur).

Pour conclure cette partie sur les périphériques d'entrée, on peut dire que ce dernier façonne le design d'un jeu. Tout bon Game Designer doit donc concevoir son jeu en réalité virtuelle autour d'un périphérique d'entrée et d'une plateforme de réalité virtuelle.

b) La locomotion

Une très grande majorité de jeux vidéo permet de pouvoir se déplacer dans un environnement. C'est une des interactions la plus « basique » d'un jeu vidéo. Pourtant, celle-ci pose énormément de problèmes à résoudre en réalité virtuelle. Nous avons vu la raison dans la première partie de ce mémoire : à cause du Simulator Sickness. La locomotion impose du mouvement et donc des accélérations. Le défi à relever pour le Game designer est de créer de tout nouveau système de locomotion adapté à la réalité virtuelle qui ne cause pas de Simulator Sickness.

Tout d'abord, quelques généralités. Un mouvement gênant et inconfortable dans la réalité vraie, le sera en réalité virtuelle. Par exemple faire une roulade. Aussi nous nous déplaçons la majorité du temps en ligne droite en regardant droit devant soi, très rarement de manière latérale et encore plus rare en arrière. Il faut donc refléter tout ça en réalité virtuelle. D'après de nombreux playtest effectué, il semblerait que le déplacement linéaire vertical peut être source de Simulator Sickness, dixit donc les ascenseurs, les escaliers, le saut du personnage... Si votre jeu doit absolument avoir des mouvements verticaux, il y a plusieurs solutions : transformer le mouvement vertical en mouvement horizontal linéaire avant. (Par exemple, momentanément changer la rotation du niveau). Ou encore rendre le mouvement vertical lent et réduire la Vection : tout objets 3D doivent loin du joueur ou caché de la vue de celui-ci.

Ces contraintes dans la locomotion font que les mouvements à la première personne des jeux vidéo traditionnels ne conviennent pas en réalité virtuelle. Il est néanmoins possible en étant créatif de trouver un moyen d'adapter ce type de mouvement pour la réalité virtuelle. Par exemple l'expérimentation de « Tunneling locomotion ». (Vous pouvez trouver une vidéo en annexe).

Quand on se déplace à l'aide du stick de la manette, seule une petite région au centre de l'écran va prendre en compte le déplacement de la caméra, pendant que la région périphérique de l'écran reste à la position initiale (avant que le mouvement ne débute). Le joueur se déplace en utilisant cette vue « tunnel ». Une fois qu'il a fini son déplacement, la région périphérique de l'écran est changée pour correspondre à la nouvelle position de la caméra.

Ce système de mouvement a l'avantage de réduire la Vection car d'une part, le déplacement est uniquement au centre de la vision (nos yeux et notre cerveau perçoivent plus facilement le mouvement en périphérie de la vision). D'autre part, les bords de l'écran ne bougent pas : le type de mouvement présenté n'arrive pas en réalité. Le cerveau ne l'interprète pas alors comme du mouvement personnel. Ce type de déplacement a néanmoins un désavantage : il peut être désorientant pour certains joueurs. De plus, à cause de la faible résolution, il peut être difficile de faire autre chose (tirer, activer des objets....) pendant le déplacement. Ce mouvement est une adaptation d'un mouvement issu des jeux vidéo classiques, il peut être judicieux de créer un autre type de locomotion, spécifiquement adapté pour les jeux vidéo en réalité virtuelle.

Un des moyens de locomotion unique à la réalité virtuelle. Au lieu que l'utilisateur bouge lui-même, il va faire bouger le monde devant lui. Pour cela, il va « l'attrapé » avec une touche de ça manette puis il va être déplacé celons les mouvements de la manette. Ce système de mouvement à l'avantage d'être dénuer de simulator sickness et d'être « amusant » à utiliser. Il a de nombreux inconvénients. L'utilisateur ce déplace lentement. Il est difficile de restreindre les déplacements du joueur : le level design doit être adapté pour être exploré de manière verticale et horizontale.

Un mode de déplacement beaucoup plus simple en réalité virtuelle a été développé dans le jeu « Smash Hit Plunder ». Dans ce jeu, le centre de l'écran est utilisé comme pointeur. Lorsque le joueur appuie sur le bouton, il va se déplacer automatiquement jusqu'à l'endroit montré par le pointeur. Le

mouvement est en ligne droite et linéaire. De plus, une « ligne » au sol apparait entre le joueur et là où il va. Ce système de déplacement ne provoque peu, voir aucun Simulator Sickness car à l'aide du feedback de la « ligne » et du mode d'interaction (sélecteur au centre du regard). Cela pousse le joueur à rester droit et de fixer le point d'arrivée lorsqu'il se déplace (Si jamais il tourne la tête vers la gauche, cela deviendra un mouvement latéral). En plus, le jeu propose deux modes de mouvements supplémentaires pour le confort du joueur. Tout d'abord, le mode « dark » dans celui-ci, tout l'écran du jeu devient noir, seul la « ligne » et quelques éléments du décor sont visibles, le mouvement se poursuit alors normalement. Une fois celui-ci terminé, l'écran redevient normal. Le deuxième mode de mouvement est « blink ». Ici l'écran ne subit aucune modification. C'est le mouvement lui-même qui change. Le chemin (ligne droite) entre l'endroit où sont le joueur et le point de destination est découpé en courte section de même taille. (1m maximum chacune). Le joueur va alors se téléporter de section en section le long du chemin jusqu'à arriver à destination. Ce système bien que déroutant aux premiers abords, se révèle être très confortable en réalité virtuelle. Le principal avantage du mode de mouvement est qu'il retire toute notion de Vection : le cerveau est incapable de comprendre qu'il y a du mouvement. Car dans la réalité, aucun humain ne se téléporte, tout mouvement effectué ou subit par le corps humain est continu : il n'y a jamais de saut entre les positions.

Ce qui nous emmène à une locomotion très bien adaptée à la réalité virtuelle : la téléportation. Celleci est utilisé dans de nombreux jeux vidéo en réalité virtuelle et prends des formes diverses et variées.

Tout d'abord, le système de téléportation qui au sens « strict » n'en est pas vraiment un. J'ai nommé la « ludicrous speed» (en référence au film Spaceball). Le joueur va sélectionner, soit avec son regard soit avec un pointeur laser dans ces mains, l'endroit où il veut aller. Ensuite, au lieu de se téléporter directement : le joueur va se déplacer en ligne droite au point de destination en moins de 100microsecondes. De plus, la vitesse n'est pas fixe le long du trajet, elle accélère puis ralentit à la fin. Aux premiers abords, cela contredit avec les explications sur le Simulator Sickness données plus haut. En réalité, le mouvement est tellement rapide que le cerveau n'a pas le temps d'analyser la Vection : le cerveau perçoit ce déplacement comme étant une téléportation ! De plus, comme le joueur a le temps de voir les images entre, il peut être moins désorienté qu'avec une téléportation. Ce mode de déplacement a néanmoins un défaut : il doit y avoir un délai (plus de 1 seconde) entre chaque téléportation, si jamais l'utilisateur peut enchainer les téléportations, le cerveau va avoir le temps d'analyser les images et donc de comprendre et générer de la Vection.

Regardons ensuite un système de téléportation beaucoup plus classique, par exemple celui de Bullet train. Celui-ci est très simple, on vise l'endroit où se téléporter. Le joueur a une transition virtuelle entre les deux : l'écran vire au blanc un court instant, puis quand l'écran redevient normal, le joueur est à la nouvelle position. Comme c'est un jeu d'action, le joueur peut ralentir le temps, le temps de lui laisser choisir où il veut se téléporter.

Un autre système de téléportation plus original, est la « téléportation fantôme » ou « ghost teleportation » ». Celle-ci est une sorte de mélange entre le vue à la première personne et la vue à la troisième personne. Lorsque le joueur veut se téléporter, son corps « Astral » vas sortir de son corps et va se déplacer dans le monde du jeu. La caméra reste néanmoins à sa position initiale. Une fois qu'on a placé ce nouveau corps, on est téléporté à cette nouvelle position. Ce système bien que déroutant à deux avantages. Elle permet un délai entre chaque téléportation. Elle limite naturellement la téléportation : On ne peut aller que là où va notre « corps ». Ce système est plus adapté à un jeu d'aventure qu'à un jeu d'action : il est difficile d'aller vite, d'évaluer la distance entre notre « corps astral » et celui des ennemis, etc.....



On peut aussi utiliser des portails (à la portal) pour se téléporter entre deux points. Il est utilisé dans le jeu d'infiltration « Budget Cuts ». Le joueur a un pistolet qui tire des portails. Lorsqu'un projectile touche le sol, un portail se forme dans l'autre main, à travers celui-ci on voit l'environnement comme si on était à l'endroit où a touché le projectile. Si le joueur est d'accord avec cette nouvelle position, le portail englobe le

champ de vision et le joueur est téléporté. Ce système permet d'explorer l'environnement de manière ludique et permet des transitions adoucies entre les deux points de téléportation.

Néanmoins, la téléportation fonctionne plus pour des jeux où l'utilisateur est statique. Lorsqu'on joue à des jeux en « room-scale », explorer des grands espaces avec la téléportation peut devenir problématique. Le jeu « The Gallery » résout en parti ce problème. Ce jeu dispose de deux systèmes de téléportation. Pour le premier on choisit une destination et l'utilisateur est téléporté à celle-ci. Puis, le jeu va calculer où doit être placé la zone d'interaction dans le jeu selon où est placé le joueur dans « la vrai pièce » et où va être placé le joueur dans la réalité virtuelle. Le deuxième système, le joueur ne choisit plus où il va être mais placé sur le terrain une zone rectangulaire qui correspond à la taille de la vraie zone dans la réalité, ensuite le jeu calcule où placer le joueur dans la zone virtuelle. C'est deux types de téléportation, permet une grande flexibilité et permet d'explorer de plus grande zone de jeu.

Cela nous emmène à un mode de mouvement expérimental qui ne fonctionne qu'avec le « room scale ». : Le « redirected walking » ou en français, « marche redirigée ». Ce système de déplacement consiste à laisser marcher le joueur dans le monde du jeu. « Mais le joueur va marcher que 4.5m ! Après, le système va arrêter de prendre en compte la position du joueur », me diriez-vous. Le système du « redirected walking » permet de modifier la marche du joueur dans le monde réel. Cela utilise un des défauts du corps humain : on ne peut pas marcher en ligne droite les yeux bandés. A l'heure actuelle, Il n'y a aucune explication scientifique sur ce phénomène. On peut utiliser cette caractéristique du corps humain à notre avantage. Le cerveau est « crédule ». C'est une « machine » : il peut très facilement être trompé. Tout ce que notre système visuel va lui envoyer, il va le considérer comme étant « vrai ». En réalité virtuelle, en changeant légèrement la perspective et l'angle de vue, on peut faire marcher l'utilisateur légèrement en courbe alors que dans la réalité virtuelle il marche droit. De plus, même s'il est au courant du subterfuge, il aura la certitude de marcher droit, Quelques chiffres: un utilisateur est resté dans un cercle de 40 mètres de diamètres, alors qu'en réalité virtuelle, son point d'arrivé est 80 mètres plus loin de son point d'origine. La mise en place de cette technique impose de nombreuses contraintes, notamment de level design pour être utilisé correctement. De plus, elle nécessite à l'utilisateur d'avoir une plus grande zone de capture de position pour fonctionner. A ce jour, le seul jeu qui utilise ce moyen de déplacement est Unseen Diplomacy.

Comme nous venons de le voir, la locomotion est source de problème dans un jeu en réalité virtuelle mais il est possible de créer de nouveaux moyens de déplacement adapté. Néanmoins, celui-ci étant vecteur de désorientation et de Simulator Sickness, il doit être playtest.

c) Mécanique principal et genre de jeu

L'interface utilisateur, l'interaction avec un périphérique d'entrée et la présence (ou l'inexistence) d'un moyen de locomotion, tout cela s'articule autour d'un jeu, c'est-à-dire d'un Gameplay. Quels sont les défis pour créer un bon Gameplay ?

La création d'un Gameplay repose sur la définition d'une ou plusieurs mécaniques de jeu. En réalité virtuelle, il y a des contraintes spécifiques lors de la création de celle-ci. Tout d'abord, L'immersion est beaucoup plus importante que le Gameplay du jeu. Comme dit dans l'introduction, c'est ce qui rend unique la réalité virtuelle. Un jeu peut être bon mais s'il brise la présence, il n'y a peu d'intérêt à le faire en réalité virtuelle. La présence est quelque chose de fragile, un peu comme une bulle de savon : tout dans votre jeu peut faire disparaitre la présence. De plus, il est difficile de mesurer si un joueur se sent présent dans le monde du jeu. Il n'y a pas d'indicateur objectif et absolu pour ça. les Game designer peuvent néanmoins évaluer, si les joueurs ont des comportements « naturels ». Par exemple, essayer d'attraper une balle, essayer d'éviter une collision. Ou encore essayer d'utiliser des objets de manière détournée mais « réel » : par exemple utiliser un couteau pour retirer une vis. Certains exemples de comportement « naturels » peuvent être assez amusants, par exemple lors d'une séance de playtest de Fantastic contraption, un joueur à un moment donné, a essayé de poser sa manette sur une table..... virtuelle! Ou encore, lors de séance de playtest de « I Expect You To Die », certains joueurs ont essayé de s'appuyer sur le siège à côté d'eux.... S'en suivit une chute mémorable. Ces jeux sont bon, parce qu'ils ont réussi à générer de la présence à travers leur gameplay! Mais comment réunir les conditions nécessaires à l'émergence de la présence ?

Certains Game designer (comme par exemple Kimberly Voll), ont théorisé ce qu'ils appellent le « Fidelity contract » (contrat de fidélité en français), c'est-à-dire les expectations du joueur avec les affordances du monde du jeu. Ce « contrat » comprend plusieurs choses :

- Des règles physiques et relatives au monde du jeu. Les objets doivent être soumis aux lois de la physique. Ils doivent tomber, se collisionner entre eux, etc. Ensuite, le monde du jeu doit établir des règles d'interaction pour interagir avec lui. Par exemple, les objets de couleur bleu s'enflamment. Le jeu ne doit jamais contredire ces propres règles : le jeu doit avoir une cohérence interne. Si le joueur peut ouvrir un coffre, tous les autres doivent pouvoir être ouverts. Si certains ne peuvent pas l'être, il faut que la raison soit cohérente, par exemple un cadenas. De plus, les règles du jeu, peuvent avoir l'ascendant sur les règles physiques : par exemple, certains objets peuvent ne pas être soumis à la physique.
- Les expectations d'interaction et affordance. Si le joueur a une idée d'interaction (par exemple utiliser un couteau pour enlever des vis) pour réaliser un objectif donné par le jeu, il doit pouvoir la réaliser. Cela impose de réaliser de nombreux playtest du jeu, si beaucoup de joueur ont des solutions novatrice et qu'elles sont impossibles à réaliser, le jeu a un problème de Game design. Soit parce que l'affordance des éléments du jeu ne convient pas. Soit parce que cette solution devrait être intégrée aux jeux. Par exemple, lors de playtest du jeu « Fantastic Contraption », les joueurs ont essayé d'attirer un chat en agitant les bras vers le sol (comme on le ferait dans la réalité). Les développeurs avaient alors une solution : supprimer le chat du jeu. Mais comme celui-ci est un élément d'interface et de gameplay à part entière, ils ont intégré cette possibilité au jeu. Un bon jeu vidéo en réalité virtuelle se construit à travers ces séances de playtest. Celles-ci doivent être effectuées le plus tôt possible, pendant la phase même de prototypage. Elles sont essentielles, non seulement parce qu'on ne sait pas encore exactement « ce qui marche » en réalité virtuelle. Mais aussi, pour vérifier que les expectations d'interaction des joueurs et l'affordance du monde du jeu correspondent. La clé pour créer des bons jeux en réalité virtuelle est d'observer les joueurs jouer.

- Les expectations narratives. Les différents éléments du jeu doivent faire sens d'un point de vue narratif. Par exemple, si le joueur a un inventaire « infini », aucun protagoniste ne doit avoir des problèmes (quantitatifs) de stockage.

Les jeux en réalité virtuelle doivent respecter ce contrat. Ils font donc veiller, lors de la création des mécaniques de jeu que celles-ci ne donnent pas trop de possibilité d'interaction au joueur, sinon il va s'attendre à pouvoir faire de trop nombreuses choses.



Certaines mécaniques de jeu sont donc plus adaptées à la réalité virtuelle (c'est-à-dire, qu'elles génèrent plus facilement de la présence) que d'autres et se révèlent plus fun. La manipulation des objets soumis aux lois de la physique se révèle être incroyablement plus fun en réalité virtuelle. Le simple fait d'empiler des cubes devient plaisant. De plus, comme nous venons de le voir dans l'analyse des

périphériques d'entrée, cette manipulation n'est pas réservée à la réalité virtuelle « haut de gamme » mais peut aussi être utilisé avec le GearVR. Avec une telle mécanique, un jeu en réalité virtuelle se conçoit plus comme un « jeu-jouet » qu'un véritable jeu. Les joueurs prennent plaisir à jouer avec les mécaniques d'interaction plus qu'avec le jeu lui-même. Comme dit précédemment, l'immersion est plus importante que le Gameplay car celle-ci permet l'émergence de la présence. De ce fait, toutes les interactions dites « gadgets » dans les anciens jeux vidéo, (pouvoir allumer une bougie dans The witcher III par exemple) devient presque aussi important que le Gameplay du jeu car elle participe à l'immersion du joueur. Dans Fantastic contraption, dans l'endroit où l'on sélectionne le niveau, il y a sous une table (un peu cachés) différents dés. Il est possible de les saisir et de les lancer. Lorsqu'un résultat élevé est obtenu, des feux d'artifices apparaissent. Cela n'a aucune utilité dans le Gameplay principal (construire des machines) mais cela sert l'immersion. De plus ces interactions peuvent aussi permettre de découvrir des mécaniques de Gameplay au joueur, par exemple dans « I Expect You To Die » le joueur peut trouver des bouteilles et les briser. Cela n'a non plus, aucune « utilité » mais cela apprend au joueur que certaine chose peuvent être brisées, comme par exemple la vitre à sa gauche.

Le fait de pouvoir manipuler des objets est plus adapté au jeu d'aventure, de rôle ou encore la simulation (de mini golf par exemple). Le point de vue adapté est alors bien souvent à la 1ere personne. Mais d'autres genres peuvent très bien s'adapter à la réalité virtuelle, comme par exemple les jeux de stratégie. Dans ces derniers, on incarnera directement le commandant et on dirigera ses unités à l'aide d'une carte stratégique.

Il est d'ailleurs possible d'adopter un point de vue à la troisième personne! À première vue, cela peut paraitre très inadapté, voire impossible: ces jeux imposent de nombreux mouvements de caméra (donc de Simulator Sickness). De plus, il repose le plus souvent sur des interactions, autre que la manipulation d'objets. L'équipe de Lucky tales a réussi à créer un jeu de plateforme à la troisième



personne! L'équipe n'avait à la base aucun but de réaliser un jeu de plateforme. Lorsque l'oculus rift est sorti, ils ont organisé une Game Jam interne. Parmi les 40 prototypes, c'est un jeu de plateforme

qui sortait du lot! En réalité virtuelle, tout est différent, il est impossible de prévoir « ce qui va marcher » autre qu'en prototypant et faire jouer. Pour lucky tales, il a fallu énormément itérer dessus pour le rendre sans « Simulator Sickness ». A chaque changement, même minime du prototype, un test approfondi était nécessaire. Concevoir un jeu en réalité virtuelle, demande d'être encore plus centré sur l'utilisateur qu'auparavant.

Ils ont voulu donner un effet « coffre à jouet » au jeu : donner au joueur l'impression que les décors et les personnages sont des « jouets vivants ». Pour cela, ils ont éloigné l'avatar du joueur et l'on mit à distance de bras : environ 1 mètre, de plus ils ont réduit l'échelle. Enfin, le niveau est fait de manière à être exploré en « ligne ». Grâce à tout cela, la camera bouge très peu pour suivre le personnage et elle bouge la plupart du temps en ligne droite. De plus, comme le joueur se concentre sur le personnage, il remarque moins la Vection à l'écran. Ces modifications permettent de réduire fortement le Simulator Sickness.

Quand est-il de l'immersion et de la présence ? Dans les jeux à la troisième personne classique, le joueur va s'identifier au personnage contrôlé et donc l'immersion passe par celui-ci. Dans les jeux en réalité virtuelle à la troisième personne, le joueur se sent immerger autrement. Le joueur « existe » dans le monde du jeu et sert d'assistant / marionnettiste. Il va « collaborer » avec le personnage principal. Ceci est renforcé par de nombreuses interactions « secondaires » : le personnage va se mettre à regarder le joueur droit dans les yeux dès que celui-ci ne le fait plus bouger. Ou encore, si le joueur se rapproche de lucky, celui-ci va tomber comme si le joueur le poussait avec sa tête. Un autre exemple, lorsque le personnage principal attrape une bombe, le joueur utilise son regard pour indiquer où il doit tirer. Une autre forme de collaboration se forme entre le joueur et le personnage principal du jeu.

Il est donc possible de faire des jeux à la troisième personne sans Simulator Sickness et avec un sentiment de présence. La réalité virtuelle semble pouvoir accueillir des jeux de différents genres et nature. Avec le développement de la réalité virtuelle, on va sans doute voir apparaitre des genres spécifiques à celle-ci, mais aussi beaucoup de genres déjà existant, qui ont été adaptés voir transcendés. L'exemple de « lucky tales » prouve qu'adapter ces genres de jeu n'est pas accessoire : la réalité virtuelle apporte réellement une expérience différente à ces jeux. Il n'est pas impossible à l'avenir de voir l'émergence de jeux de combat ou des jeux de gestion, version réalité virtuelle. Ces genres auront néanmoins une plus grande modification que les jeux de plateforme. Un des défis pour le Game Designer sera de modifier certains genres de jeu pour les rendre jouables en réalité virtuelle.

Malheureusement, tous les genres ne sont pas adaptables et/ou intéressants en réalité virtuelle. Par exemple, les jeux de gestion ou de simulation avec beaucoup de paramètres à gérer (par exemple kerbal space program) ces jeux sont très difficiles à adapter en réalité virtuelle car ils utilisent des interfaces assez complexes et en 2D. Le plaisir de ces jeux vient de devoir gérer beaucoup d'interfaces et gérer des situations complexes. Simplifier le jeu en réduisant le nombre de paramètres (et donc faire une interface plus simple) est un non-sens pour ces genres de jeu. De plus, avoir un sentiment de présence et d'immersion n'est pas pertinent pour ces jeux-là.

III Des mondes de jeux plus cohérent et immersif.

Les mondes de jeu en réalité virtuelle sont beaucoup plus cohérents et vraisemblables que leurs homologues, des jeux traditionnels. Certains « artefacts » visuels (bâtiment plus grand à l'intérieur, pièces beaucoup plus grandes que nécessaires si c'était transposé dans la réalité) sont beaucoup plus visibles à cause de la vue stéréoscope. De plus les environnements ont un rôle supplémentaire en réalité virtuelle : créer et maintenir le sentiment de présence chez le joueur. Enfin, ils doivent faciliter une navigation sans Simulator Sickness.

a) Level Design

Le Level design est fortement modifié: notre rapport à l'échelle change en réalité virtuelle: la vue stéréoscopique permet de mesurer la profondeur et la perspective. Ce qui signifie que des architectures auparavant irréalistes en termes d'échelle et de proportion (pièces trop grandes, couloir trop large etc...) sont beaucoup plus visibles. L'architecture des niveaux doit être réaliste et vraisemblable. On doit pouvoir croire que les niveaux sont « réels ». Ils doivent aussi être complets: en réalité virtuelle, l'utilisateur peut regarder où il veut. De ce fait, l'environnement et le niveau de jeu doivent pouvoir être regardé à partir de n'importe quel angle.

Un des moyens de renforcer la présence du joueur est de jouer sur l'effet « waouh » de la réalité virtuelle. Pour cela, il faut augmenter l'information envoyée par nos sens. Le level design est ressenti surtout aux travers de la vision (et la proprioception mais j'y reviendrai plus tard). Notre système visuel permet de voir en 3D, un moyen de rajouter de l'information est de renforcer cet effet-là : aidé le cerveau à voir en 3D. La vision stéréoscopique ne peut pas tout faire. C'est aux level designers et aux « environnement artists » de rajouter dans l'image des indices de profondeur et de perspective. Avant même de faire le niveau, il faut définir quelle partie sera visible par le joueur et surtout à quelle distance. Le système visuel humain ne voit en 3D que jusqu'à une distance de 20m, le reste est vu en 2D. Pourtant lorsqu'on se déplace dans la vie de tous les jours, on ne remarque pas ce « cap » de 20m, le monde autour de nous quelle que soit la distance, apparait en 3D. Le cerveau ne se base pas uniquement sur la vision stéréoscopique pour voir le monde en 3D. Des études ont analysé l'influence des autres indices pour percevoir la profondeur. Tout d'abord, les indices dont le cerveau se sert quelle que soit la distance de l'objet. Le plus évident est bien évidemment les effets d'ombre et de lumière. Pour exploiter le mieux cet effet, on peut par exemple avoir des formes circulaires dans le niveau de jeu. Les temples grecs sont de bels exemples d'architecture utilisant l'ombre et la lumière pour créer un effet de perspective. Ensuite, le cerveau utilise sa mémoire pour déterminer à quelle distance sont les objets autour de lui. Par exemple, il connaît la taille d'une pomme, s'il la voit « grande » il va penser qu'elle est proche de lui. Si par contre elle est très petite, il va déterminer qu'elle est loin de lui. Il va aussi souvent utiliser la « taille » relative pour déterminer la taille des objets inconnus. Enfin l'élévation est aussi un indice qu'utilise le cerveau.

Lorsque les objets sont uniquement à moins de 20 mètre de nous, le cerveau utilise l'effet de parallaxe (lorsque l'on bouge, les objets proches de nous vont plus se déplacer dans notre champ de vision que les objets lointains) pour déterminer leur distance. Lorsqu'ils sont uniquement à plus de 20 mètres de nous, le cerveau va utiliser la perspective atmosphérique. Plus un objet est loin de nous plus il va prendre la couleur du ciel.



Tous ces éléments, utilisés à bon escient dans le level design permettent de renforcer la profondeur dans les jeux en réalité virtuelle. De plus, ils permettent aussi de gruger le joueur en lui faisant croire que certains objets sont plus éloignés qu'ils ne le sont en réalité. Ce dernier avantage est particulièrement intéressant car il permet de contrebalancer un des défauts de la réalité virtuelle : les

personnes sous-estiment les distances de 15%. Un bon exemple d'architecture qui utilise la plupart des éléments décrits ci-dessus pour augmenter la sensation de profondeur perçue, est le parc du château de la Versailles. Jouer sur la profondeur par le level design est un bon moyen de générer de la présence chez le joueur. Néanmoins mal utilisé, (par exemple beaucoup jouer sur la verticalité du niveau) peut être un facteur de Simulator Sickness. Par chance, les outils théoriques de Level design utilisés pour lutter contre Le Simulator Sickness et de rendre le niveau le plus confortable possible, augmentent aussi la présence chez le joueur.

Le Level design est dépendant du Gameplay et des possibilités d'interaction du jeu. (Et surtout du moyen de locomotion). Par souci de simplification, je parlerais des jeux qui ont un mode de locomotion sans téléportation (déplacement linéaire et continu), bien que certains des concepts évoqués cidessous puissent s'adapter à d'autres modes de déplacement.

Une des choses à prendre en compte lors de la conception d'un niveau de jeu en réalité virtuelle est le déplacement du joueur. Quel mouvement va devoir faire le joueur pour aller d'un point A à un point B ? Comme dit précédemment dans la partie du Simulator Sickness, les mouvements verticaux posent problème. Pour les niveaux qui se passent à l'extérieur, l'endroit où se déplace le joueur doit être entièrement plat, non seulement pour éviter les mouvements verticaux, mais aussi parce que le mouvement que l'on en retire n'est pas droit (Le vecteur de vélocité change). Il semblerait néanmoins qu'un dénivelé jusqu'à 10° en continue ne provoque pas de Simulator Sickness. Cette méthode est, par contre, assez inefficace pour faire prendre de la hauteur au joueur : sur 100m, on ne va monter que 17m environ... Si le joueur doit absolument descendre et/ou monter, cela doit être contrôlable par le joueur (Pas de sol qui s'effondre, ou de plateforme qui monte automatiquement.). Le cerveau du joueur va « prévoir » le mouvement, ce qui réduit l'attention de celui-ci sur la Vection.

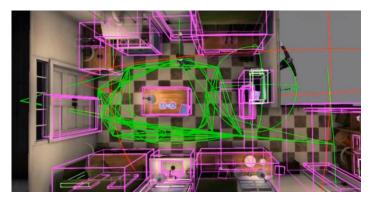
Le phénomène de Vection est généré par la quantité d'information visuelle de mouvement envoyé par notre système visuel. A cause de l'effet de parallaxe, les objets proches de nous bougent plus dans notre champ de vision. Il faut donc dans le Level design, arranger le niveau de manière à ce que les murs et les grands objets soient loin de nous. De plus, cela permet de faire rentrer des objets la « nono zone » : la zone intime. Il faut donc éviter les couloirs trop étroits. Ou alors, diminuer la vitesse du joueur lorsqu'il est dedans. Mais attention, il ne faut pas faire de transition « douce » entre ces deux vitesses car le cerveau l'interpréterait comme étant une décélération. Pour éviter cela, stopper immédiatement le joueur, puis une fois à l'arrêt, lui donner une vitesse moins élevée.



Ensuite, dans la construction plus macro du niveau. Il faut veiller à ne pas obliger le joueur à effectuer des rotations à plus de 90° (et encore moins à 180°). Celles-ci peuvent être source de Simulator Sickness et surtout désorienter le joueur. De plus, cela rejoint une deuxième limitation. Les mouvements du joueur (hors téléportation) doivent respecter la règles suivantes : ils doivent être linéaire (vitesse constante) et en ligne droite (pas de rotation pendant le déplacement ou de trajectoire courbe). Il faut donc penser le

niveau de manière à ce qu'il soit possible de s'y diriger avec ces contraintes-là. Les Level designers en réalité virtuelle ont une maxime : « If You Can't Change the Camera, Change the Level », si l'on ne peut changer la caméra, changer le niveau. En fait, les 3C (Character, Control, Camera) des jeux traditionnels s'en retrouvent modifié : la caméra existe toujours mais elle est entièrement contrôlée par le joueur. Le Game Designer a presque plus la possibilité d'agir dessus qu'auparavant. Par exemple, les niveaux de jeu « Lucky tales » sont construits de manière « linéaire ». Tous les niveaux sont faits pour être exploré en utilisant le plus possible de mouvement « en ligne droite » et devant soi. Les routes secondaires (pleines de secret) sont liées au chemin principal par des « téléporteurs ». De ce fait, cela évite le maximum de rotation aux joueurs. L'exploration n'étant pas le chœur du gameplay, cela ne gêne en aucun cas l'expérience jeu.

Mais faire que des niveaux linéaires, sans réel « exploration » est très restrictif. Il est possible de construire un level design adapté à ces contraintes. Par exemple, les développeurs du jeu « dead secret » ont adapté leur level design pour la locomotion en réalité virtuelle. La photo à droite montre un exemple de niveau. Les lignes droites en vert symbolisent les différents trajets que peut faire le joueur



dans ce niveau. Ce niveau (et les autres) sont pensés de manière à pouvoir être traversé en une courte succession de ligne droite. Ici, chaque zone d'intérêt peut être reliée avec « deux » lignes droites : les mouvements du joueur sont limités à leur maximum. De plus, il est à noté que les traits verts sont assez éloignés des différents objets et des murs, toujours dans un souci de réduire la Vection. Enfin, les proportions de la pièce sont correctes : cette maison peut tout à fait être « construite » dans le monde réel. Cela permet d'immerger encore plus le joueur et se sentir présent dans ce niveau.

On peut aussi noter que la pièce est énormément « dense » : il y a beaucoup de meubles, de portes etc. C'est une contrainte imposée par les jeux en réalité virtuelle, comme le souligne les développeurs de dead Secret, en réalité virtuelle il vaut mieux avoir de petits niveaux dense que de grands niveaux vides. Cela rejoint aussi une des réflexions du Game designer Jesse Schell : « il est plus sage de créer un petit jeu avec des interactions riches entre les objets qu'un grand jeu avec des interaction faibles ». Cette manière de créer des jeux en réalité virtuelle pose aussi des problèmes non résolus à ce jour sur la durée de vie (c'est à dire l'ensemble des courtes sessions de jeu qu'il faut pour le terminer). Pratiquement tous les jeux en réalité virtuelle ont des durées de vies très courtes comparées à leur homologue traditionnel. Un des défis du Game Designer de demain sera sans doute celui-ci : Comment

(avec les moyen du bord) concevoir et créer des jeux longs mais avec des interactions riches en réalité virtuelle ?

Un autre moyen d'augmenter la présence chez le joueur est de lui faire utiliser son sens de la proprioception : le faire bouger lui-même (et non son avatar) dans le niveau (cela nécessite de la capture de position). Par exemple dans Lucky tales, le joueur peut regarder dans les différents recoins du niveau pour trouver les différents secrets. Par exemple, certains sont souvent cachés derrière un mur, ce qui oblige à physiquement se déplacer dernière le mur pour suivre les mouvements de Lucky et trouver le secret. Un autre exemple, est le jeu « Budget cut », où le joueur doit s'accroupir pour pouvoir aller dans des conduits d'aération. De plus, il est aussi possible de se baisser derrière des éléments du décor pour que l'ennemi ne nous voie pas. Ou encore dans Unseen Diplomacy où l'on demande au joueur de ramper dans un conduit d'aération ! Les bons niveaux en réalité virtuelle seront ceux qui font bouger leur joueur de manière significative.

Enfin, pour conclure cette partie, parlons de level design un peu spécial, celui conçu pour le « redirected walking ». Petit rappel, cette méthode est utilisée pour rediriger les mouvements du joueur dans le monde réel. Par exemple, le faire marcher légèrement de manière courbe alors que dans la réalité virtuelle il va tout droit. Dans la génération actuelle de casque de réalité virtuelle, l'espace utilisé pour la capture de position est assez réduite. Ce qui fait que le « gain » d'espace avec le « redirected walking » est très faible. De ce fait, on ne peut pas faire marcher « droit » le joueur à l'infini. Il faut donc utiliser des petits couloirs connectés entre eux avec un angle particulier pour recréer de la « marche » infinie. Un tel système impose que le level design soit flexible et généré de manière semi-procédurale, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la zone de capture de position ne sera pas exactement la même chez tous les joueurs. De ce fait, le « gain » de mouvement obtenu sera alors différent. Il faudra donc adapter le level design (la taille des couloirs, les angles utilisés etc...) pour convenir à ces nouveaux paramètres. Ensuite, les mouvements des personnes sous « redirected walking », ne sera pas exactement le même. Par exemple des personnes de petite taille seront beaucoup plus facilement « redirigées » que d'autres. Tout simplement, car à une distance égale ces personnes feront plus de pas (et donc plus « d'erreurs ») ils faudra donc un peu modifier le Levels Design pour s'adapter aux différentes tailles de personnes. Enfin, le redirect walking est souvent couplé à d'autres techniques comme par exemple le « change blindness redirection »*. Cette technique consiste à modifier l'environnement derrière le joueur (lorsqu'il regarde devant soi) par exemple changer la position des portes, la grandeur d'une pièce etc. dans le but d'optimiser le plus possible l'espace utilisé par le joueur. Le directed walking bien qu'étant un puissant outil. Impose de nombreuses contraintes de level design pour être utilisé correctement.

b) Narration

La manière de raconter des histoires est de diriger l'attention du joueur change en réalité virtuelle. La plupart des anciens outils « narratifs » utilisés dans les jeux traditionnels ne sont plus utilisables à cause de la caméra. Dans les jeux classiques, le narrative designer a beaucoup de contrôle sur cette dernière. Il peut utiliser une mise en scène et des effets de caméra comme dans les films. Néanmoins en réalité virtuelle c'est le joueur qui a le contrôle total de la caméra. Il est interdit par exemple en début de niveau de prendre la caméra au joueur et de faire un balayage du niveau pour montrer les différents points d'intérêt. Les développeurs de Lucky tales a trouvé un moyen de contrebalancer cela. Lors du menu de sélection de niveau, on montre une vue aérienne de celui-ci.

Le Game designer perd donc aussi un outil de communication au joueur. Par exemple, dans un jeu traditionnel, lorsque le joueur tire un levier une porte s'ouvre. La caméra va se déplacer pour montrer que la porte s'ouvre. Dixit alors les Cut-scènes ou les traditionnelles cinématiques pour raconter l'histoire du jeu. Il faut donc que la narration et les évènements du jeu prennent en compte les mouvements de caméra (tête) du joueur. Pour résoudre le problème, on peut par exemple utiliser un bruit de porte, ou encore activer des lumières de manière à diriger le regard du joueur vers la porte. C'est aussi un défaut des films « normaux » en réalité virtuelle. Si le joueur ne regarde pas là où il faut, il passe à côté d'une partie de l'histoire. Les films en réalité virtuelle doivent être « interactifs » : prendre en compte le point de vue du joueur pour raconter différemment l'histoire. Le film interactif « colosse » est un bon exemple de comment doit s'adapter la narration en réalité virtuelle.



Le spectateur n'a aucun contrôle direct sur l'action mais la progression de la narration est dépendante du regard de celui-ci. Le regard du spectateur, les choses qu'ils prêtent attention le plus, dirigent l'expérience autour de lui. Ils influencent la narration. Pour donner toutes ces subtilités au contrôle, il n'y a pas de « pointeur » au centre de la vision (c'est-à-dire changer l'évènement selon où il pointe). Les

développeurs ont pris une approche plus complexe : prendre en compte TOUT le regard du joueur. Ils vont découper ce que voit le joueur en différentes zones et changer la narration selon si tel ou tel objet se trouve dans telle ou telle zone*. Par exemple, à un moment donné le « colosse » arrive. Si le joueur tourne la tête vers la gauche, il arrivera par la gauche et inversement pour la droite. Cela permet de diriger la narration de manière plus fluide mais cela a un coût : il faut penser l'histoire de manière à ce qu'elle puisse être racontée de différentes façons sans qu'elle change.

Un dernier problème qui peut survenir est lors des dialogues. Prenons l'exemple d'une scène typique de jeux vidéo classiques. C'est une cut-scene de « tales of Symphonia », les personnages discutent ensemble. Chaque réplique d'un personnage est affichée sous la forme d'une « bulle » comme dans une Bande dessinée. Dans un jeu en réalité virtuelle, il est très fatigant de lire un texte. De plus, si le personnage qui parle est trop loin de nous, le texte sera la plupart du temps illisible. Un des moyens de contourner ce problème serait de reprendre une approche utilisée dans les films ou



les jeux vidéo modernes : faire parler les acteurs et afficher un sous-titre lorsque la langue parlée n'est pas la même que celle du joueur. Les sous-titres sont alors souvent affichés en bas de l'écran. Problème, en réalité virtuelle, nous l'avons vu, il n'y a pas d'écran à proprement parler. Il faudra donc soit les retirer, soit les placés de manière judicieuse dans l'environnement du jeu. Une autre solution est de doubler le personnage dans la langue du joueur. Sauf que cela coûte très cher et de nombreux studios ne peuvent le faire. Il faut donc réinventer la narration avec des personnages et réadapter le jeu d'acteur à ce nouveau support. Un bon exemple de narration adaptée est le jeu Fated.

^{*} http://i.imgur.com/Q0mX930.gif

Conclusion

Ainsi les défis qu'ont eu à relever les Game Designers de jeux en réalité virtuelle sont nombreux. Le Simulator Sickness et les conséquences qu'il avait sur la locomotion, les moyens d'interagir avec le monde du jeu qui se retrouvent chamboulés (l'interface utilisateur doit être en 3D), le fait que le périphérique d'entrée façonne l'expérience que l'on veut donner au joueur. La réalité virtuelle met en avant certaines mécaniques de jeu et change les paradigmes de Game Design, mais, comme nous l'avons vu, il est possible de faire de nombreux genres de jeu différents. Enfin les mondes de jeu s'en retrouvent chamboulés. La réalité virtuelle change énormément de domaines, et pose autant d'incroyables défis aux Game Designers, qui doivent alors s'adapter pour les résoudre.

Néanmoins, concevoir un jeu en réalité virtuelle, ce n'est pas que relever des défis et résoudre des contraintes, ce sont aussi des opportunités. La réalité virtuelle apporte un degré d'immersion jamais vu auparavant. De plus, elle permet l'émergence d'un état, inconnu jusqu'alors, et unique à la réalité virtuelle : le sentiment de présence. Ce dernier entraîne des expériences beaucoup plus fortes et intenses pour le joueur, mais aussi possiblement choquantes. Lors d'une expérience, on a fait tester à des joueurs le jeu GTAV en mode « réalité virtuelle ». L'un des joueurs a décidé d'en mettre un autre en joue : « la bourse ou la vie » dit-il. L'autre joueur, bien décidé à ne pas lui donner, décide de tourner l'arme vers sa tête et de tirer, pour suicider son personnage, en quelque sorte. Le joueur qui l'avait en joue est ressorti bouleversé de cette expérience. Le Game designer a donc une responsabilité sur les jeux en réalité virtuelle qu'il créé. Il doit être conscient de l'impact qu'ils peuvent avoir sur les joueurs. L'ultime défi que le Game designer du futur aura à relever sera probablement celui-ci : Comment créer des jeux en réalité virtuelle qui transformeront positivement les joueurs ?

Annexes

Lexiques:

Equilibrioception

Sens de l'équilibre

Diégétique

Désigne quelque chose qui fait partie intégrante d'une œuvre. Par exemple, dans un film la bande son dans est non diégétique. Si par contre les personnages écoutent la musique d'un orchestre alors elle est diégétique.

Gameplay

C'est un anglicisme, il est formé de deux mot game (jeu) et play (jouer). Cela désigne la façon dont un jeu se joue.

Immersion

Cela désigne l'état d'un joueur, ou pendant la durée d'une partie il va se sentir inclus dans le jeu et va accepter les règles du jeu.

Motion Sickness

Littéralement, « le mal du mouvement », désigne en français le mal des transports.

Présence

C'est le sentiment d'être physiquement présent autre part, d'être réellement « dedans » le monde virtuel.

Proprioception

Sens qui permet de savoir où sont disposer les différente partie de notre corps.

Simulator Sickness

Désigne l'ensemble des symptômes ressentit devant un écran.

Système vestibulaire

Organe sensorielle qui permet de savoir la position et l'orientation de la tête.

Vection

Illusion de mouvement propre produite par la vision

Sources:

Conférences:

http://www.gdcvault.com/play/1022810/Interaction-Design-in-VR-The par Yasser Malaika interaction design en réalité virtuelle : les règles ont changé (encore)

http://www.gdcvault.com/play/1022815/About-VR-Designing-for par John Foster - à propos de la réalité virtuelle : concevoir pour la « croyabilité »

http://www.gdcvault.com/play/1022772/Designing-to-Minimize-Simulation-Sickness par ben Lewis-Evans - concevoir pour minimiser le Simulation Sickness dans les jeux en réalité virtuelle.

http://www.gdcvault.com/play/1019290/Virtual-Reality-Gaming-and-Game par Palmer Luckey, Nate Mitchell – jeux vidéo de réalité virtuelle et développement de jeu.

<u>http://www.gdcvault.com/play/1021913/Designing-for-Mobile-VR-in</u> par Chris Pruett – Concevoir pour la réalité virtuelle sur Dead Secret.

http://atomhawk.com/news/post/dan-talks-ui-vr-develop-2015 par Dan Gilmore - concevoir une interface utilisateur pour la réalité virtuelle.

http://www.gdcvault.com/play/1023666/-Lucky-s-Tale-The par Dan Hurd, Evan Reidland – « Lucky tale » - le délice insoupçonné de la troisième personne en réalité virtuelle, un postmortem technique.

http://www.gdcvault.com/play/1023671/Lessons-Learned-from-I-Expect par Shawn Patton, Jesse Schell – les leçons apprises dans "I Expect You To Die": nouveaux Puzzles, nouvelles mains.

http://www.gdcvault.com/browse/vrdc-16 Build Architectural and Gaming Environments That Create a Sense of Presence in VR par Carl Callewaert, Pete Moss — construire une architecture et un environnement de jeu qui créent un sentiment de présence en réalité virtuelle.

<u>http://www.gdcvault.com/play/1023649/Human-Centered-Design-of-Immersive</u> par Jason Jerald - la conception centrée sur l'humain pour les interactions immersives.

http://www.gdcvault.com/play/1023648/Going-Off-the-Rails-The par Nick Donaldson, Nick Whiting - le "making of" de bullet train.

http://www.gdcvault.com/play/1023668/Menus par Colin Northway - les menus sont nuls.

http://www.gdcvault.com/play/1023645/Two-Games-Four-Platforms-A par E McNeill - deux jeux, quatre plateformes : une comparaison des différentes plateformes de réalité virtuelle.

http://www.gdcvault.com/play/1023656/Cognitive-Psychology-of-Virtual-Reality par Thomas Bedenk - la psychologie cognitive de la réalité virtuelle : les bases, les problèmes et les astuces.

http://www.gdcvault.com/play/1023643/This-is-Your-Brain-on par Kimberly Voll - ceci est votre cerveau en réalité virtuelle : un regard sur la psychologie pour faire de la bonne réalité virtuelle.

<u>http://www.gdcvault.com/play/1023642/Enabling-Hands-in-Virtual</u> par Kai Hbner, Jakob Johansson – avoir des mains en réalité virtuelle.

<u>http://www.gdcvault.com/play/1023667/Maths-to-Mechanics-Using-Mathematical</u> par Ronald de Feijter – des maths aux mécaniques : utiliser la logique mathématique pour implémenter un gameplay intuitif.

Articles sur le web :

http://gamasutra.com/blogs/JesseSchell/20150626/247113/Making Great VR Six Lessons Learned From I Expect You To Die.php Par Jesse Schell - 06/26/15 - faire de la réalité virtuelle géniale : Six leçons apprises de « I Expect you to die »

http://www.gamasutra.com/blogs/BenLewisEvans/20140404/214732/Simulation Sickness and VR
What is it and what can developers and players do to reduce it.php Par Ben Lexis-Evans 04/04/14 - Simulation Sickness et la réalité virtuelle – qu'est-ce que c'est, et que peuvent faire les
développeurs et les joueurs pour le réduire ?

http://www.blockinterval.com/project-updates/2015/10/15/user-experience-in-virtual-realitypar Par Daniel Allen - 15/09/2015 –les fondamentaux de l'expérience utilisateur en réalité virtuelle.

<u>http://aperturesciencellc.com/vr/VisualDesignMethodsforVR MikeAlger.pdf</u> par Mike Alger - 09/15 – Titre en français : méthode visuel de design pour la réalité virtuelle (ie : l'article parle de l'interface utilisateur)

<u>http://robotinvader.com/blog/?p=493</u> Par Chris – 27/09/15 – Titre en français : mouvement confortable en réalité virtuelle.

http://gamasutra.com/view/news/266687/Do the locomotion How VR_devs_are expanding the virtual space.php - par Kris Graft - 26/02/16 - faire la locomotion : comment les développeurs en réalité virtuelle accroissent l'espace virtuelle.

http://robotinvader.com/blog/?p=469 - par Chris - 11/07/15 - Locomotion et espace.

<u>http://www.roadtovr.com/sightline-dev-wants-your-feedback-on-experimental-holosphere-locomotion/</u> par Paul James – 12/12/15 - Titre en français : les développeurs de « Sightline » veulent des retours sur la locomotion expérimentale « Holosphere ».

<u>https://developer.oculus.com/documentation/intro-vr/latest/concepts/bp_intro/</u> - guide des meilleures pratiques pour créer un jeu en réalité virtuelle (sur l'oculus rift)

http://www.digitaltrends.com/virtual-reality/oculus-rift-vs-htc-vive/ - par Digital Trends Staff - 05/04/16 - comparatif entre l'oculus rift et l'HTC vive.

http://www.polygon.com/2014/6/25/5841746/luckys-tale-words-with-friends-oculus-rift-vr - Par Ben Kuchera – 25/06/14 – Lucky tale, et le potentiel inexploité des jeux en réalité virtuelles à la troisième personne.

https://www.twentymilliseconds.com/post/luckys-tale-avoids-vr-sickness-camera/ Par Kevin Burke – 28/08/14 – Comment Lucky Tales évite de rendre ces utilisateurs malades.

https://www.twentymilliseconds.com/post/porting-doesnt-work/ Par Kevin Burke - le portage est plus dur que vous ne le pensez.

http://w3.uqo.ca/cyberpsy/fr/pres fr.htm - définition de la présence et de l'immersion.

http://www.gamasutra.com/view/news/243615/Smooth_moves_Designing_VR_games_that_wont_make_players_sick.php Par Alex Wawro -des mouvements en douceur : concevoir les jeux en réalité virtuelle qui ne rendent pas les joueurs malades.

http://www.gamasutra.com/view/feature/192810/creating virtual reality games .php Sébastien Kuntz - Créer des jeux en réalité virtuelle : les fondamentaux.

Par

http://www.gamasutra.com/blogs/RichardKogelnig/20131101/203809/Virtual Reality All you nee d to know about Input Devices for the bright new future of gaming.php par Richard Koglnig - 11/01/13 – réalité virtuelle : tout ce que vous devez savoir sur les périphériques d'entrée pour le nouveau futur brillant du jeu.

https://fatedblog.com/2015/07/28/how-can-we-prevent-vr-sickness-with-level-design/ par Philippe Dionne - 28/07/15 – Comment prévenir le « VR Sickness » avec le level design ?

Sujet sur des forums :

https://forums.oculus.com/community/discussion/170/virtual-reality-motion-sickness-vr-simulatorillness-guide – guide sur comment réduire le Simulator Simulator sickness. (Pour joueur et développeur)

https://forums.oculus.com/community/discussion/27318/locomotion-in-vr-gear-vr - discussion sur la locomotion dans les jeux en réalité virtuelle.

https://www.reddit.com/r/gamedesign/comments/3878xz/designing for vr/ - discussion sur le game design des jeux en réalité virtuelle.

https://www.reddit.com/r/oculus/comments/36mlfd/colosse_vrjam_post_mortem_part_1/ - Post Mortem (compte rendu de fin du développement) du film interactif « colosse ».

https://www.reddit.com/r/oculus/comments/36uh5y/can_somebody_explain_what_redirected_walking_is/ - explication sur ce qu'est le « redirect walking ».

http://www.mtbs3d.com/phpBB/viewtopic.php?f=138&t=21585 — discussion sur le « tunneling » locomotion.

<u>https://www.reddit.com/r/oculus/comments/45w3am/vr_fonts/</u> - discussion sur les polices de caractère et comment rendre lisible un texte en réalité virtuelle.

Vidéos:

https://www.youtube.com/watch?v=0r4PkBYc_fk explication du système de navigation et des options de confort de Smash Hit Plunder.

https://www.youtube.com/watch?v=ZliqiTOr1BY exemple de marche infini avec l'HTC vive et un level design adapté grâce à la technique du « redirected walking »

https://www.youtube.com/watch?v=zMpaQe1f-GI la « Ludicrous Speed »

<u>https://www.youtube.com/watch?v=6FLA1q8zl6c</u> « e-penser » sur les casques de réalité virtuelle et le cerveau.

<u>https://www.youtube.com/watch?v=CvimYs7tnRM</u> explication du « simulation Sickness » dans les jeux vidéo traditionnels par Extra credits.

Application sur Playstore:

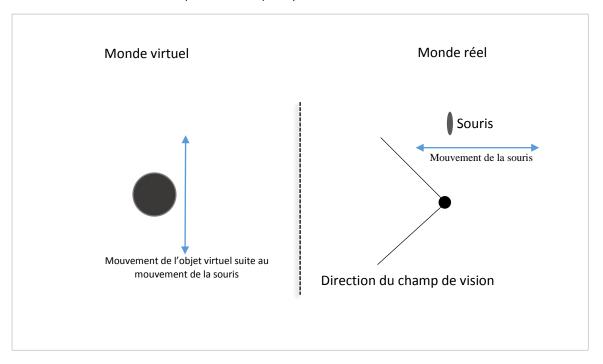
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.vr.cardboard.apps.designlab&hl=fr — Application développée par Google. Elle décrit les meilleures pratiques à avoir lorsque l'on conçoit une application pour Cardboard.

Personnes:

Je tiens aussi à remercier personnellement le chercheur Sylvain Haudegond, le docteur Fayolle ophtalmologue, le docteur Cohen chirurgien ophtalmologue et le docteur Gillot-Lepêtre chirurgien otorhinolaryngologue pour leurs informations pertinences pour mon mémoire.

Schémas:

- Schéma d'interaction pour le « I expect you to die » de Jesse Schell :



- Taxonomie d'utilisation des mains pour tenir des objets :

