

Timothée GUILLERM  
Guillaume HALLO  
Olivier ROUPIN  
Adam DESORMIERE

# PROJET COGNITIQUE

*“Identifier et caractériser les malaises induits en réalité virtuelle et réalité augmentée”*

2017-2019

Plan :

Introduction

## I/ Présentation du sujet

- a) La réalité virtuelle et la réalité augmentée
- b) Le malaise induit et la cinétose visuellement induite
- c) Notre démarche scientifique

## II/ Recherche bibliographique et état de l'art

- a) Méthodes de mesure de la CVI
- b) Causes possibles de la CVI
- c) Les hypothèses retenues

## III/ Préparation de l'expérience

- a) Le choix du matériel
- b) Implémentation des capteurs
- c) campagne de communication adam

## IV/ Oculus et l'environnement virtuel

- a) Matériel, logiciels et objectifs
- b) Éléments graphiques
- c) Moteur Physique
- d) Gestion du temps: mode facile/difficile

## V/ Expérimentation

- a) Le protocole expérimental
- b) Le traitement des données
- c) L'analyse des données

## VI/ Les résultats

- a) Données de la population étudiée
- b) Résultats concernant l'hypothèse "STRESS"
- c) Résultats concernant l'hypothèse "DÉPENDANCE"

Conclusion

## Introduction

Ce projet se place dans le contexte d'un partenariat naissant entre l'institut Optique Aquitain et l'ENSC. Nous sommes le premier projet où étudiants de l'IOA et de l'ENSC travaillent deux ans sur un projet commun. Nous avons pu choisir une problématique nous permettant d'exploiter à la fois les compétences d'ingénieurs des étudiants de l'Institut d'Optique, et les connaissances en matière d'expérience utilisateur des étudiants de l'Ecole Nationale des Supérieure de Cognitique.

L'équipe est composée de sept étudiants:

- IOGS: Adam DESORMIERE, Guillaume HALLO, Timothée GUILLERM, Olivier ROUPIN
- ENSC: Fanny BREUNEVAL, Camille LAVOREL, Quentin LORENTE, Pauline DELHAYE

La problématique est la suivante :

*"Identifier et caractériser les sources de malaise induit par l'utilisation d'appareils de réalité virtuelle et réalité augmentée."*

Le phénomène des malaises induits par la réalité virtuelle, appelé aussi **Cinétose Visuellement Induite (CVI)** est complexe, car les facteurs sont nombreux. De plus, les joueurs sont très inégaux face à ce phénomènes. Nous avons choisi de nous intéresser aux caractéristiques des individu qui les rendent vulnérables afin de pouvoir mieux anticiper les symptômes. Cela pourrait permettre de proposer un accompagnement personnalisé des joueurs.

Nous avons mené une expérimentation permettant d'étudier une hypothèse liée à l'impact du stress et de la dépendance au champ en réalité virtuelle. Etant donné la complexité du phénomène, nous avons aussi étudié la corrélation de multiples facteurs avec la présence ou non de malaise.

## I/ Présentation du sujet

### a) La réalité virtuelle et la réalité augmentée

La réalité virtuelle est une technologie en pleine expansion : son objectif est de simuler la présence physique d'un utilisateur dans un environnement virtuel, en jouant avec ses différents sens (principalement la vision). Le principe de simuler un environnement virtuel est assez ancien. On retrace les simulateurs de vol, par exemple, jusque dans les années 50. Aujourd'hui, la miniaturisation et l'amélioration des technologies d'affichage, de détection de position et de calcul d'environnements 3D permettent de démocratiser ce concept.

On distingue deux approches différentes: La réalité virtuelle (VR) consiste à couper complètement l'utilisateur du monde extérieur en le plongeant tout entier dans un environnement virtuel. C'est ce que l'on retrouve pour les casques de jeu vidéo type Oculus Rift ou HTC Vive. La réalité augmentée (AR), quand à elle, consiste à superposer à l'environnement de l'utilisateur des informations virtuelles supplémentaires. C'est ce que l'on retrouve dans certains cockpits d'avions de chasse, dans lesquels les informations sont projetés sur la vitre qui donne la vision sur l'extérieur.

On trouve différentes approches de l'immersion dans un environnement virtuel :

Perception visuelle: On utilise des casques qui, grâce à des systèmes optiques et informatiques, remplissent au maximum le champ de vision de l'utilisateur, et simulent une position dans un environnement.

Prioception: Des capteurs permettent de reproduire dans la simulation les mouvements de la tête, des mains et parfois du corps pour renforcer la sensation d'immersion.

Perception haptique: Des systèmes situés dans les contrôleurs (qu'ils soient sous la forme de manettes ou bien d'environnements de type cockpit) simulent la sensation d'interaction physique avec les éléments de la simulation, ainsi que les sensations d'accélération liées au déplacement.

Les domaines de la médecine, de la défense, ou encore du jeu-vidéo commencent à utiliser de plus en plus les appareils de réalité virtuelle. Le marché s'étend rapidement, et la recherche dans ce domaine est particulièrement pertinente.

## b) Le malaise induit et la cinétose visuellement induite (CVI)

La CVI (parfois appelée cybercinétose) décrit l'ensemble des malaises ressentis lors de l'utilisation de jeux (ou même films) numériques. Ce phénomène présente de nombreuses ressemblances avec le mal des transports (ou cinétose). Les joueurs peuvent ressentir un étourdissement, de la fatigue et de la somnolence, des maux de tête, des nausées. On observe parfois de la sueur et des vomissements. Ces symptômes s'observent jusqu'à quelques heures après le jeu. Ainsi, près de la moitié des personnes jouant en réalité virtuelle ressentiraient des malaises, d'après une étude de l'US Navy : Eugenia M. Kolasinski (1995) "*Simulator Sickness in Virtual Environments*" U.S. Army Research Institute.

Les utilisateurs ne sont pas égaux face à cette technologie : certaines personnes ressentent de violents symptômes, tandis que d'autres peuvent jouer pendant plusieurs heures sans rien ressentir. Le temps de jeu conseillé est souvent d'un quart d'heure pour des personnes non habituées, et un maximum de 45 minutes pour les plus endurantes. Cela nuit considérablement au potentiel de développement de la réalité virtuelle pour le grand public, et dans les milieux experts.

Les facteurs provoquant la CVI ne sont pas exactement les mêmes que pour la cinétose : dans les transports, on ressent le mouvement mais on ne le voit pas, alors qu'en réalité virtuelle et augmenté, on voit le mouvement mais on ne le ressent pas. On appelle donc Cinétose Visuellement Induite (CVI) les malaises créés par la réalité virtuelle et la réalité augmentée (on peut aussi les ressentir en regardant des films sur grand écran ou au cinéma).

L'hypothèse avancée par la plupart de chercheurs, et qui semble se vérifier, est celle du conflit entre la vision, le système proprioceptif et le système vestibulaire. Le monde réel nous envoie en permanence des milliers d'informations de distance, de sons, de positions de vitesse que le cerveau intègre naturellement. Notre corps serait habitué à une certaine cohérence entre ces différentes sources d'informations. Il existe bien sûr des situations de conflit sensoriel dans la vie quotidienne. Celles-ci peuvent être tolérées par le cerveau qui privilégie certaines informations, mais dans certains cas cela conduit à un état pathologique lorsque certaines informations sont trop incohérentes. Pendant une expérience de réalité virtuelle, les systèmes visuo-haptique et visuo-vestibulaire, qui gèrent la vision et l'équilibre ne reçoivent pas des informations suffisamment cohérentes pour que le cerveau "comprenne" la situation.

Cependant, cette interprétation ne permet pas de comprendre la grande inégalité qui existe au sein des utilisateurs. D'autres études montrent par exemple que c'est plutôt l'instabilité posturale qui produit le malaise, autrement dit, un utilisateur ayant un mauvais sens de l'équilibre sera plus sujet aux malaises qu'un utilisateur très sportif:

- Owen, N., Leadbetter, A., & Yardley, L. (1998). *Relationship between postural control and motion sickness in healthy subjects. Brain Research Bulletin*, 47(5), 471-474. doi: 10.1016/s0361-9230(98)00101-4

Pour étudier la CVI, il est donc possible d'adopter deux points de vue :

- Les caractéristiques techniques de la réalité virtuelle qui génèrent des malaises sur une quantité non négligeable d'individus
- Les caractéristiques humaines et particulières à certains individus qui les rendent particulièrement sensibles à la réalité virtuelle

Ces deux approches sont complémentaires. Nous avons préféré l'originalité de la deuxième approche, centrée sur les individus. Un temps délaissée, elle connaît un regain d'intérêt depuis peu (2015 environ). En effet, le matériel de réalité virtuelle se perfectionne, sans supprimer toutefois les symptômes. Cette démarche se situe par ailleurs au croisement des compétences des élèves de l'ENSC et de l'IOGS. Ses prémisses sont plutôt centrées sur la psychologie et les sciences cognitives, mais la mise en oeuvre correspond à notre formation d'ingénieur capables de comprendre et de prendre en main des appareils situés à la frontière de l'optique et du numérique.

### c) Notre démarche scientifique

Pendant la première année du projet, nous avons commencé par effectuer un travail de recherche bibliographique sur la diversité des causes des malaises, une prise en main en profondeur du matériel utilisé, et la mise en place d'un premier protocole d'expérimentation.

Initialement, nous avons envisagé les deux hypothèses suivantes :

- **La posture** : un sujet ayant des difficultés à garder l'équilibre est plus sensible à la CVI
- **L'indépendance au champ** : les personnes plus indépendantes au champ visuel sont moins sensibles à la CVI

La recherche bibliographique des élèves de l'ENSC a par la suite montré que l'hypothèse sur la posture était pertinente mais très difficile à vérifier. Nous avons donc gardé la seconde tout en ajoutant une nouvelle hypothèse, sur le stress.

- *Mirabile, jr., C., Glueck, B., & Stroebel, C. (1976). Susceptibility to Motion Sickness and Field Dependence-Independence as Measured with the Rod and Frame Test. Neuropsychobiology, 2(1), 45-51. doi: 10.1159/000117528*

- **Stress**: "le stress induit par une contrainte de temps affecte les malaises ressentis en réalité virtuelle"

En effet, le stress modifie à la fois la réponse physiologique d'un joueur et son état mental. Nous supposons que le stress entre en interaction avec les malaises induits, créant un cercle vicieux.

Au niveau de la répartition du travail, les élèves de l'IOGS étaient plus spécialisés dans l'aspect technique du projet, tandis que les élèves de l'ENSC se consacraient plus sur l'aspect théorique et protocolaire. Néanmoins, les frontières entre nos domaines attirés étaient poreuses et chacun d'entre nous a pu influencer sur tous les aspects du projet.

Nous avons rencontré quelques difficultés dans l'agencement de nos emplois du temps: les élèves de l'ENSC n'ont pas de semaines spécifiques pour leur projet, ce qui rend difficile le travail intense sur une période courte. La partie expérimentation a donc été encadrée seulement par les élèves de l'IOGS. Néanmoins, nous avons pu travailler efficacement en se départageant le travail et en organisant des réunions régulières (au moins toutes les deux semaines).

## II/ Recherche bibliographique et état de l'art

Dans un premier temps, nous avons effectué un état de l'art sur les différentes théories concernant notre problématique. Nous nous sommes concentrés sur deux aspects distincts: les manières dont le malaise est mesuré dans les expériences décrites, et les possibles causes du malaise induit identifiées dans la littérature.

### a) Méthodes de mesure du malaise induit

#### **Le SSQ (Simulator Sickness Questionnaire)**

Le moyen le plus couramment utilisé pour mesurer le malaise induit en réalité virtuelle est le questionnaire SSQ, pour Simulator Sickness Questionnaire. A l'origine conçu pour quantifier le malaise des simulateurs sur écran 2D, il est aussi bien adapté à la réalité virtuelle.

Le SSQ distingue trois caractéristiques des malaises :

- oculomoteur (fatigue des yeux, vision embrouillée, maux de tête)
- nausée (étourdissement, vomissement)
- désorientation (vertige, déséquilibre)

Il existe deux variantes du SSQ : avec 27 questions, ou 16 questions. En effet, après analyse de la pertinence, il s'est avéré que 16 questions sont suffisamment significatives pour exprimer le malaise. Cependant, même si seules ces 16 questions sont utilisées dans le calcul final, la forme la plus commune du questionnaire comporte toujours 27 questions afin d'être suffisamment longue. Chacune des questions est liée à une ou plusieurs de ces composantes, ce qui permet de calculer un score pour chaque composante. Ensuite, un coefficient permet de calculer un score général.

- Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S., Lilienthal, M.G.: *Simulator sickness questionnaire: an enhanced method for quantifying simulator sickness. Int. J. Aviat. Psychol.* 3(3), 203–220 (1993)

#### **Le VRSQ**

Nous avons trouvé une étude dont le but est de créer un questionnaire spécifique pour la réalité virtuelle:

- *Journal Article Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment*, Kim H, Park J, Choi Y, Choe M *Applied Ergonomics* 2018

Le VRSQ propose d'utiliser les composants du SSQ en excluant ceux correspondant à la nausée.

Ce questionnaire n'étant pas encore éprouvé, nous avons choisi pour notre expérience le SSQ, permettant de comparer nos résultats aux autres expériences existantes.



## Mesures Physiologiques

Des mesures physiologiques permettent d'obtenir des données objectives pour la mesure du malaise. Une augmentation du **rythme cardiaque** et la **sudation** seraient ainsi étroitement liés à la CVI en réalité virtuelle, selon l'étude:

- Susan Bruck, Paul A. Watters, *The factor structure of cybersickness, Displays, Volume 32, Issue 4, 2011, Pages 153-158, ISSN 0141-9382*

En revanche, les données brutes ne sont pas comparables entre les individus. Nous devons procéder pour chaque sujet à une analyse de la différence entre l'état au démarrage et à la fin du jeu. C'est l'importance de cette différence qui donne un indice sur le niveau de malaise.

Nous avons aussi pu constater que lors d'intenses malaises, le cou se contracte fortement. Cela peut être une bonne méthode pour mesurer le malaise.

Cependant, il est très difficile d'analyser les signaux lors d'un jeu en réalité virtuelle, car il faut pouvoir isoler les contractions liées à de simples mouvements, et celles liées à un fort malaise. De plus, ce phénomène est présent lors de malaises intenses, son étude ne permet donc pas une analyse fine des malaises ressentis.

Les mesures les plus probantes des malaises en réalité virtuelle sont donc : un volet subjectif avec le questionnaire SSQ, et un volet objectif avec des mesures de la fréquence cardiaque et de la sudation (avec un conductimètre).
---

## b) Causes possibles de la CVI

### 1. Facteurs externes à l'individu (matériel, jeu)

#### Le type de casque

Cette étude évalue l'effet de plusieurs caractéristiques techniques : le poids du casque, la distance à l'écran, le rendu stéréo, et la largeur de champ. Les conclusions auxquelles nous avons abouti sont les suivantes:

- Le poids du casque, la distance à l'écran (pour un même champ de vision), ainsi que la présence ou non de stéréovision semblent ne pas avoir d'impact significatif sur l'apparition de malaise.
- En revanche, il est apparu qu'un champ de vision trop large conduit à l'apparition de CVI. Cela constituerait une limite dans l'immersivité des futurs casques de réalité virtuelle.

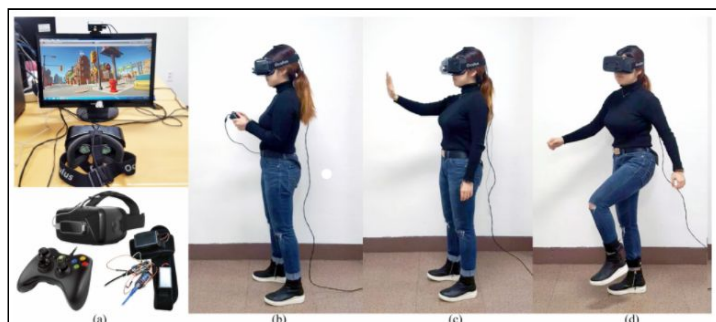
Sources:

- *Rebenitsch and Charles Owen, Evaluating Factors Affecting Virtual Reality Display* Lisa
- *Mon-Williams, M., Wann, J.P.: Binocular virtual reality displays: when problems do and don't occur. Hum. Factors 40(1), 42–49 (1998)*

#### Le mode de commande

Des chercheurs de l'université de Pusan en Corée ont mené une expérimentation visant à comparer des sentiments d'immersion et de malaise entre différentes modalités de contrôle de la marche en RV :

- **manette** type PS4,
- **mouvements de la main** (en utilisant une caméra leap motion)
- **marche réelle** avec système *march-in-place* ( récepteurs attachés aux chevilles des utilisateurs )



#### Personne en train d'utiliser les différents systèmes de contrôle de la marche

En terme de malaise (nausée, "oculomotor sickness" , et la désorientation) : on observe une amélioration significative avec la méthode du " march-in-place " . En effet, avec les deux premières méthodes, lorsque l'on regarde quelque part tout en avançant (virtuellement), l'image ne montre pas le balancement caractéristique de la marche, ce qui est incohérent avec l'habitude que l'on a de se déplacer. Avec le

détecteur “march-in-place”, l’image virtuelle reproduit ce balancement, ce qui permet aux utilisateurs de mieux sentir qu’ils marchent.

- *A Study on Immersion and VR Sickness in Walking Interaction for Immersive Virtual Reality Applications* Jiwon Lee, Mingyu Kim and Jinmo Kim (2017)

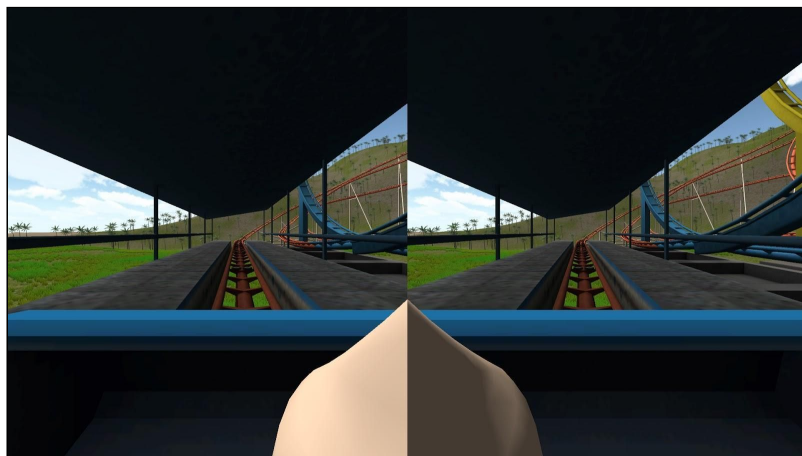
### **Le contenu du jeu**

Le contenu du jeu a un impact parfois important, notamment la présence d'objets en mouvement.

#### L'expérience du nez (fixe)

L'université de Purdue aux Etats-Unis a montré que l'ajout d'un nez virtuel fixe dans le champs de vision permet de réduire les malaises ressentis en réalité virtuelle (41 participants). Ce n'est pas la nature de l'objet qui influe : pour un jeu de pilotage d'avion, l'ajout d'un tableau de bord dans le champs de vision permet aussi de réduire les malaises, ou encore la vision de son propre corps (ou d'un casque d'astronaute par exemple). L'avantage du nez est qu'il peut être inséré dans n'importe quel jeu.

L'étude ne donne pas de raison à ce phénomène, mais nous pouvons penser que cela facilite la détection de la verticale (gravité) visuellement, et que cela facilite la stabilité posturale.



Affichage dans le casque de réalité virtuelle avec présence d'un nez

#### La réduction du champ de vision

Des chercheurs de l'université de Columbia ont observé que la réduction du champ visuel lorsque les joueurs se déplacent dans le jeu permet de réduire les malaises. En effet, le groupe avec la réduction du champs de vision jouait plus longtemps et se sentait mieux que l'autre groupe. Le groupe avec la plus faible restriction du champs ne l'avait même pas remarqué.

#### L'effet de surprise

Enfin, nous avons postulé que l'effet de surprise, la difficulté inattendue

Ainsi, des solutions variées sont proposées aux utilisateurs pour réduire le risque de malaises induits, mais ces études ne permettent pas d'expliquer la variabilité existante entre les utilisateurs. Nous souhaitons mieux comprendre les raisons de la sensibilité, afin de proposer un accompagnement personnalisé pour les joueurs en réalité virtuelle.

## 2) Les facteurs internes à l'individu

### La régulation de la posture

De nombreuses études montrent que la capacité de régulation de la posture influe sur la CVI. En effet, ce n'est pas uniquement la présence de stimulus contradictoires pour la compréhension de l'environnement et de nos propres mouvements, mais aussi la capacité ou non de les intégrer. C'est lorsqu'ils empêchent le sujet de s'équilibrer, lorsque la boucle de régulation se rompt, que le sujet devient malade.

- *La cybercinétose, ou le mal des casques de réalité virtuelle. (2017). Retrieved from <http://theconversation.com/la-cybercinetose-ou-le-mal-des-casques-de-realite-virtuelle-74900>*

- Kushida, K. (1995). *Research for Simulator Sickness: Analysis for Simulator Sickness using Electrocardiograph. JSAE Review, 16(1), 111. doi: 10.1016/0389-4304(95)94854-g*

### La forme générale

En explorant le sujet, nous avons découvert des vidéos où des joueurs donnent des conseils à d'autres joueurs, pour éviter d'être malades. Un conseil récurrent est de prendre du sucre. Cela nous laisse penser que la présence de ressources énergétiques dans le corps permet d'atténuer les malaises. Nous demanderons aux participants l'heure de leur dernier repas, afin d'étudier si cela a un réel impact.

### La dépendance au champ visuel

La dépendance au champ visuel est un style cognitif, c'est à dire un ensemble de stratégies cognitives de traitement de l'information. Ce concept assez ancien distingue les indépendants au champ visuel, et les dépendants au champ visuel. Les indépendants auraient une meilleure capacité d'abstraction et de mesure des distances, ils auraient une facilité pour se repérer géographiquement. Les dépendants à l'égard du champ s'appuient eux principalement sur les repères symboliques.

*"Les dépendants à l'égard du champ seront sensibles aux caractéristiques du champ externe, sa structuration ou sa restructuration éventuelle par le sujet en devenant parfois difficile."*

ou encore

*" Les dépendants non seulement structurent mal le champ externes, mais seront structurés par lui"*

Les mondes virtuel respectent de nombreux codes de la réalité, mais ils sont aussi très trompeurs, et ne peuvent être parfaits, la physique du monde virtuel n'étant pas complètement naturelle. Nous posons donc l'hypothèse que les personnes dépendantes à l'égard du champ seront plus perturbées par les mondes virtuels que les personnes indépendantes, et donc seront plus susceptibles d'être malades.

- Huteau Michel. *Un style cognitif : la dépendance-indépendance à l'égard du champ.* In: *L'année psychologique.* 1975 vol. 75, n°1. pp. 197-262 ; doi : 10.3406/psy.1975.28088

Deux tests permettent de mesurer la dépendance au champ. Le Rod-and-Frame, qui mesure la capacité à retrouver la verticale (placement d'une baguette), et le Group Embedded Figures Test (GEFT) de Witkin, plus spécialisé pour montrer la capacité à s'abstraire du champ visuel pour retenir les tailles et inclinaisons de formes complexes. Le GEFT est très simple à faire passer.

Plusieurs études n'ont pas réussi à montrer de corrélation entre la dépendance au champ et la cinétose, en voiture. Cependant dans le cas de la réalité virtuelle, le phénomène est inversé, et l'omniprésence du sens visuel et l'absence de mouvements réels. De plus, les jeux en réalité virtuelle défient parfois les lois de la physique (jeux montagnes russes). Cela nous laisse penser qu'il est possible d'observer plus d'impact du style cognitif en réalité virtuelle qu'en voiture. Nous incluons donc le test dans notre expérimentation.

- Deich, R. F., & Hodges, P. M. (1973). *Motion Sickness, Field Dependence, and Levels of Development. Perceptual and Motor Skills*, 36(3\_suppl), 1115–1120.

### **La personnalité : tendance à dramatiser la douleur**

Une étude récente a montré qu'il existe une corrélation entre la propension à "dramatiser la douleur" et les malaises ressentis en réalité virtuelle. Les personnes se déclarant plus susceptibles de "dramatiser la douleur" ressentent plus de malaises (mesurés par le SSQ). L'étude suggère que ces personnes auraient plus de difficultés à se désengager de stimuli "non voulus". Les personnes qui en plus avaient une faible conscience corporelle étaient particulièrement malades. L'attitude de résistance provoquerait un plus haut niveau de malaise en empêchant d'accepter et d'intégrer les contradictions apparentes entre les sens de la réalité virtuelle.

- Mittelstädt, J., Wacker, J., & Stelling, D. (2018). *Emotional and Cognitive Modulation of Cybersickness: The Role of Pain Catastrophizing and Body Awareness. Human Factors: The Journal Of The Human Factors And Ergonomics Society*, 61(2), 322-336. doi: 10.1177/0018720818804382

Nous avons trouvé ce lien avec l'état mental du sujet particulièrement intéressant. Nous nous sommes donc intéressés de plus près à la question du stress.

### c) Hypothèses retenues

Suite à nos recherches, nous avons choisi d'explorer deux hypothèses :

Hypothèse **STRESS** : " *Le stress induit par une contrainte de temps augmente la cinétose visuellement induite.* "

Hypothèse **DÉPENDANCE** : " *Les individus dépendants au champ visuel sont plus susceptibles d'être sujet à la cinétose visuellement induite* "

**Dans le cadre de la première hypothèse, nous devons alors trouver le moyen de mesurer et d'induire du stress.**

#### 1) Mesure du stress

L'échelle STAI (forme Y) permet de mesurer deux types d'anxiété :

- Y-A, l'anxiété état : ce que le sujet ressent sur le moment (après une situation de compétition par exemple)
- Y-B, l'anxiété trait : ce que le sujet ressent généralement

Pour notre étude, les deux mesures sont nécessaires. En effet, les individus sont tous différents, il est nécessaire de connaître le niveau d'anxiété "normal" de chaque individu. Celui-ci peut avoir un impact

Des mesures objectives sont aussi possibles : la fréquence cardiaque et la sudation. Ce sont les mêmes mesures que pour le CVI. Les données subjectives nous permettent ensuite de différencier les phénomènes.

#### 2) Provoquer le stress

##### **Impact du temps :**

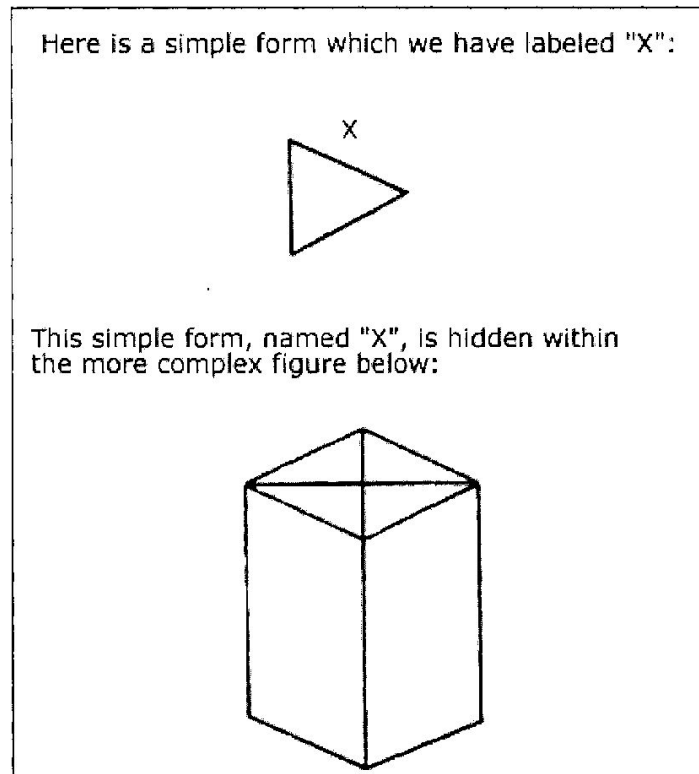
La contrainte temporelle est une formidable source de stress, entraînant un impératif de productivité. Les capacités de l'individu sont mises à rude épreuve : il évalue la situation comme plus complexe et se demande comment arriver à l'objectif dans le temps imparti. Notre stratégie est donc d'intégrer un chronomètre à rebours dans l'expérience, pour créer du stress.

##### **Impact de la couleur rouge :**

De nombreuses études montrent que la couleur rouge modifie nos capacités et comportements. C'est une couleur excitante : elle réveille notre cerveau reptilien et ainsi nos mécanismes de survie. Si notre capacité de raisonnement diminue (Elliot, Maier, Mollet et Al. 2007), elle favorise l'encodage pour la mémoire à court terme (Knez, 2001). Il existe bien une peur du rouge, qui provoque un mouvement de recul, et une tension chez le sujet. Le rouge produit donc une forme de stress tournant le sujet vers un impératif de rapidité. Nous avons donc choisi cette couleur pour le chronomètre, afin d'accentuer l'impact du stress.

**Dans le cadre de la seconde hypothèse, nous allons devoir mesurer la dépendance au champ**

Nous allons pour cela utiliser le questionnaire GEFT évoqué précédemment. Le principe de ce questionnaire est le suivant: le sujet doit retrouver le contour d'une figure simple dans une figure complexe. Plus le sujet réussit le test, plus il est capable de faire preuve d'abstraction et peut donc être considéré comme indépendant au champ visuel.



Principe du questionnaire GEFT. Les questions utilisées sont bien entendu plus difficiles

### III/ Préparation de l'expérience

#### a) Choix du matériel

Dans un premier temps, nous avons souhaité étudier à la fois la réalité virtuelle et la réalité augmentée. Nous avons à notre disposition l'Oculus Rift Développement Kit II, ainsi que les lunettes de réalité augmentée Epson Moverio. Afin de prendre en main ces appareils, nous avons commencé par étudier le hardware, pour ensuite nous pencher sur l'aspect programmation (software).

##### 1) Oculus Rift DK2

L'Oculus Rift DK2 est un prototype, commercialisé dans le but d'attiser la curiosité des programmeurs. De ce fait, il est moins performant et développé que ses successeurs, destinés à un usage grand public. Un écran AMOLED de 1920x1080 pixels affiche deux images côte à côte, une pour chaque oeil. La fréquence d'affichage est au maximum de 75Hz. Contrairement aux modèles suivants, les lentilles utilisées ne sont pas de Fresnel mais sont simplement biconvexes. Elles envoient le plan de l'écran à l'infini afin que l'oeil emmétrope n'ai pas à accommoder. Ces lentilles présentent d'assez fortes aberrations qui sont en partie corrigées par le logiciel fourni avec le casque (le chromatisme est compensé par un décalage des couleurs dans l'espace objet). Le FOV horizontal est de 110°, et le FOV vertical de 90°.

Sur le casque se trouvent plusieurs points réfléchissants. Associés à une caméra infrarouge placée en face de l'utilisateur, ils permettent de traquer en temps réel la position et l'orientation de la tête, pour une expérience plus immersive.

Le casque est aussi prévu pour pouvoir être utilisé avec des lunettes de vue, ce qui s'avère pratique dans la mesure où une expérience utilisateur comportant éventuellement des participants sujets à des problèmes de vue est envisagée.



Caractéristiques techniques de l'Oculus Rift DK2



Du point de vue du software, l'Oculus est compatible avec des programmes en OpenGL et en DirectX. Durant notre formation, nous avons été formés à l'OpenGL, et nous avons pu rapidement commencer à modifier les programmes démos qui étaient fournis avec le casque. Par ailleurs, le fait que le casque lise des programmes compilés sous Visual Studio directement via l'ordinateur permet de les tester très rapidement.

## 2) Epson Moverio

Les lunettes Epson Moverio sont composées d'optiques free-form agissant en guide de lumière, afin de transmettre une image issue d'un écran LCD (960x540) dans le champ de vision de l'utilisateur. Le FOV est de 23°, ce qui constitue une amélioration par rapport au modèle précédent. La fréquence de rafraîchissement est là aussi de 60Hz.

Les Epson Moverio se contrôlent à l'aide d'une télécommande reliée par fil aux lunettes. Cette télécommande est tactile et comprend aussi un accéléromètre. On se sert de son doigt comme d'une souris dans "l'écran" virtuel qui apparaît dans notre champ de vision. Le tracking de la position est assuré par des gyroscopes situés dans le casque et la télécommande. Les Moverio détectent aussi le signal GPS. Les lunettes sont aussi équipées d'une caméra VGA de faible résolution et d'un microphone qui peuvent servir d'entrée pour d'autres commandes.

Contrairement au Rift, les Moverio ne permettent pas d'être utilisées avec des lunettes de vue.

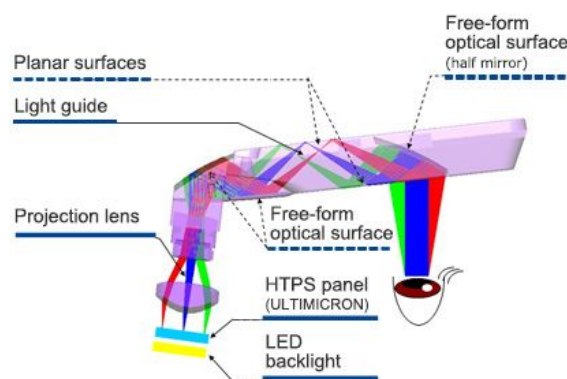


Schéma de fonctionnement des lunettes Epson Moverio


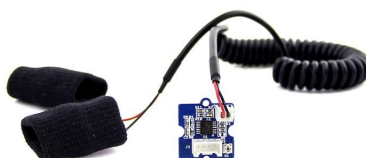
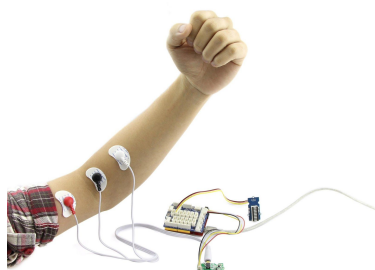
Dans le cas des Epson Moverio, le système d'exploitation est Android 4.0.4. Il faut donc pour les programmer exporter une application Java, qui sera ensuite lue par les lunettes.

Nous avons commencé à prendre en main cet aspect à l'aide d'Android Studio, un IDE spécialisé. Une grande partie du temps de prise en main a consisté à installer et rendre compatible la SDK Vuforia, supposément spécialisée dans les applications AR. Nous avons réussi à faire fonctionner un programme de tracking simple, mais nous nous sommes rapidement rendu compte qu'il n'existait que très peu de programmes conçus pour ces lunettes. En effet, Epson a essayé un échec commercial avec ce produit, et l'a rapidement retiré des ventes. Il résulte que la version d'Android présente sur les lunettes est désormais obsolète, et qu'il n'existe quasiment aucun code démo montrant comment exploiter les différents aspects des lunettes. Pour cette raison et à cause des faiblesses techniques évoquées plus haut, nous avons finalement décidé de nous consacrer exclusivement à l'Oculus Rift.

## b) Capteurs physiologiques

Afin de mesurer les facteurs physiologiques que nous avons identifié précédemment, nous avons utilisé des capteurs Arduino, de la marque Grove.

- Le *Grove - Ear-clip Heart Rate Sensor* est un capteur infrarouge se plaçant sur le lobe d'oreille, qui réagit à l'opacification de ce dernier au moment où il est traversé par le sang. Il permet de mesurer le rythme cardiaque.
- Le *Grove - GSR Sensor* est composé de deux pièces métalliques situées dans des manchons qui se placent sur deux doigts. La résistance de la peau est mesurée, et on peut relier la baisse de cette résistance à une augmentation de la sudation.
- Le *Grove - EMG Detector* est utilisé avec des électrodes que nous plaçons au niveau de la nuque. Le capteur mesure la différence de tension entre les électrodes qui correspond à la tension ou au relâchement des muscles.

		
<i>Ear-clip Heart Rate Sensor</i>	<i>GSR Sensor</i>	<i>EMG Detector</i>

Ces trois capteurs sont contrôlés simultanément par la carte Seeeduino Lotus: une carte programmable en langage Arduino, spécialement conçue pour pouvoir brancher plusieurs capteurs de type Grove. La carte communique avec l'ordinateur par l'intermédiaire du programme Gobetwino. Ce programme se contente de lire le port `Serial 7` de la carte, qui affiche simplement du texte. Le programme réagit à certaines balises textuelles, dont l'affichage est prévu dans le programme embarqué.

Les capteurs GSR et EMG fonctionnent de manière continue, et sont par conséquent appelés tour à tour par le programme. A chaque fois que les capteurs mesurent une valeur, une balise textuelle est affichée, et Gobetwino écrit dans un fichier texte la valeur mesurée ainsi que le moment (en millisecondes) où elle a été mesurée.

Le capteur de rythme cardiaque, quand à lui, fonctionne avec la commande `interrupt`. Les battements de coeur provoquent une interruption, dont la date est inscrite à l'aide d'une balise dans un fichier texte.

Chaque capteur enregistre ses mesures dans un fichier .txt différent. La syntaxe de chacun de ces fichiers est identique (*cf annexe 4-a*).

"NOUVEAU SUJET" correspond au séparateur entre chaque sujet. Ce séparateur nous a permis d'automatiser le traitement de donnée pour que chaque sujet soit associé aux valeurs qui lui sont propres. La date et l'heure sont un artefact de Gobetwino, qui nous a servi néanmoins à contrôler que les données étaient prises correctement. Les deux valeurs suivantes sont les plus importantes: il s'agit de la mesure du capteur et de l'instant de la mesure.

### c) Campagne de communication

Afin de réaliser l'expérience sur un grand nombre de sujets, il a été nécessaire de mettre en place une campagne de communication autour du projet pour réunir un panel de test.

Cette dernière campagne avait pour but de renseigner de façon concise à un public a priori concerné par la réalité virtuelle les motivations de notre étude tout en l'invitant à participer à une expérience simple, rapide et amusante au service du développement de la réalité virtuelle.

Nous avons choisi de communiquer les dates et modalités de l'expérience par mail afin de répandre l'information rapidement et efficacement dans le personnel scientifique proche de l'Institut d'Optique (étudiants, enseignants, chercheurs, personnel divers...)

Une affiche pour l'événement a également été réalisée sous Adobe Illustrator, imprimée en grand format puis diffusée autour du campus afin de toucher un public extérieur supplémentaire; et qui n'aurait pu être sensibilisé autrement (pas de contact direct).

Afin de faciliter la prise du grand nombre de rendez-vous nécessaires, nous avons eu recours à la création d'un Doodle, qui a permis de simplifier radicalement la planification de l'événement.

Pendant la phase de déroulement, les participants ont été accueillis et pouvaient attendre leur tour dans une salle d'attente jusqu'à leur passage au poste de test. Enfin, une fois l'expérience terminée, ils étaient récompensés par des bonbons prévus à cet effet.

Finalement, grâce à la campagne de communication réalisée, il a été possible d'accueillir tout au long des 14 jours un total de 39 personnes qui ont pu participer à l'expérience, venant ainsi constituer notre base de données dont l'analyse permettra de valider ou non les hypothèses émises.

## IV/ Oculus et l'environnement virtuel

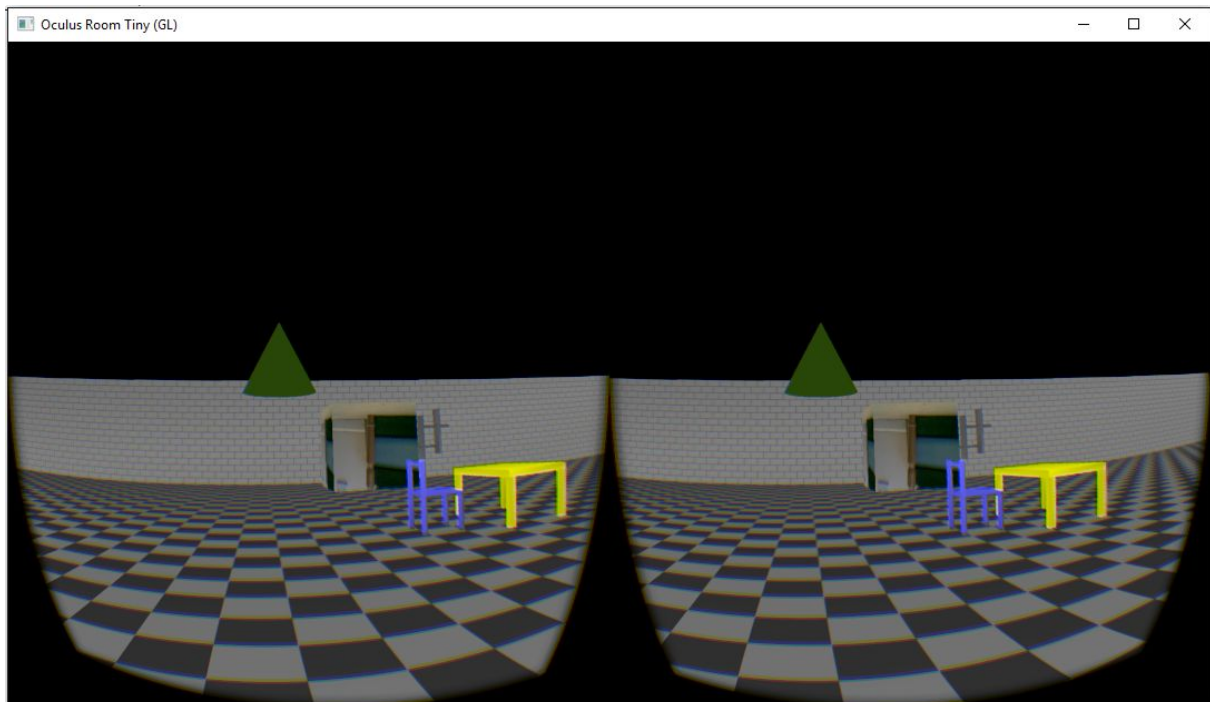
### a) Matériel, logiciels et objectifs

L'Oculus Rift DK2 se décompose en deux éléments : le casque monté sur l'utilisateur et le capteur attaché à l'écran de l'ordinateur. Les deux dispositifs sont connectés entre eux pour bénéficier de la même alimentation et être synchronisés. Le capteur se branche en USB à l'ordinateur et le casque en USB et HDMI.

Il est recommandé de brancher l'alimentation seule sur une prise secteur pour ne pas interférer avec le système de synchronisation. Le capteur doit être aligné avec le centre de l'écran pour qu'il n'y ait pas de décalage latéral dans l'environnement virtuel. Enfin, il faut noter que la capture des mouvements du casque est impossible si l'utilisateur est dos au capteur : il vaut mieux travailler dans les 180° autour de la position centrée.

Avant l'implémentation de l'environnement virtuel de l'expérience, il a fallu analyser et comprendre les applications Oculus de démonstration fournies avec la bibliothèque de développement. L'application Room Tiny a été choisie pour déterminer les possibilités de l'Oculus et a servi de base pour le développement de notre application. Dans Room Tiny, un environnement simple est affiché et l'utilisateur a la possibilité de se déplacer dans un plan. On peut également y observer des éléments graphiques mobiles.

Tous les éléments graphiques de Room Tiny sont construits à base de parallélépipèdes rectangles translattés. L'affichage peut être accompli par deux moteurs : DirectX et OpenGL. Pour des raisons de familiarité avec le moteur et d'abondance de documentation en ligne, OpenGL a été choisi.



*Oculus Room Tiny (OpenGL)*

Une utilisation prolongée de l'application a mis à jour quelques limitations liées au matériel. L'écran utilisé a un faible taux de rafraîchissement pour certaines couleurs (sombre dans le rouge et le bleu) conduisant à des traînées lors de mouvements rapides de la caméra.

De plus, la résolution de l'écran est faible, conduisant à des effets d'aliasing apparents. Dans les pires cas, des moirés peuvent être observés mais ceux-ci sont le plus souvent compensés par OpenGL. La pixellisation de l'écran devient très apparente pour des couleurs vives unies, ou pour des droites inclinées. Il devient également difficile d'observer des objets lointains ou de petite taille.

Le dernier défaut introduit cette fois par les optiques de l'Oculus, est la présence d'aberrations chromatiques. Pour un casque parfaitement placé, le centre de l'image ne présentera pas ce genre de défauts, mais rapidement, aux bords du champ de vision, ils apparaissent. Ces défauts sont encore une fois partiellement pris en compte lors de la génération des images numériques.

Une fois le matériel pris en main, nous avons pu définir certaines contraintes qu'il faudrait impérativement respecter pour le bon déroulement de l'expérience :

- il faut que les interactions avec l'environnement soient les plus réalistes possibles. Cela concerne tout particulièrement la gestion de la physique de la caméra. L'environnement et la caméra doivent répondre de manière « intuitive » aux actions de l'utilisateur.
- il faut que l'application soit ergonomique. Les efforts de l'utilisateur doivent être portés sur les tâches qu'il doit accomplir et non pas sur l'interface entre lui et la machine. Une tâche simple à conceptualiser, doit être simple à exécuter.
- il faut enfin éviter tout ralentissement involontaire de l'application. Son implémentation doit être optimisée pour que les performances soient limitées par notre intervention et non pas par le matériel informatique.

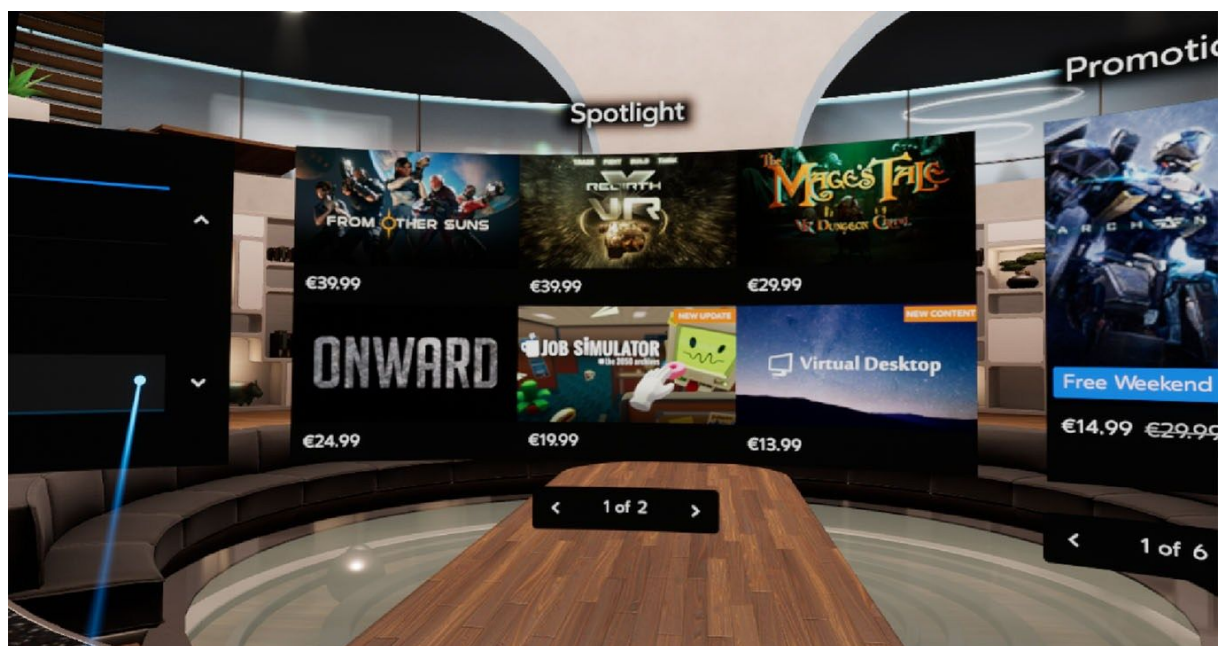
Ces trois points importent car leur non respect introduira des éléments de malaise ou de surprise non désirés pendant l'expérience. Pour que nos mesures soient pertinentes, l'expérience ne peut varier d'un sujet à l'autre de manière non contrôlable.

Cette nécessité de contrôle de l'expérience n'est pas qu'en termes de performances, mais aussi en termes de concepts. Les différents éléments du code de la démonstration doivent être compris et maîtrisés afin de pouvoir créer l'application sur mesure. Bien qu'il n'ait pas été possible d'en programmer une en ne partant de rien, en raison d'un manque de documentation en ligne, les parties pertinentes du code de la démonstration ont été identifiées : le contrôle de la caméra, la création de l'environnement, la configuration du moteur graphique etc.

Le dernier défi de l'implémentation était l'entretien de la compatibilité de l'application avec notre matériel informatique. Après quelques essais sans succès, au début du projet, avec les dernières versions du Kit de développement d'Oculus, nous nous sommes portés sur la bêta 0.8.0.0. Cette version avait pour qualité de pouvoir fonctionner sans la surcharge d'un « Hub », ou d'une interface graphique Oculus nécessaire au lancement de notre application. Elle avait néanmoins le défaut d'afficher un message d'avertissement pour la santé de l'utilisateur à chaque démarrage de l'Oculus, qui aurait pu introduire un élément de stress extérieur à l'expérience.

Cette version a cependant cessé d'être compatible avec Windows 10 l'année suivante et une grande partie du code a dû être revisitée pour passer à la nouvelle version 1.32.0, rendu enfin fonctionnelle. L'intégralité des fonctionnalités développées n'ont pas été portées sur cette nouvelle version pour des raisons de temps, mais la compatibilité est presque certaine. Avec la nouvelle version, le message d'avertissement a disparu mais un « Hub » est apparu. Il est maintenant nécessaire de lancer une session Oculus avant de pouvoir exécuter toute application.

Ce « Hub » nous permet d'assurer le bon positionnement du casque sur la tête de l'utilisateur avant le début de l'expérience, cependant les performances se sont vues grandement diminuer avec la nouvelle version. Pour éviter des ralentissements intempestifs de l'application, il est maintenant nécessaire de ne garder ouvert que celle-ci pendant son exécution, et de préférence après un redémarrage du système si d'autres programmes ont été utilisés (comme un navigateur internet). De plus, il a fallu « saboter » le lancement de Oculus Home, un environnement 3D surchargeant inutilement la mémoire en lançant le moteur Unity.



*Oculus Home*



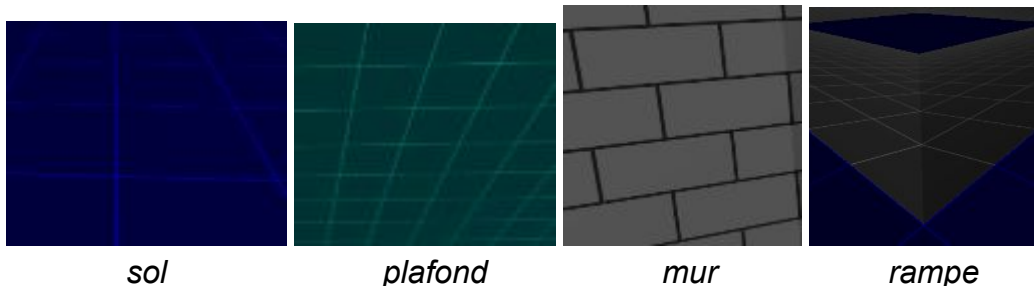
## b) Eléments graphiques

La construction de l'environnement virtuel a nécessité l'élaboration de plusieurs types d'éléments graphiques, les plus apparents étant ceux qui constituent la partie « physique » de l'environnement : les murs, le sol, le plafond, les rampes et les drapeaux. De ces éléments seuls les drapeaux ont une fonction autre que simplement reproduire un environnement intuitif où peut se déplacer l'utilisateur. Les autres constituent l'architecture, ou les limites du monde virtuel. Toutes ces formes sont construites à partir de structures de points et triangles. Les murs, sol et plafond sont simplement des parallélépipèdes rectangles auxquels on applique différentes déformations d'échelle. En revanche les rampes ont dû être implémentées différemment pour obtenir des faces non orthogonales les unes aux autres. On a deux types de rampes :

- les tuiles, pour lesquelles on abaisse deux points voisins au sommet d'un parallélépipède
- les coins, pour lesquels on abaisse 3 des 4 points au sommet d'un parallélépipède

Les rampes ont pour fonction de signaler un changement de la hauteur du sol à un joueur. Pour les drapeaux, on a simplement choisi de les représenter par des blocs (parallélépipèdes) colorés.

La taille de ces différents éléments a été choisie pour simuler des décisions architecturales réalistes. L'objectif étant de limiter des effets de claustrophobie non liés à l'utilisation d'un casque à réalité virtuelle. La taille des drapeaux est également à l'échelle de l'utilisateur, de manière similaire aux véritables drapeaux que l'on pourrait trouver sur des terrains de sport (golf, football etc).



Pour donner des repères supplémentaires à l'utilisateur, il est important de texturer les différents éléments graphiques. D'une part cela permet une meilleure estimation des distances et d'autre part cela peut donner des contours et une forme plus tangible aux objets virtuels. En effet, les retours de différents utilisateurs nous ont conduit à modifier l'apparence des drapeaux depuis un rouge vif uniforme, vers un rose pâle texturé, soulignant les contours du bloc. Il faut noter que l'utilisation de ces couleurs vives introduisait un malaise supplémentaire chez l'utilisateur. Dans le cadre de notre implémentation, les textures sont de simples motifs qui se répètent : elles ne changent pas d'échelle avec les objets sur lesquels elles sont appliquées, mais le nombre de périodes augmente. Le plafond, sol et différentes rampes ont de simples grilles plaquées sur leur surfaces, alors que les murs imitent l'apparence de murs de briques.





*le drapeau original et sa version texturée*

Un élément non présent dans l'application de démonstration qu'il a été nécessaire d'ajouter était la gestion de la transparence. Des tests ont montré que l'ordre de rendu de certains éléments graphiques était encore important que pour la transparence apparaisse naturelle. Cela n'a pas immédiatement été utilisé pour l'architecture de l'expérience mais pour certains filtres décrits à la fin de cette partie.

Le deuxième type d'éléments graphiques implémenté est le texte de premier plan. L'idée est de pouvoir fournir des informations à l'utilisateur sans avoir les intégrer directement à l'architecture. Une police d'écriture a dû être recopiée sur la forme de tableaux de booléens dans le code, afin de pouvoir être interprétée comme une texture : nous sommes donc parti d'une police en basse résolution (8 fois 8 pixels pour chaque caractère) que nous avons ensuite convertie en fichier pgm (binaire). La police en question est tirée d'un jeu vidéo de 1987 Final Fantasy. On a ainsi accès à des chiffres, lettres, et à de la ponctuation de base.

Comme expliqué précédemment, les textures sont traitées comme un papier-peint appliqué à des surfaces planes. Pour afficher un caractère il faut donc créer un bloc et le découper de manière à n'obtenir qu'une seule occurrence de ce dernier. Plutôt qu'utiliser des parallélépipède rectangle on a implémenté une classe pour afficher des surfaces planes directement. Puisque les caractères seront collés les uns autres et feront tous la même taille, il est possible de simplement découper un bloc d'un certain caractère autour de l'emplacement où l'on souhaite l'afficher, sans avoir à effectuer de translation. On note qu'il est possible que dans la dernière version de l'application, le texte affiché ait mal été centré horizontalement.

Appliquer directement cette méthode ne prenait pas en compte l'effet d'interpolation linéaire appliqué aux textures. Puisque le même caractère apparaît une infinité de fois par bloc, simplement découper les pixels correspondant au caractère désiré risque également de capturer les « bavures » autour des caractères voisins. On a donc décalé la capture d'un demi pixel verticalement et horizontalement pour éviter ce problème, puisqu'on avait un pixel d'écart entre chaque caractère.

Enfin, il a fallu résoudre le problème d'afficher le texte toujours au dessus de la scène : à la manière de lunettes de réalité augmentée. Le texte étant traité comme un objet physique, s'approcher trop près d'un mur le ferait passer derrière. Une solution est de rapprocher le texte le plus près possible de l'utilisateur, mais cela rend sa lecture désagréable car ce dernier doit en permanence changer la vergence de son regard. Inversement afficher le texte « à l'infini », permet une lecture plus agréable mais ce dernier est toujours dissimulé derrière des éléments du décor. La solution a été d'utiliser un mode de fonctionnement particulier pour le rendu dans OpenGL : un cache de profondeur inversé pour la projection du texte. De cette manière plus le texte est loin, plus il aura la priorité sur l'affichage à l'écran. Pour le

mettre à l'infini, il ne reste qu'à réduire de manière conséquente la constante *far* dans la matrice de projection.

Pour les besoins de l'expérience, un dernier type d'éléments graphiques a été implémenté : les filtres. Ces filtres ont pour objectif de dégrader en qualité ou en information l'expérience de l'utilisateur. Bien qu'ils ne soient pas tous présents dans la version finale de l'expérience, ils ont servi pendant la période d'émission des hypothèses à vérifier pendant cette dernière. Le premier et plus court à implémenter était la suppression de la stéréoscopie : les matrices de transformation de chaque œil sont moyennées en une unique matrice et la même image est affichée pour les deux yeux.

De manière similaire, un élément de disparité oculaire a été introduit, sous la forme d'une croix verte présente sur l'œil de notre choix. Cela a permis d'étudier l'influence de l'œil directeur chez l'utilisateur.

D'autres expériences similaires à la nôtre, introduisent un élément fixe auquel peut se référer l'utilisateur : un nez à l'emplacement réel du nez du sujet. Nous avons implémenté cet effet de deux manières différentes : un nez réaliste à l'emplacement prévu, et un « double nez » au centre de l'image pour chaque œil. La deuxième manières a été introduite car le nez réaliste ne semblait pas remplir sa fonction de point de référence.

Pour provoquer efficacement du malaise chez le sujet, une fonction d'« oscillations » non causées par le mouvement de ce dernier a été implémentée. La fonction déplace la caméra de haut en bas et réalise une rotation autour de l'axe principal de 180° à gauche puis à droite, et ce sur des périodes différentes. Cela cause une désorientation et un malaise chez le sujet mais n'est pas représentatif d'un comportement standard d'applications de réalité virtuelle.

L'autre méthode pour provoquer rapidement du malaise est la diminution du nombre d'images par seconde. Baisser radicalement la réactivité de l'affichage provoque également une perte des repères. C'est de plus un phénomène courant dans les applications standard. L'implémentation est très simple : une pause du nombre nécessaire de millisecondes pour compléter la période désirée est ajoutée à la fin de la boucle principale. En revanche, l'implémentation d'une latence telle que l'exécution du programme reste fluide mais avec un retard présentait trop de difficultés pour être mise en œuvre.

Des traitements sur l'image même ont également été implémentés : on utilise les fonctionnalités de transparence pour afficher un carré blanc ou noir devant la scène afin de diminuer le contraste de l'image.

Nous avons aussi la possibilité de transformer les couleurs de l'image en nuance de gris. Cela a d'abord été directement implémenté comme une propriété des matériaux : le niveau de gris a été pré-calculé et ajouté en attribut. Ensuite la conversion a été ajoutée dans le shader de fragments pour ne pas avoir à renseigner la couleur désirée pour chaque élément graphique.

Enfin, le dernier filtre est la réduction du champ de vision : il s'agit d'un carré avec un gradient radial d'opacité. Réduire le champ revient à éloigner ce carré de la caméra virtuelle, réduisant ainsi la taille apparente de la pupille.

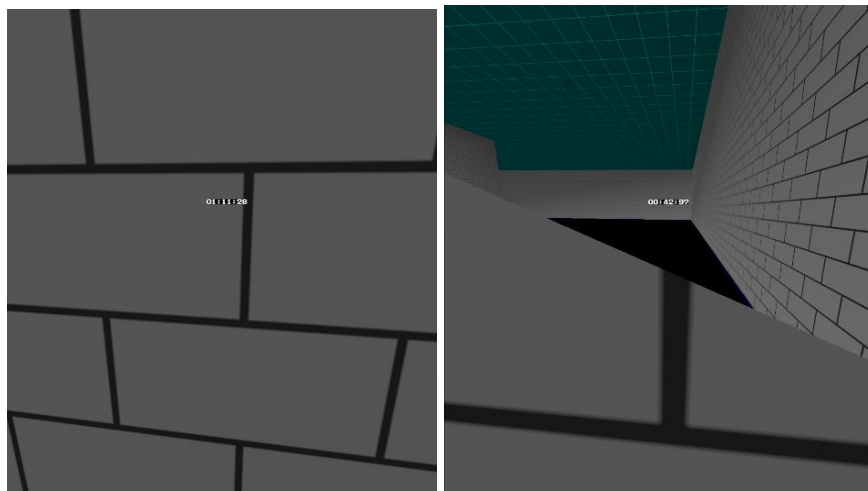
*(Cette partie n'a pas pu être illustrée car ces filtres n'ont pas été implémentés dans la nouvelle version et l'ancienne n'est plus compatible avec Windows 10)*

### c) Moteur physique

Une fois les visuels réalisés, il a fallu définir les interactions de l'utilisateur avec ces derniers. L'introduction de l'expérience au sujet se fait par le contrôle de la caméra. Il a été décidé de contrôler l'expérience au clavier, à l'aide des flèches directionnelles. Nous nous sommes basés sur le modèle du « véhicule » : appuyer sur haut ou bas fera avancer ou reculer la caméra, et appuyer sur gauche ou droite la fera tourner sur elle-même.

De cette manière le contrôle du « corps » virtuel de l'utilisateur est indépendant de celui de sa « tête ». Les rotations et translations du casques sont directement prises en charge par Oculus et l'accès aux rotations au clavier a été donné pour que l'utilisateur n'est pas à tourner physiquement sa tête de 180° pour faire un demi-tour. Nous avons cependant introduit une confusion entre l'avant du « corps » et le centre de l'image, puisqu'il s'agit alors de deux choses différentes. L'utilisateur aura l'impression de partir à la dérive si sa tête ne fait pas face au capteur sur l'écran. Un autre problème peut surgir si l'utilisateur venait à trop rapprocher sa tête de l'écran : la caméra pourrait passer à travers les murs qu'il n'est pas supposé franchir. La solution est simplement d'écarter le capteur de la position du casque.

La vitesse de translation a été décidée arbitrairement, de manière à garantir un certain degré de maniabilité. Cependant certains sujets se sont plaints de l'absence d'option pour accélérer leur avatar virtuel. Nous n'avons pas eu de remarques concernant la vitesse de rotation.



*L'utilisateur passe la tête à travers le mur*

Si l'utilisateur a le contrôle de la caméra dans un plan, la hauteur de cette dernière est déterminée par l'environnement. Pendant l'expérience le sujet reste assis et la caméra est à hauteur constante par rapport au sol de la salle virtuelle. Les mouvements verticaux de la tête sont très peu pris en compte par l'Oculus, à moins que l'utilisateur passe d'une position assise à une position debout.

La hauteur est calculée par rapport à la hauteur du sol, cette dernière est déterminée par interpolation entre les hauteurs des différents blocs de sol. Cette interpolation se manifeste visuellement par la présence des rampes.

L'altitude de la caméra est très importante pour définir les dimensions de l'environnement. Elle correspond à la taille de l'utilisateur dans le monde virtuel, et informe donc sur la taille de ce dernier et sur la vitesse de la caméra. Nous avons choisi une hauteur correspondant à une personne debout.



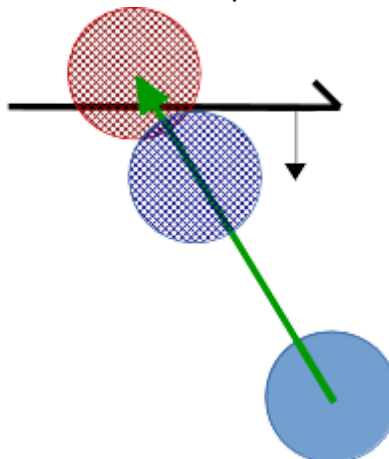
*interpolation linéaire de la hauteur*

Un aspect très important pour garantir l'ergonomie et le réalisme de notre environnement virtuel est la gestion des collisions. L'utilisateur doit pouvoir être arrêté par des obstacles sans pour autant se retrouver coincé. Nous avons programmé plusieurs fonctions pour déterminer si deux formes géométriques s'intersectent :

- droite et segment
- segment et segment
- point et cercle
- droite et cercle
- segment et cercle

C'est cette dernière (qui utilise les deux précédentes) qui nous est la plus utile : l'avatar de l'utilisateur est représenté par un cylindre et les murs par des carrés. Après projection dans le plan où le sujet évolue, on obtient un cercle parmi des segments.

On va donc devoir tester si le cercle du joueur intersecte le segment d'un mur (ou plusieurs). Puisque l'environnement est réduit et le nombre de murs relativement faible, il est possible de tester l'intégralité des murs à chaque déplacement. Chaque mur est modélisé par un vecteur, un demi-mur, qui renseigne sur sa position, ainsi que la direction et le sens de la force qu'il exerce sur la caméra. On obtient la normale du mur par produit vectoriel entre le demi-mur et l'axe vertical. Cela permet d'identifier quels murs vont avoir un effet sur la position finale de la caméra.

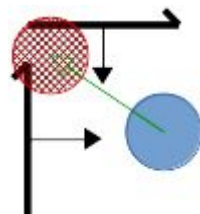


*Le disque plein se déplace vers le disque rouge qui intersecte le demi-mur. On calcule la position intermédiaire bleue qui ne traverse pas le mur.*

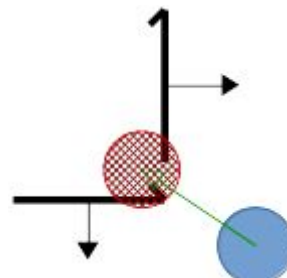
Lors d'un déplacement, la caméra a une position de départ et une d'arrivée. Si cette position d'arrivée est dans un mur, il faut calculer une nouvelle position : la position qu'aurait dû avoir la caméra si elle s'était arrêtée avant le mur. Pour déterminer cette position on a dû implémenter une fonction de projection orthogonale en complément des fonctions de test de collision. Une difficulté apparaît lorsque plusieurs murs sont impliqués dans le calcul de la position, il faut donc définir un comportement pour les cas suivants :

- le mur rencontré est le premier mur rencontré : on calcule une position intermédiaire en se projetant sur ce dernier
- le mur rencontré est « en accord » avec le mur précédent et on projette la position intermédiaire calculée précédemment si nécessaire
- le mur rencontré est « en désaccord » avec le mur précédent et on calcule une position intermédiaire alternative avec ce nouveau mur ; on conserve alors la position qui respecte le plus la continuité de la vitesse de la caméra

Pour vérifier la continuité de la vitesse, il est donc important de conserver la position actuelle de la caméra, la nouvelle position que l'on souhaite tester, mais également la position précédente. Des murs sont « en accord » lorsque leurs forces pointent dans la « même direction » : un objet soumis à ces deux forces est en équilibre stable. Des murs « en désaccord » ont des forces qui pointent dans des « directions différentes » : un objet soumis à ces deux forces est en équilibre instable. Il ne suffit pas d'observer les vecteurs de force, il faut également prendre en compte la position des murs.



*murs en accord*



*murs en désaccord*

La dernière forme d'interaction de la caméra avec le monde virtuel est la collecte de drapeaux. Pour collecter un drapeau, il suffit que la caméra se situe dans un certain rayon du centre du drapeau. C'est une collision point-cercle. Cependant, on ne va pas simplement prendre le cercle circonscrit à la base carrée du drapeau car l'utilisateur est modélisé par un cylindre et pas un point. On prend donc un rayon légèrement supérieur à celui du cylindre du joueur.

Il arrive cependant que certains joueurs rencontrent des difficultés à collecter les drapeaux : ils semblent passer au travers. Cela est dû à un mauvais placement du joueur vis-à-vis du capteur. Si le joueur est trop sur la gauche ou la droite, le centre de l'image ne correspond plus au centre du corps du joueur, et il passe à côté de la zone de collecte.

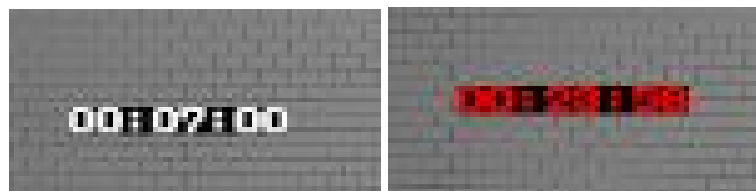
#### d) Gestion du temps : Mode facile/difficile

Pour introduire un élément de stress dans l'expérience, nous avons implémenté un chronomètre au sein de l'application. Le temps est mesuré à l'aide des fonctions de la bibliothèque standard C++ et l'affichage se fait grâce aux éléments graphiques textuels développés précédemment. L'application dispose de deux modes de fonctionnement « facile » et « difficile ».

En mode difficile, le joueur dispose d'un certain temps pour attraper chaque drapeau, et le temps qu'il lui reste quand il en attrape un, est sommé au temps qu'il lui est donné pour le suivant. On affiche alors un chronomètre décroissant, et une augmentation soudaine du temps, garantit à l'utilisateur qu'il a bien attrapé un drapeaux. En mode facile, le temps est affiché de manière croissante et est remis à zéro entre chaque drapeau : de cette manière le sujet peut s'assurer d'avoir attrapé un drapeau mais il n'y a pas de contrainte de temps apparente. Il faut néanmoins afficher le chronomètre, pour ne pas introduire le biais d'un élément graphique supplémentaire en mode difficile. Pour stresser d'avantage le joueur, le chronomètre en mode difficile est affiché en rouge (suite à nos observations sur la réaction des sujets à la couleur des drapeaux).

Implémenter le mode difficile a nécessité l'établissement du temps offert à chaque capture de drapeau. Pour cela nous nous sommes chronométrés pendant le parcours de l'expérience et avons donné légèrement plus de temps aux sujets, puisque nous y avons déjà pris part de nombreuses fois.

La sélection du mode se fait au lancement de l'application. Le sujet verra le « Hub » de Oculus disparaître et faire place à un écran noir. Sur cet écran presser « + » ou « - » sur le clavier lancera l'expérience dans le mode difficile ou facile.



*chronomètre en mode facile et en mode difficile*

Grâce à l'écran de sélection de la difficulté, il est très simple de déterminer l'origine du temps de l'expérience. On note simplement l'instant de pression du « + » ou du « - ». Après cette origine, les prochains temps à prendre en note sont les temps de prise des drapeaux. En effet, on va ainsi pouvoir comparer les différentes performances des utilisateurs, ainsi que les instants de prises de drapeaux, avec leurs données physiologiques prises à l'aide des capteurs sur carte Arduino. L'expérience sera lancée en même temps que le logiciel de capture afin de garantir la synchronisation. On se réserve également le droit de mettre d'autres marqueurs de temps pendant l'expérience en pressant la barre d'espace.

Ces données seront stockés dans un fichier texte formaté de manière similaire à ceux fournis par le logiciel Arduino. A chaque nouvelle expérience, on écrit « NOUVEAU SUJET », s'ensuivent la liste des temps précédés à chaque fois par le nombre de drapeaux capturés. Les temps sont en millisecondes, et le premier temps indiqué est l'origine, précédée d'un « 0 », puisqu'aucun drapeau n'a encore été attrapé.

## V/ Expérimentation

### a) Le protocole expérimental

Afin de limiter au maximum le biais introduit lors de l'expérience entre les différents participants, nous avons établi un protocole stricte du déroulement de l'expérience.

Les participants ont passé l'expérimentation dans la salle dédiée au Projet Cognitique au sein de l'Institut d'Optique Aquitain. Deux salles étaient à notre disposition pour mener à bien nos tests :

- une salle d'attente avec :
  - chaises
  - tables
  - bonbons et boissons
- une salle d'expériences avec :
  - chaises
  - tables pour remplir les documents et passer les tests nécessaires
  - un casque de réalité virtuelle - l'Oculus Rift DK2
  - des capteurs pour mesurer des données physiologiques du participants comme :
    - le rythme cardiaque
    - l'électroconductivité de la peau
    - le tonus musculaire au niveau de la nuque
  - une carte Seeeduino Lotus
  - un premier ordinateur servant à faire fonctionner l'expérience VR
  - un second ordinateur servant à récolter les données capteurs et les réponses aux questionnaires

Nous avons constitué 2 groupes de taille équivalente :

- un groupe témoin de 20 sujets pour lequel nous n'avons pas tenté d'induire du stress lors de l'expérience.
- un groupe test de 18 sujets pour lequel nous avons tenté d'induire du stress lors de l'expérience VR. La méthode pour créer du stress artificiellement est décrite dans la partie II/c.

Pour chaque participant, le déroulement de l'expérience est le suivant :

#### 1) Fiche de participation

Les participants à l'expérience signent tout d'abord un document de deux pages de consentement, prévenant des risques d'effets secondaires tels que la nausée et les informant sur la confidentialité des données concernant leur identité. (cf. Annexe 1)

#### 2) Passage du GEFT

Les sujets doivent surligner une forme simple qui leur est indiquée, intégrée dans une forme plus complexe. Ils ont deux questions d'entraînement et ont ensuite

3 minutes et 20 secondes pour faire les 10 suivantes. Plus ils en accomplissent avec succès, plus ils sont indépendants au champ visuel. (cf. annexe 2)

### 3) Pré-questionnaire

Les sujets répondent à un questionnaire comprenant :

- un pré-questionnaire sur leur expérience avec la VR dans le passé
- un premier SSQ (cf. annexe 3). Il s'agit d'une version comportant 27 questions adaptés à l'étude du malaise induit. Une quantification du malaise initial est calculée.
- un questionnaire de stress initial, nommé STAI-YB (cf. annexe 3). Il comprend 20 questions qui permettent d'établir le stress initial du participant avant l'expérience VR. Une quantification du stress initial est calculée.

### 4) Expérience VR

Les participants subissent l'expérience de réalité virtuelle.

Notre environnement virtuel a été conçu spécialement pour l'expérience. Ainsi l'environnement est épuré, ce qui permet d'éviter une accumulation de biais dans nos mesures. Il comporte plusieurs pièces et couloirs. Plusieurs "drapeaux" sont disposés, et apparaissent progressivement (ce sont des blocs de couleur rose pâle). A chaque fois que l'utilisateur passe sur un drapeau, le suivant apparaît, créant un parcours.

Afin de créer des sources potentielles de CVI, nous avons implémenté quelques montées et descentes.

La consigne est différente selon le groupe de passage :

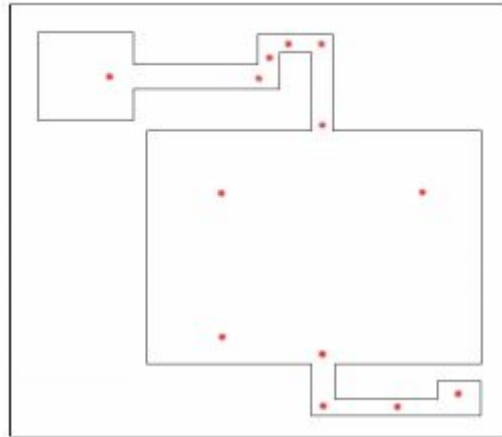
- pour le groupe témoin : "Collectez tous les drapeaux rouge. N'hésitez pas à prendre tout le temps dont vous avez besoin pour réaliser le parcours."
- pour le groupe avec un stress induit : "Collectez tous les drapeaux rouges, vous allez être chronométré pour mesurer votre performance. Votre objectif est de terminer la mission le plus vite possible. N'oubliez pas que vous avez un certain temps limité pour arriver à chaque drapeau."

Tous les participants sont prévenus qu'ils peuvent arrêter l'expérience à tout moment, si ils le souhaitent.

Le groupe témoin a un chronomètre blanc avec le temps qui s'écoule dans le sens classique, comme une simple montre. Sa présence sur l'interface du groupe témoin qui ne doit pas être stressé s'explique par la volonté d'éviter un biais à cause de l'absence ou la présence d'un objet fixe de ce type dans le champ visuel.

Le groupe stressé voit un compte à rebours rouge, c'est-à-dire un nombre de secondes se rapprochant du zéro, auquel quelques secondes se rajoutent à chaque fois qu'il collecte un drapeau.





Le plan de la salle virtuelle est représenté ci-dessus. Les balises sont représentées par les points rouges.

A la fin de l'expérience, les participants sont invités à faire le tour de la pièce en marchant, afin de mieux sentir leur corps. Nous en profitons pour recueillir leurs impressions sur ce l'expérience VR.

#### 5) Post-questionnaire

Après l'expérimentation, tous les sujets passent un second questionnaire. Ils répondent à un second questionnaire SSQ (le même que le premier). Ils passent ensuite le questionnaire STAI Y-A (cf. Annexe 5) qui rend compte de leur état de stress après l'expérience. Ils sont invités à se prononcer sur leur état général en répondant à un post-questionnaire (cf. annexe 5) .

#### b) Traitement des données

Une fois l'expérience terminée, nous avons rassemblé une grande quantité de données sur chacun des sujets. Afin de les rendre utilisables pour une future analyse statistique, nous avons dû les traiter pour donner à chaque paramètre une valeur unique pour chaque sujet.

Les questionnaires GEFT, STAI et SSQ sont conçus de manière à pouvoir calculer un score pour chaque participant. Malheureusement, le GEFT que nous avons utilisé s'est avéré être incomplet, et ne pouvait être interprété correctement. Nous avons dû nous résoudre à attribuer seulement deux notes: 1 si le sujet avait réussi 9 questions sur les 10 ou plus, et 0 sinon.

Le Simulator Sickness Questionnaire (SSQ), divise le malaise en trois catégories: Nausée (N), Fatigue Visuelle (O pour oculomotor) et Désorientation (D). Les valeurs N, O et D sont simplement la somme des scores attribués à chaque sensation (de 0 à 3) qui rentre dans la catégorie. Une même sensation peut appartenir à plusieurs catégories. La formule utilisée pour calculer le score est:

$$\text{Score} = (N \cdot 9.54 + O \cdot 7.58 + D \cdot 13.92) \cdot 3.74$$

Le STAI est divisé en deux. Le STAI - YB évalue l'anxiété trait (AT) c'est à dire la propension d'un sujet à éprouver du stress. Ce questionnaire comporte 20 items. Chacun d'entre eux se voit attribuer une note allant de 1 à 4 (*presque jamais, parfois, souvent, presque toujours*). Le score correspond simplement à la somme de toutes les notes. Le score varie donc entre 20 et 80. Ce score permet de moduler les résultats que nous obtenons après l'expérience: le fait qu'une personne plus encline au stress soit plus affectée par l'expérience est donc pris en compte. Le questionnaire post test est le STAI - YA, qui comporte lui aussi 20 questions. Il est très similaire au premier, à cela près que les notes portent un label différent (*non, plutôt non, plutôt oui, oui*). Les questions portent sur l'état du sujet à un instant donné plutôt que sur son état général. Encore une fois, le score final est simplement obtenu en sommant toutes les notes.

Pour les capteurs, nous avons dû dans un premier temps récupérer l'évolution des différents paramètres au cours du temps. Nous avons pour cela développé une application fenêtrée en Qt, spécialement conçue pour traiter les fichiers .txt avec la mise en forme que nous avons choisie. Le programme récupère les fichiers issus des capteurs et de la salle de test, synchronise les temps, et récupère les valeurs des capteurs. Dans le cas du rythme cardiaque, on effectue à ce moment une différentielle pour connaître le temps écoulé entre deux battements.

Le programme fonctionne sur une boucle de lecture de fichier texte, à cela près qu'il comporte des boucles secondaires pour isoler chaque sujet. Les termes "NOUVEAU SUJETS" permettent de fournir les conditions de sortie des boucles. Chaque sujet produit une courbe et ajoute un élément à un fichier "bilan" qui sera utilisé pour l'analyse statistique (*cf annexe 4-b*).

Le logiciel permet ainsi à l'aide de différentes bibliothèques Qt d'exporter des images de courbes temporelles d'évolution des différents paramètres, en ajoutant des marqueurs aux instants auxquels le sujet récupère les "drapeaux" dans la salle. Nous avons ainsi une idée générale du comportement de chaque sujet.

Afin d'obtenir une valeur unique par paramètre et par sujet, nous avons dû à nouveau réfléchir à une manière de quantifier chacune des courbes. Nous avons envisagé de récupérer le minimum et le maximum, ou bien de calculer l'écart entre les valeurs initiales et les valeurs finales. Finalement, les calculs statistiques ont été effectués en prenant en compte la moyenne de la dérivée de chaque courbe, donnant ainsi une idée de l'évolution globale au cours du temps.

### c) L'analyse des données

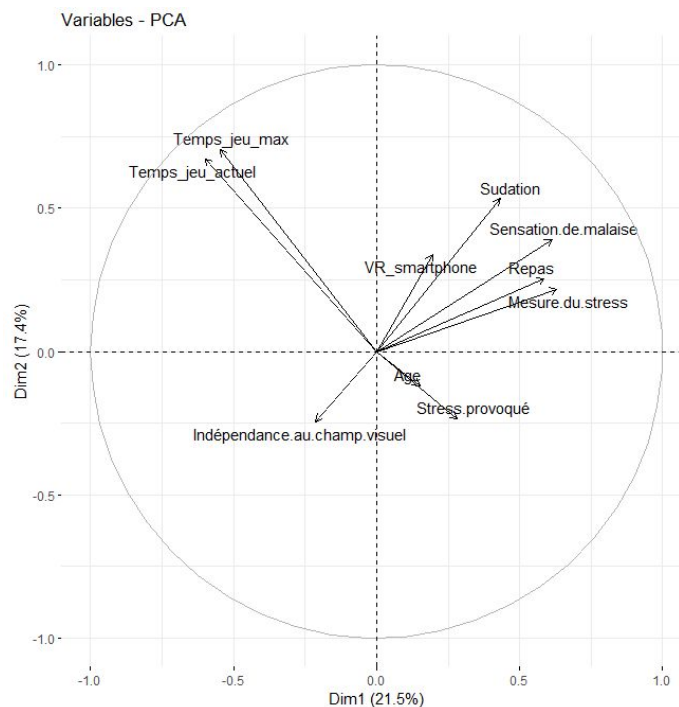
Une fois la période d'expérience terminée, nous avons réuni les différentes données afin de pouvoir les analyser. Les données sont regroupées en 2 catégories :

- Les variables à expliquer :
  - Le score SSQ (variante 16 questions) par participant est calculé en faisant la différence : SSQ après - SSQ avant
  - La fréquence cardiaque : avec des électrodes ECG, afin d'obtenir la variation individuelle, nous calculons la différence [ moyenne des 10 dernières secondes - moyennes des 10 premières secondes ]
  - La sudation : avec un conductimètre, [ moyenne des 10 dernières secondes - moyennes des 10 premières secondes ]. On peut ainsi relever la différence engendrée par les tendances observables comme ci-dessous.
  - Le tonus musculaire: avec des électrodes disposées sur la nuque, [ moyenne des 10 dernières secondes - moyennes des 10 premières secondes ]
- Les variables explicatives :
  - Le stress : mesuré par le STAI ( score STAI YA - score STAI YB ]
  - L'heure du dernier repas : trois catégories (moins d'une heure, entre une heure et quatre heures, plus de quatre heures)
  - L'habitude de jeu : le nombre moyen d'heures de jeu vidéo par semaine actuellement, et le nombre d'heure de jeu par semaine lorsqu'ils y ont joué le plus
  - Jeu en réalité virtuelle : jamais / occasionnellement / souvent
  - La dépendance au champ visuel : résultat au test du GEFT
  - l'âge
  - le sexe

L'objectif de l'analyse des résultats est d'infirmer ou de confirmer par analyse statistique les 2 hypothèses que nous avons émises. Cette analyse a été réalisée en grande partie à l'aide du logiciel d'analyse statistique R. Etant donné que notre objectif est de quantifier les corrélations entre les variables explicatives et les variables à expliquer, nous avons choisi d'utiliser les capacités de R concernant les méthodes d'Analyse en Composantes Principales (ACP). Pour nous former à cette méthode, nous avons utilisé l'article suivant : ["http://www.sthda.com/french/articles/38-methodes-des-composantes-principales-dans-r-guide-pratique/73-acp-analyse-en-composantes-principales-avec-r-l-essentiel/".](http://www.sthda.com/french/articles/38-methodes-des-composantes-principales-dans-r-guide-pratique/73-acp-analyse-en-composantes-principales-avec-r-l-essentiel/)

Notre analyse s'est donc axée sur 2 méthodes :

- l'ACP, qui est utilisée pour extraire et visualiser les informations importantes contenues dans une table de données multivariées. L'ACP synthétise ces informations en seulement quelques nouvelles variables appelées Composantes Principales. L'objectif de l'ACP est d'identifier les composantes principales le long desquelles la variation des données est maximale. Afin de



pouvoir comparer les différentes variables entre elles, nous les avons centrées et normées.

Le graphique ci-dessus est également connu sous le nom de graphique de corrélation des variables. Il montre les relations entre toutes les variables. Il peut être interprété comme suit:

- Les variables positivement corrélées sont regroupées.
  - Les variables négativement corrélées sont positionnées sur les côtés opposés de l'origine du graphique (quadrants opposés).
  - La distance entre les variables et l'origine mesure la qualité de représentation des variables. Les variables qui sont loin de l'origine sont bien représentées par l'ACP.
- l'étude des coefficients de corrélation. Plus le coefficient de corrélation entre 2 variables est proche de 1 en valeur absolue, plus la corrélation entre ces 2 variables est forte.

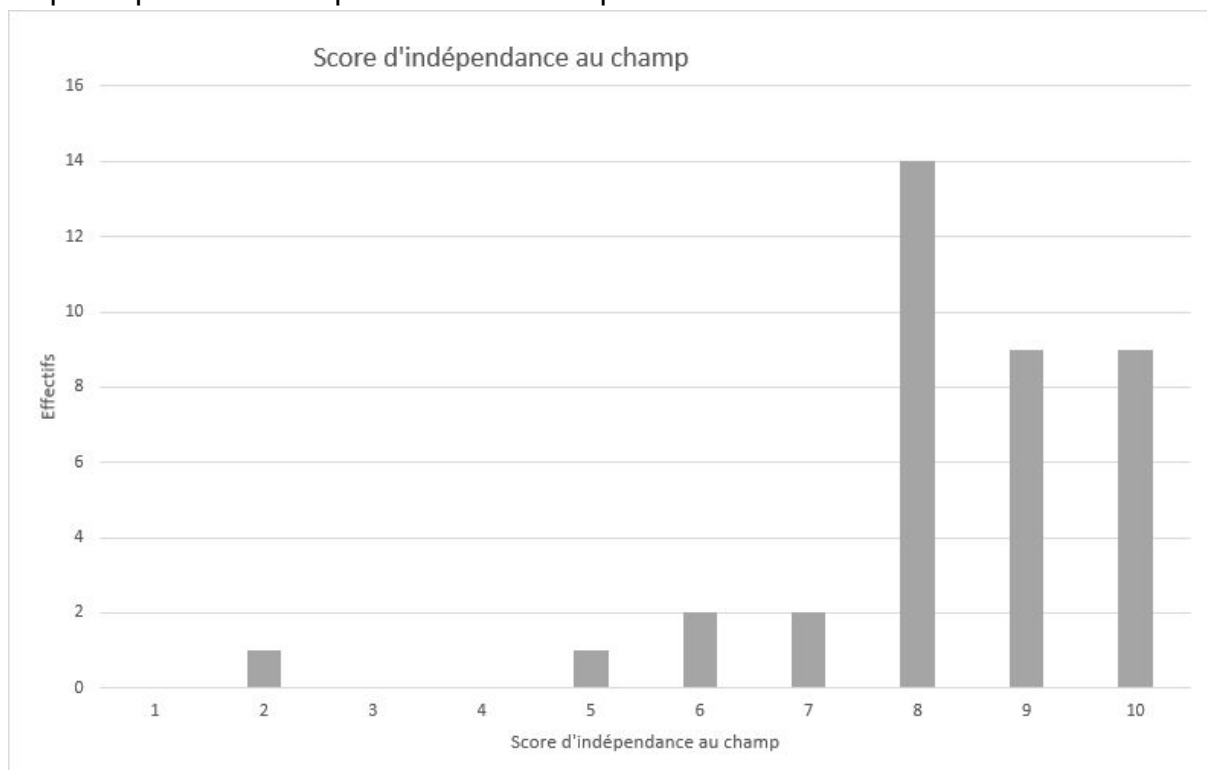
L'avantage de l'ACP est de donner rapidement une idée des corrélations qui peuvent exister entre les variables. Cependant, il est possible que la représentation des données puissent conduire à une interprétation faussée. Il est donc nécessaire de croiser cette méthode avec l'étude des coefficients de corrélation afin de ne pas tirer des conclusions biaisées voire fausses.

## VI/ Les résultats

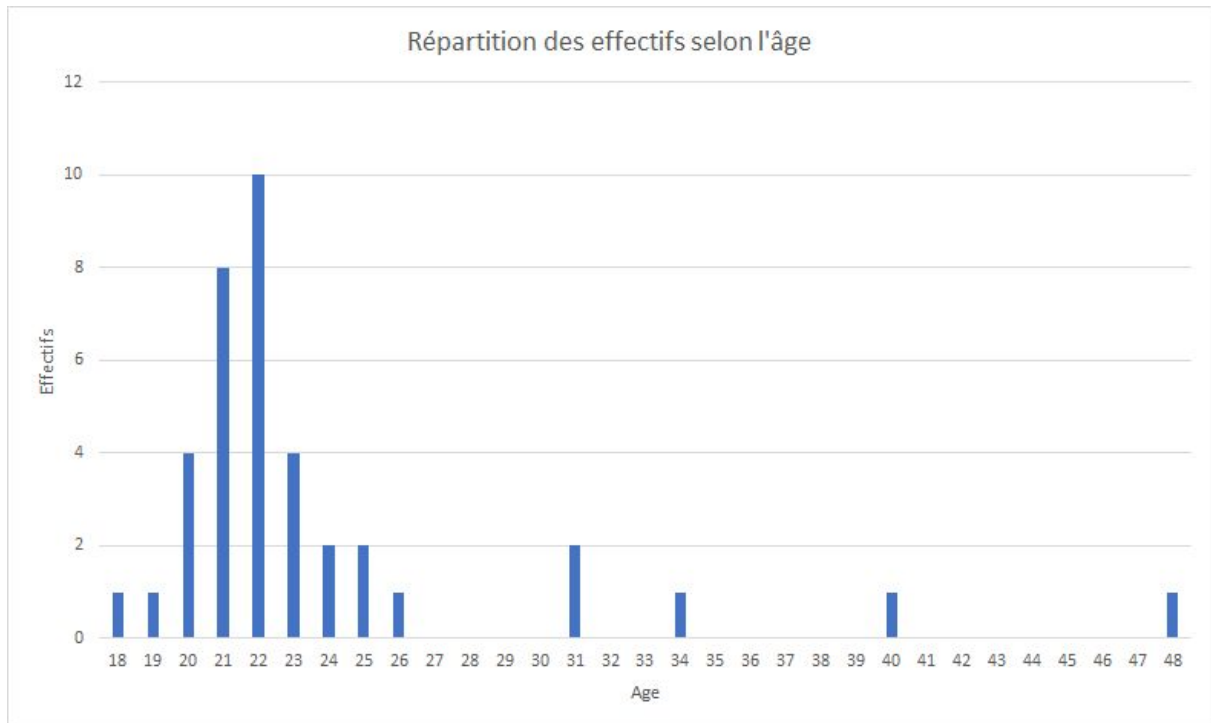
L'analyse des résultats est une étape importante de notre projet et nous décrivons les résultats obtenus par la suite.

### d) Données de la population étudiée

La population étudiée est composée de 38 personnes, dont 28% de femmes. Les femmes, minoritaires, ont été réparties au sein des deux groupes. Cependant il faudra tout de même garder une réserve quant aux résultats de nos analyses car notre échantillon n'est pas représentatif de la population globale. En effet, nous avons une majorité de participants qui sont des élèves de l'Institut d'Optique et de l'ENSC. Par conséquent, comme on le voit sur le graphique en barres ci-dessous, les résultats de test d'indépendance au champ montrent qu'une très large majorité de participants est indépendante au champ visuel.



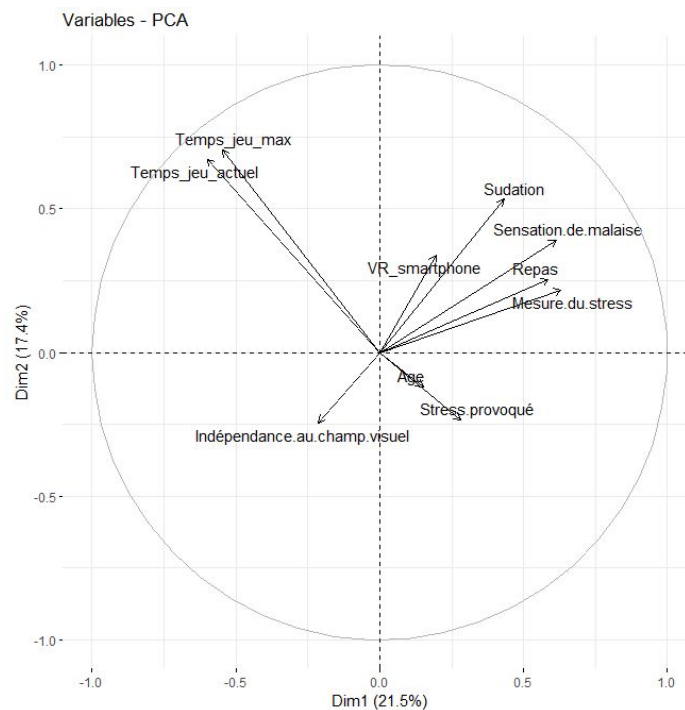
Nous retrouvons également cette homogénéité au niveau de l'âge des participants. En effet, ils se positionnent pratiquement tous dans l'intervalle 18-26 ans.



Il est important de noter que les résultats que nous obtenons concernant nos deux hypothèses sont à mettre en relation avec la population étudiée qui est majoritairement jeune et de sexe masculin.

#### e) Résultats concernant l'hypothèse "STRESS"

En ce qui concerne l'hypothèse "STRESS", il est important de vérifier que nous avons bien réussi à induire du stress chez le groupe ayant subi l'expérience stressante.



Le graphique d'ACP ci-dessus montre clairement que le vecteur "stress.provoqué" et le vecteur "Mesure.du.stress" sont quasiment orthogonaux. Ceci laisse penser que la corrélation entre ces 2 variables est faible. Nous avons donc réalisé une étude de corrélation pour confirmer cette tendance. Le coefficient de corrélation est de 0.11 comme le montre le tableau ci-dessous. Ce coefficient est donc suffisamment faible pour conclure que nous n'avons pas induit assez de stress pour le groupe "stressé" par rapport au groupe témoin.

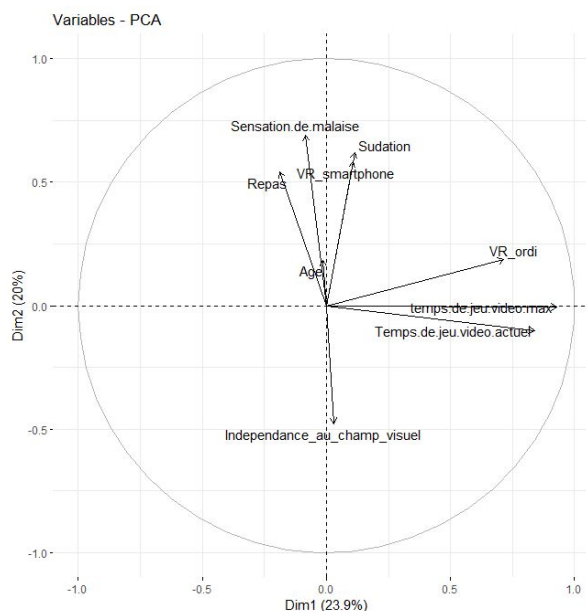
	Mesure.du.stress
Sensation.de.malaise	0.35
Stress.provoqué	0.11
Temps_jeu_actuel	-0.16
Temps_jeu_max	-0.10
Indépendance.au.champ.visuel	-0.03
Sudation	0.22
Mesure.du.stress	1.00
Repas	0.39
Age	-0.05
VR_smartphone	0.02

De plus, nous avons eu un retour d'un participant appartenant au groupe stressé, précisant qu'il ne portait que peu d'attention au compte à rebours, et qu'il ne l'a regardé qu'à la fin. Selon lui, un compte à rebours auditif aurait eu plus d'impact.

Dans le cas d'une nouvelle étude, il serait donc intéressant de modifier la technique de création du stress afin de créer un stress plus fort chez les individus. Cela permettrait de valider ou non l'hypothèse "STRESS" que nous ne pouvons malheureusement pas étudier avec notre expérience.

#### f) Résultats concernant l'hypothèse "DÉPENDANCE"

L'hypothèse "Dépendance" porte sur le lien entre la variable de malaise induit et la variable de dépendance au champ visuel mesurée par le GEFT. Nous avons donc réalisé une ACP dont le graphique est représenté ci-dessous :



Il est intéressant de noter que les variables “Indépendance\_au\_champ\_visuel” et “Sensation.de.malaise” sont possiblement corrélées négativement. Cela validerait notre hypothèse. Afin de bien vérifier ce résultat et d’écarter un possible biais de représentation de l’ACP, nous avons effectué une étude des coefficients de corrélation entre ces 2 variables. Comme le montre le tableau ci-dessous, le coefficient de corrélation entre les variables “Indépendance\_au\_champ\_visuel” et “Sensation.de.malaise” est de -0.17.

```
> round(cor(ssq[, -10]), digit=2)
              Sensation.de.malaise
Sensation.de.malaise              1.00
Stress.provoqué                 0.06
Temps_jeu_actuel                -0.09
Temps_jeu_max                   -0.07
Indépendance.au.champ.visuel    -0.17
Sudation                        0.38
Mesure.du.stress                0.35
Repas                          0.24
Age                             0.04
VR_smartphone                   0.11
```

La corrélation est donc bien négative mais bien trop faible pour pouvoir conclure que la dépendance au champ visuel implique une sensation de malaise induit par les systèmes de réalité virtuelle. Il est toutefois important de noter que très peu de nos participants sont dépendants au champ visuel. Il serait intéressant d’effectuer une étude avec un nombre plus élevé de personnes dépendantes au champ visuel afin de vérifier la validité de nos résultats.

## Conclusion

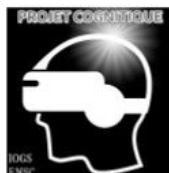
Nous avons pu mener ce projet de bout en bout, en partant d’une problématique pour arriver à une étude complète. Par l’aspect fondamentalement cosmopolite du projet, les étudiants de l’IOGS comme de l’ENSC ont été amenés à découvrir des champs d’étude extérieurs à leur formation.

Malgré des résultats finaux somme toute peu concluants, nous sommes fiers d’être parvenus à mener cette étude. Cette dernière pourra être continuée à l’aide de la grande quantité de données récoltées, qui n’ont pas encore été pleinement exploitées. Nos connaissances ainsi que les ressources mises en oeuvre restent à la disposition des futurs étudiants souhaitant poursuivre le projet, ou construire sur les bases que nous avons posées.



# ANNEXES

## 1. Fiche de participation



Numéro du participant	Date	Hypothèse testée	Paramètres de l'hypothèse
	/ /		

### Fiche de participation (1/2)

Nous vous invitons à participer à une expérience de recherche concernant les systèmes de réalité virtuelle.

Les informations que nous recueillerons dans ce questionnaire et au cours de l'expérience (rythme cardiaque, sudation au niveau de doigts et tonus musculaire au niveau du cou) ne seront utilisées que dans le cadre de l'expérience et ne seront pas communiquées à d'autres organisations que le Projet Cognitique sans votre autorisation préalable. Elles resteront confidentielles.

#### Informations Personnelles

Nom	:	
Prénom	:	
Date de naissance	:	/ /
Sexe	:	<input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> M
E-mail	:	

#### Comment avez-vous entendu parler de cette expérimentation ?

Flyer	:	<input type="checkbox"/>
Affiche	:	<input type="checkbox"/>
Mail	:	<input type="checkbox"/>
Autres, précisez	:	



Numéro du participant	Date	Hypothèse testée	Paramètres de l'hypothèse
	/ /		

### **Fiche de participation (2/2)**

Au cours de l'expérience, il est possible que vous ressentiez différents symptômes du malaise induit par les systèmes de réalité virtuelle comme par des maux de têtes, des vertiges ou une envie de vomir.

Vous comprenez que votre participation n'est pas obligatoire et que vous pouvez stopper votre participation à tout moment sans avoir à vous justifier ni encourir aucune responsabilité.

Vous avez été informé que votre identité n'apparaîtra dans aucun rapport ou publication et que toute information vous concernant sera traitée de façon confidentielle. Vous acceptez que les données enregistrées à l'occasion de cette étude puissent être conservées dans une base de données et faire l'objet d'un traitement informatisé non nominatif par l'unité de recherche. Vous avez bien noté que le droit d'accès prévu par la loi « informatique et libertés » s'exerce à tout moment auprès de l'unité de recherche.

Acceptez-vous de participer volontairement à l'expérience de recherche concernant les systèmes de réalité virtuelle mené par le Projet Cognitique?

☐ Oui ☐ Non

Fait à ..... Le .....

Signature du participant :

## 2. GEFT

### Test GEFT

Consigne : trouver puis la figure A dans la figure B

Exemple :

Figure B :

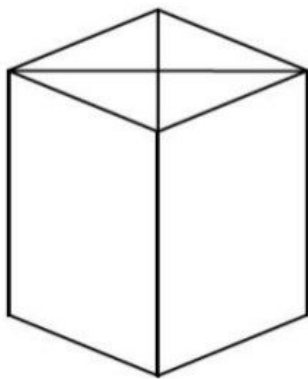
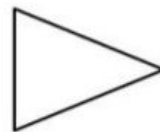
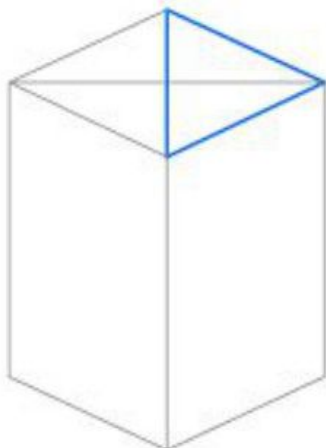


Figure A :



La réponse est :



Question d'entraînement :

Figure B :

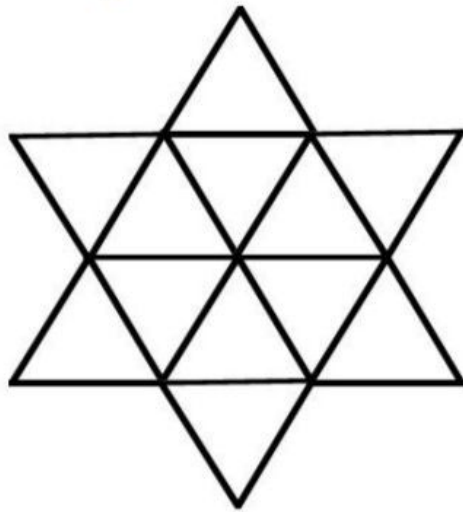


Figure A :



Question d'entraînement:

Figure B :

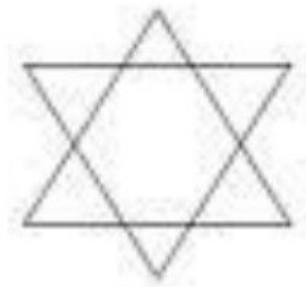
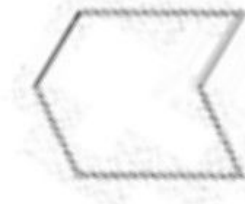


Figure A :



Question d'entraînement :

Figure B :

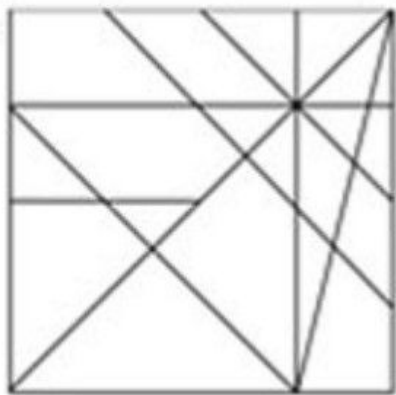


Figure A :



Question d'entraînement :

Figure B :

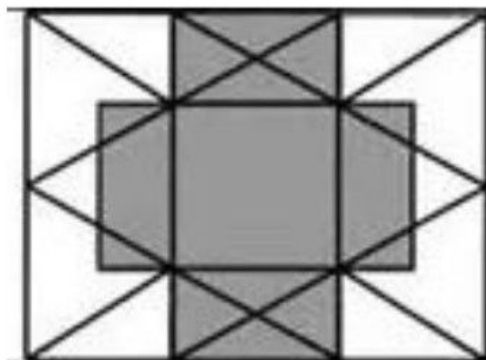
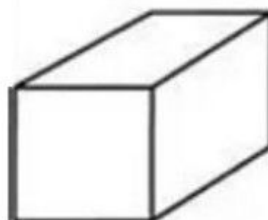


Figure A :



Question 1 :

Figure B :

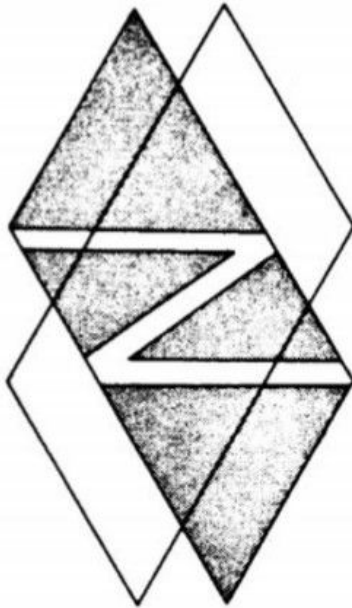
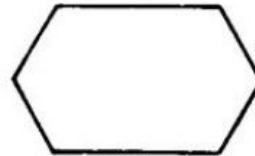


Figure A :



Question 2 :

Figure B :

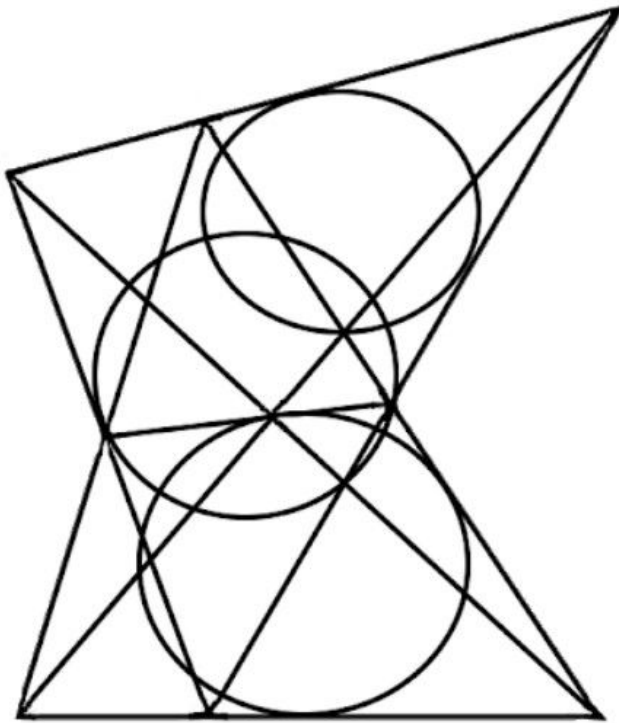


Figure A :



Question 3 :

Figure B :

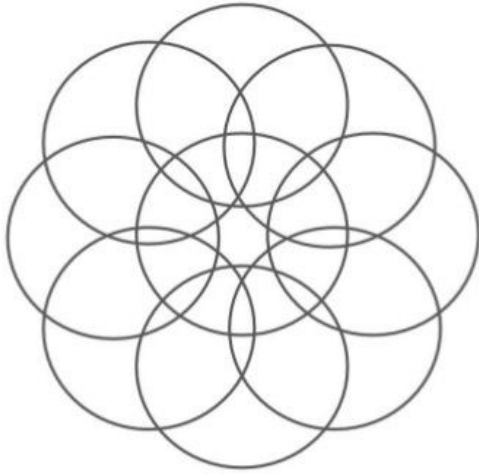
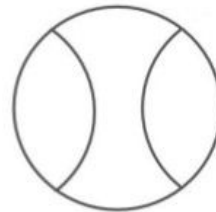


Figure A :



Question 4 :

Figure B :

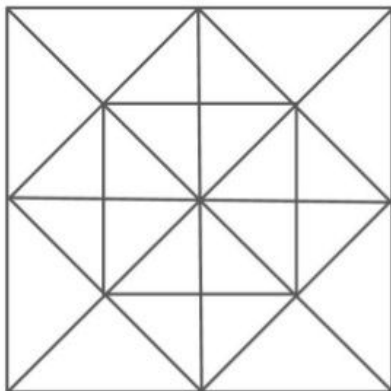
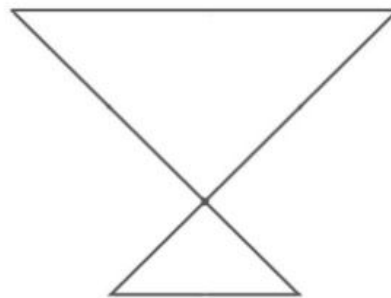


Figure A :





Question 5 :

Figure B :

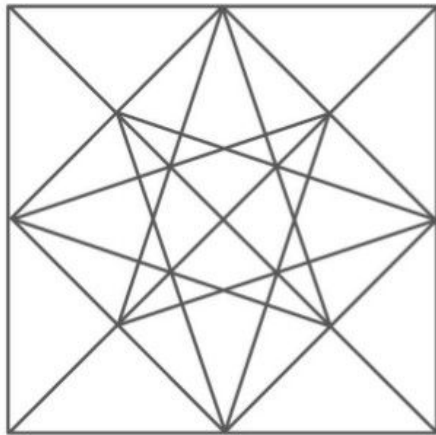
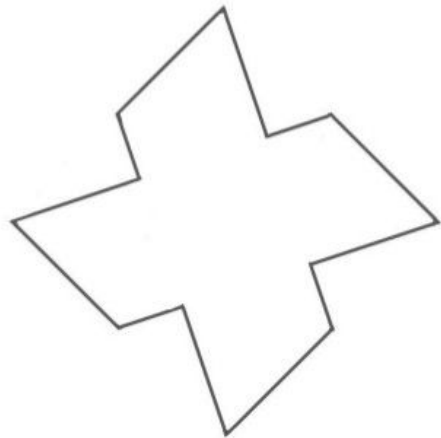


Figure A :



Question 6 :

Figure B :

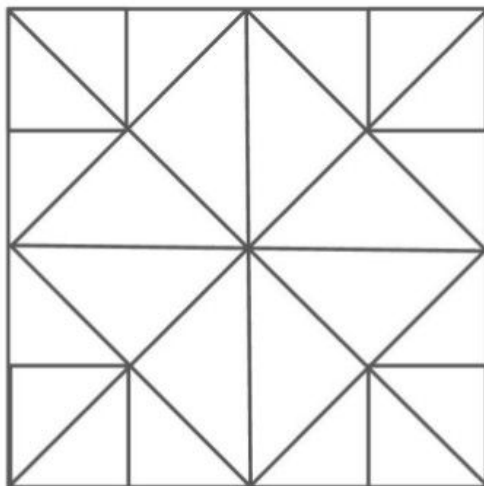
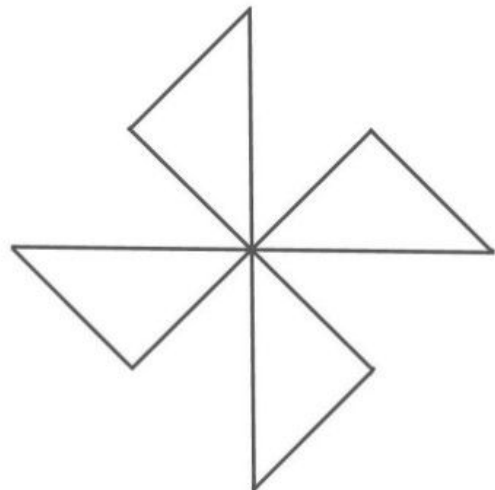


Figure A :



Question 7 :

Figure B :

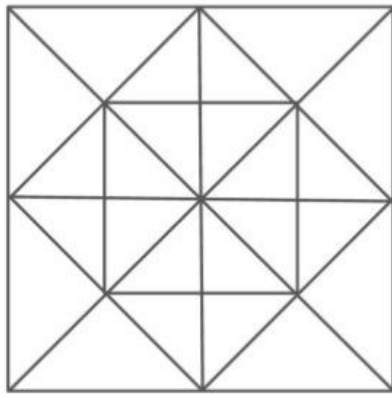
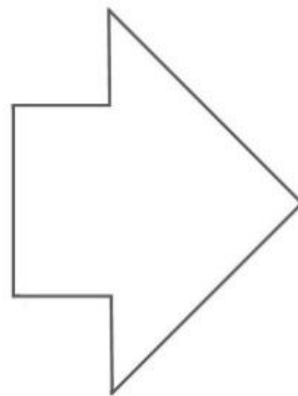


Figure A :



Question 8 :

Figure B :

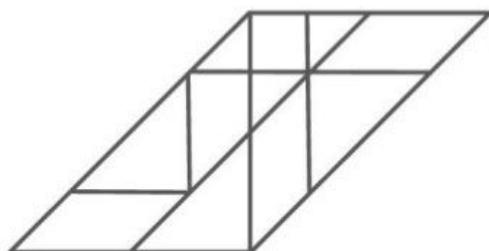
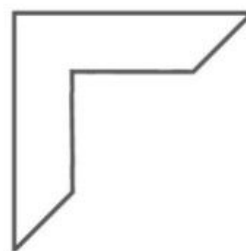


Figure A :



Question 9 :

Figure B :

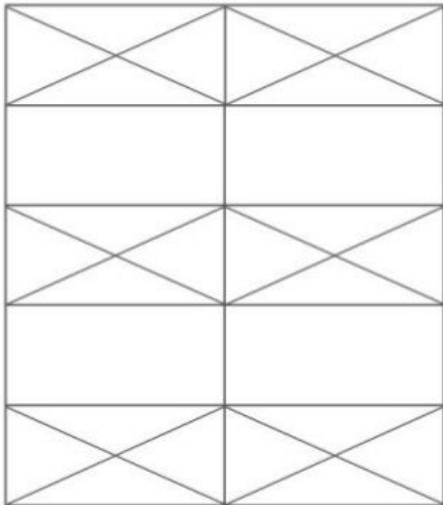
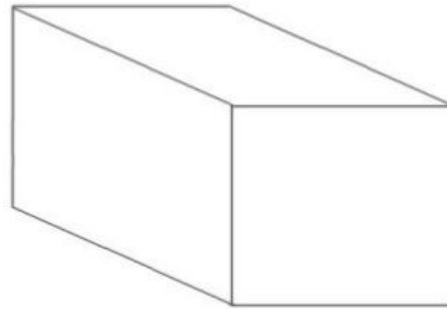


Figure A :



Question 10 :

Figure B :

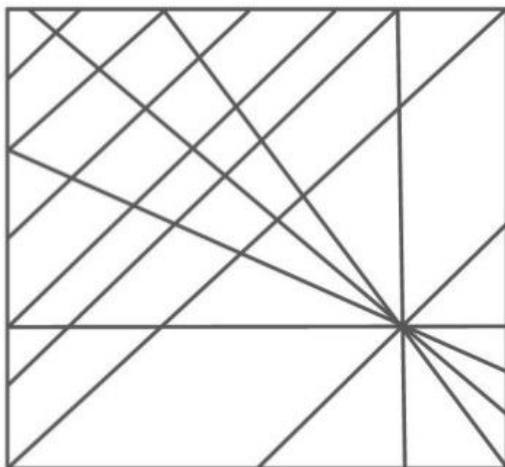
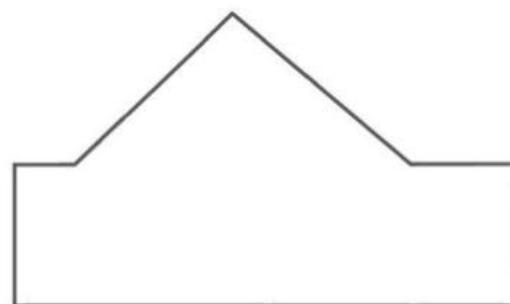


Figure A :



### 3. Questionnaire pré-test (comprends STAI Y-B et SSQ)

Pre-test

<https://docs.google.com/forms/d/1j6Mb-04NUjqjxxC4g3QPM440Zq...>

## Pre-test

Ce test nous sert à évaluer votre expérience personnelle concernant la réalité virtuelle.

**\*Obligatoire**

1. Numéro de passage (celui indiqué sur votre fiche de participation) : \*

---

2. Avez-vous déjà utilisé un casque de réalité virtuelle ? \*

Une seule réponse possible.

- ☐ Oui    *Passez à la question 3.*  
☐ Non    *Passez à la question 8.*

## Votre expérience en réalité virtuelle

3. Quel(s) casque(s) de réalité virtuelle avez-vous déjà utilisés, et à quelle fréquence ?

Une seule réponse possible par ligne.

	Jamais	Une seule fois	Occasionnellement	Régulièrement
Casques reliés à un ordinateur (du type HTC Vice, Oculus Rift...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Casques pour smartphone (type google cardboard)ne 2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. Avez-vous déjà ressenti des nausées ou maux de tête pendant un jeu en réalité virtuelle?

Une seule réponse possible.

- ☐ Oui  
☐ Non

5. Combien de temps en moyenne (en heures) estimez-vous que vous jouez aux jeux vidéo par semaine ? \*

---

6. Dans le passé, avez-vous joué plus que ce chiffre indiqué ?

Une seule réponse possible.

- ☐ Oui  
☐ Non

7. Si oui, au moment où vous jouiez le plus, combien d'heures par semaine ?
- 

### Informations générales

8. Depuis combien de temps avez-vous pris votre dernier repas (grignotage compris) ? \*

*Une seule réponse possible.*

- ☐ Moins d'une heure  
☐ de 1 heure à 4h  
☐ Plus de 4h

9. Avez-vous le mal des transports ? \*

*Une seule réponse possible.*

- ☐ Oui  
☐ Non

### Un peu plus sur vous

10. Quel âge avez-vous ? \*
- 

11. Vous êtes : \*

*Une seule réponse possible.*

- ☐ Un homme  
☐ Une femme

**SSQ**

12. Dites-nous à quel point chaque symptôme vous affecte présentement. \*

Une seule réponse possible par ligne.

	Pas du tout	Un peu	Modérément	Sévèrement
Inconfort général	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatigue	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ennui	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Somnolence	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mal de tête	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatigue des yeux	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Difficulté à faire le focus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Augmentation de la salivation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Diminution de la salivation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Transpiration	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nausées	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Difficulté à se concentrer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dépression	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Impression de lourdeur de la tête	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vision trouble	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Etourdissement les yeux ouverts	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Etourdissement les yeux fermés	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vertiges (perte de l'orientation par rapport à la position verticale)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hallucination visuelle	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Faiblesse physique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Respiration soutenue	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conscience de l'estomac (sentiment d'inconfort sans nausée)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Augmentation de l'appétit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Diminution de l'appétit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Envie d'aller aux toilettes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Confusion	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rots	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Envie de vomir	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## STAI Y-B

13. Cochez la case qui correspond le mieux à la façon dont vous vous sentez en général.

Une seule réponse possible par ligne.

	Presque jamais	Parfois	Souvent	Toujours
Je me sens dans de bonnes dispositions.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me sens nerveux et agité.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je suis content de moi.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je voudrais être aussi heureux que ce que les autres semblent l'être.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me sens un raté.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me sens paisible.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je suis calme, détendu, et de sang froid.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me s'J'ai l'impression que les difficultés se multiplient à un point tel que je ne peux les surmonter.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je m'inquiète trop à propos de choses qui n'en valent pas la peine.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je suis heureux.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
J'ai des pensées qui me tourmentent.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je manque de confiance en moi.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je suis sûr de moi.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je prends facilement des décisions.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je ne me sens pas à la hauteur.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je suis content.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Des pensées sans importance me trottent dans la tête et me tracassent.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je ressens les contretemps si fortement que je ne peux les chasser de mon esprit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je suis quelqu'un de calme.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je suis tendu ou agité dès que je réfléchis à mes problèmes actuels.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fourni par



#### 4. Exemple de données capteurs

<pre>   NOUVEAU SUJET 24/01/2019 18:44:35; 270 10142 24/01/2019 18:44:35; 259 10598 24/01/2019 18:44:36; 253 11054 24/01/2019 18:44:36; 249 11509 24/01/2019 18:44:37; 246 11965 24/01/2019 18:44:37; 247 12422 24/01/2019 18:44:38; 247 12877 24/01/2019 18:44:38; 245 13333 24/01/2019 18:44:39; 242 13790 24/01/2019 18:44:39; 239 14245 24/01/2019 18:44:39; 237 14701 24/01/2019 18:44:40; 236 15157 24/01/2019 18:44:40; 236 15613 24/01/2019 18:44:41; 236 16069 24/01/2019 18:44:41; 238 16525 24/01/2019 18:44:42; 239 16980 24/01/2019 18:44:42; 240 17436 24/01/2019 18:44:43; 244 17893 24/01/2019 18:44:43; 248 18349 24/01/2019 18:44:44; 252 18804 24/01/2019 18:44:44; 257 19260 24/01/2019 18:44:44; 260 19717 24/01/2019 18:44:45; 262 20172 24/01/2019 18:44:45; 263 20628 24/01/2019 18:44:46; 264 21084 24/01/2019 18:44:46; 265 21539 24/01/2019 18:44:47; 266 21996 24/01/2019 18:44:47; 266 22452 24/01/2019 18:44:48; 267 22907 NOUVEAU SUJET 24/01/2019 18:47:27; 242 10142 24/01/2019 18:47:28; 247 10598 24/01/2019 18:47:28; 250 11054 24/01/2019 18:47:29; 253 11509 </pre>	<pre> NUMERO 4 DERIVEE -0.33403 MOYENNE DEBUT 12.697 MOYENNE FIN 7.51 MIN -23 MAX 17 </pre>
a) Conductivité au cours du temps	b) Données post-traitement



## 5. Questionnaire Post Test (comprends SSQ et STAI Y-A)

Post-Test

<https://docs.google.com/forms/d/1DEs7-sXxHuRmZyNnWCSKCSc3...>

### Post-Test

Ce questionnaire sert à rendre compte de vos impressions lors de l'utilisation du système de réalité virtuelle.

**\*Obligatoire**

1. Numéro de passage (celui indiqué sur votre fiche de participation) : \*

\_\_\_\_\_

### SSQ (Simulator Sickness Questionnaire)

2. Dites-nous à quel point chaque symptôme ci-dessous vous affecte actuellement. \*  
*Une seule réponse possible par ligne.*

	Pas du tout	Un peu	Modérément	Sévèrement
Inconfort général	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatigue	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ennui	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Somnolence	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mal de tête	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatigue des yeux	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Difficulté à faire le focus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Augmentation de la salivation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Diminution de la salivation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Transpiration	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nausées	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Difficulté à se concentrer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dépression	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Impression de lourdeur dans la tête	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vision trouble	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Etourdissement les yeux ouverts	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Etourdissement les yeux fermés	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vertiges (perte de l'orientation par rapport à la position verticale)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hallucination visuelle	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Faiblesse physique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Respiration soutenue	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conscience de l'estomac (sentiment d'inconfort sans nausée)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Augmentation de l'appétit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Diminution de l'appétit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Envie d'aller aux toilettes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Confusion	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rots	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Envie de vomir	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**STAI Y-A**

3. Cochez la case qui correspond le mieux à la façon dont vous vous sentez à l'instant :

*Une seule réponse possible par ligne.*

	Pas du tout	Un peu	Modérément	Beaucoup
Je me sens calme.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me sens sûr de moi.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je suis tendu.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me sens contraint.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me sens à mon aise.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me sens bouleversé.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je m'inquiète à l'idée de malheurs possibles.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me sens satisfait.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
J'ai peur.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me sens bien.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
J'ai confiance en moi.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me sens nerveux.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je suis agité.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me sens indécis.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je suis détendu.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je suis content.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je suis inquiet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me sens troublé.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me sens stable.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je me sens dans de bonnes dispositions.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Remarques supplémentaires**

4. Avez-vous remarqué quelque chose d'anormal pendant l'expérience ? \*

*Une seule réponse possible.*

- ☐ Oui    *Passez à la question 5.*
- ☐ Non    *Passez à "Merci pour votre participation !".*

**Remarques supplémentaires**

5. Si oui, pouvez-vous préciser quoi? \*

---

6. Pouvez-vous préciser le moment de l'expérience ou vous l'avez remarqué? \*

---

**Merci pour votre participation !**

## 6. Campagne de communication



1ère année - Création d'un Flyer  
2ème année - Création d'une affiche

