

MASTER « MÉTIERS DE L'ÉDUCATION, DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA
FORMATION »

Mention

Parcours

Pratiques et ingénierie de la
Formation

eFEN

Domaine de recherche | Psychologie Cognitive

Toulouse

MÉMOIRE

Effets de la réalité virtuelle sur la cognition : comparaison d'un environnement urbain et
d'un environnement naturel.

Emmanuelle GIRAUD

Directeur de mémoire : Jean-Christophe SAKDAVONG
Maître de conférences en Informatique, Chercheur en Psychologie-Cognitive

Membres du jury de soutenance :

Nathalie HUET, professeure d'Université

Soutenu le :

12/09/2019

Année universitaire 2018-2019

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier mon directeur de mémoire, Jean-Christophe Sakdavong pour son accompagnement malgré les difficultés rencontrées cet été.

Je remercie également les enseignants du master eFEN, ainsi que mes camarades de promotion, pour les échanges et les travaux collaboratifs que nous avons eu le plaisir de mener ensemble.

Je remercie le jury, Pr Huet, pour le temps consacré à l'évaluation de ce mémoire.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont participé à l'étude, en particulier Jessica, la pré-testeuse.

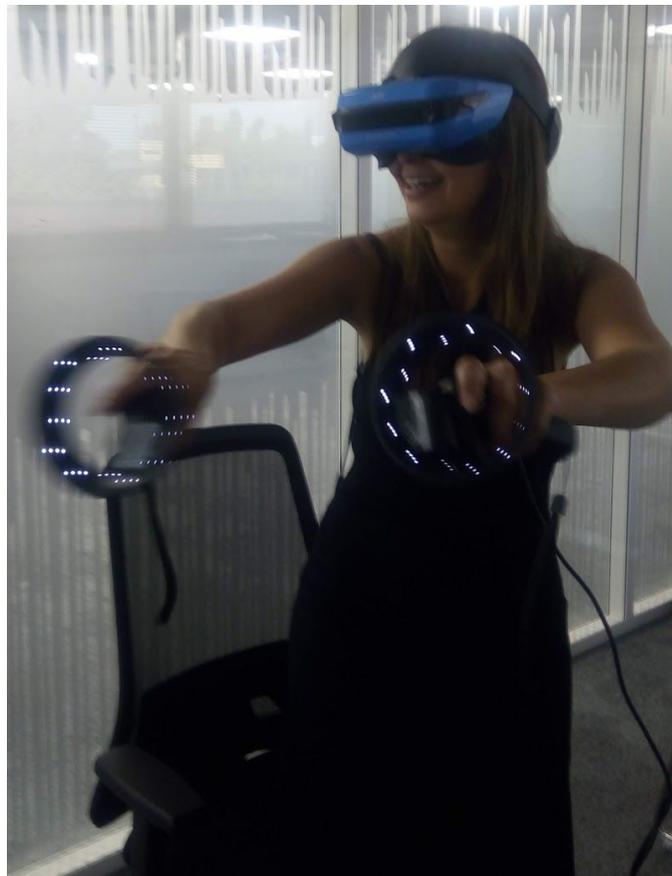


Table des matières

Introduction	6
Partie théorique	7
1. Mémoire de travail et attention	7
Définitions	7
Entraînement, amélioration, restauration des fonctions cognitives.	8
Évaluer et mesurer l'attention	10
2. La réalité virtuelle	11
Définitions	11
Réalité virtuelle	11
Immersion et présence	12
Mesurer et favoriser l'immersion et le sentiment de présence	12
Effets de la VR sur les émotions	13
Effets cognitifs de la VR.	13
Effets physiologiques de la VR, sensation de malaise lié à la VR.	14
3. Effets psychologiques et cognitifs de la nature	14
4. L'étude de Kaplan, Berman et Jonides.	16
Problématique, hypothèses théoriques	18
Méthodologie	19
Hypothèses opérationnelles	19
Design de l'étude	20
Participants	20
Matériel	20
Recueil des données	21
Mesures	21
Procédure	22
Résultats	24
Statistiques descriptives	24
Caractéristiques des participants	24
Mesures de l'attention : score au BDS	25
Mesure de l'humeur : score au PANAS	26
Immersion et malaise	26
Commentaires libres des participants	27
Test des hypothèses	28
Synthèse des résultats	31
Discussion	32

Résultats obtenus, limites de notre étude	32
Pistes d'amélioration, perspectives	33
Conclusion	34
Bibliographie	35
Abréviations	38
Annexes	39
Annexe 1 : Consentement éclairé	39
Annexe 2 : Questionnaire 1	40
Annexe 3 : Questionnaire 2	41
Annexe 4 : ANOVA Delta BDS	43
Annexe 5 : ANOVA Delta PANAS	43
Annexe 6 : Tableau des données	44

Liste des figures

Figure 1 : Schéma du modèle de Baddeley et Hitch	7
Figure 2 : Schéma résumant l'expérience 1 de l'étude de Berman, M.G. Jonides, J. Kaplan, S	17
Figure 3 : Schéma des hypothèses	18
Figure 4 : Capture d'écran de l'environnement virtuel représentant la ville	20
Figure 5 : Capture d'écran de l'environnement virtuel représentant la nature	20
Figure 6 : Schéma de la procédure globale	22
Figure 7 : Description des participants	24
Figure 8 : Réponses au questionnaire concernant la sensation de malaise	27

Liste des tableaux

Tableau 1 : Délais séparant les 2 passations Nature et Ville	25
Tableau 2 : Moyennes des scores au BDS	25
Tableau 3 : Moyennes des Delta BDS	25
Tableau 4 : Moyennes des score au questionnaire PANAS	26
Tableau 5 : Moyennes des Delta PANAS	26
Tableau 6 : Scores d'immersion	26
Tableau 7 : Scores de malaise	27
Tableau 8 : Comparaison des BDS avant l'immersion	28
Tableau 9 : ANOVA pour le Delta BDS	29
Tableau 10 : ANOVA pour le Delta PANAS	29
Tableau 11 : Comparaison des scores d'immersion selon l'environnement utilisé	30
Tableau 12 : Comparaison des scores de malaise selon l'environnement utilisé	30

1. Introduction

Depuis une quarantaine d'années, l'enseignement s'est recentré sur l'apprenant et de nouvelles manières d'enseigner ont émergé, notamment grâce à l'essor des technologies de l'information et à la pédagogie active qui considère l'apprenant comme l'acteur principal de sa propre formation. Les nouveaux médias d'apprentissage sont de plus en plus largement utilisés, parfois sans que l'on ait évalué leur intérêt pédagogique et les conséquences de leur utilisation. Par exemple, l'étude de Graafland (2012) répertorie une trentaine de jeux sérieux dans le domaine médical et conclut à un manque d'évaluation de la validité des jeux sérieux en tant qu'objet d'apprentissage. De la même façon, la réalité virtuelle semble être porteuse de promesses pour un apprentissage actif et immersif. Elle est de plus en plus utilisée dans l'enseignement mais nous manquons encore de données concernant son intérêt pédagogique et ses effets cognitifs.

L'apprentissage est un processus complexe qui nécessite la mise en oeuvre par l'apprenant d'un ensemble de fonctions cognitives parmi lesquelles la mémoire, le raisonnement, la motivation et l'attention. La première fonction cognitive à être mobilisée pour l'apprentissage est l'attention. Le système attentionnel des primates et relativement bien connu grâce aux travaux en neuroéthologie, neurophysiologie, sciences cognitives... L'attention est indispensable à la survie pour la recherche de nourriture, l'éviction ou la fuite des prédateurs et la reconnaissance des partenaires. Chez l'homme le système attentionnel est activé dès la vie intra-utérine et à la naissance le nouveau-né humain est capable de suivre un visage ou un objet du regard. Par la suite ses capacités attentionnelles se développent pour lui permettre d'explorer son environnement. L'attention est une des bases sur lesquelles l'apprentissage humain s'appuie.

Plusieurs études ont montré l'effet régénérant de la nature sur l'attention humaine, en particulier l'étude de Berman, Jonides et Kaplan (2008). Cette étude décrit deux expériences dont l'objectif est de montrer l'effet régénérant de la nature sur l'attention. La première expérience est réalisée en faisant marcher les participants soit dans la nature, soit en ville. La seconde expérience utilise des photographies de nature ou de ville. Dans les deux cas, ils montrent une amélioration des résultats à la tâche d'attention dirigée suite à l'exposition à la nature (nature réelle ou en photographie). Devant l'engouement pour les nouvelles technologies évoqué précédemment, et en particulier pour la réalité virtuelle, la question de l'effet de ces technologies sur l'attention des apprenants se pose. Plus précisément, ici nous souhaitons savoir si les effets observés pour la nature en réalité et en photographie sont reproductibles en utilisant la réalité virtuelle. Afin de répondre à cette question, nous ferons le point sur la cognition humaine et tout particulièrement l'attention, puis sur ce qu'est la réalité virtuelle, quels sont ses principaux effets déjà connus puis sur les effets connus de la nature sur la cognition humaine, enfin sur l'attention et la mémoire de travail. Cet état de l'art nous permettra de préciser nos hypothèses, de décrire ensuite la méthodologie de notre étude. Enfin nous présenterons, analyserons et discuterons les résultats obtenus.

2. Partie théorique

1. Mémoire de travail et attention

1. Définitions

L'attention est une fonction cognitive indispensable à la survie des mammifères qui leur permet de prendre conscience de leur environnement, de trouver de la nourriture, d'échapper aux prédateurs, de rencontrer des partenaires. Les capacités attentionnelles sont présentes dès le développement fœtal et continuent à évoluer tout au long de la vie.

L'étude de l'attention chez l'homme a d'abord été le fait des philosophes. Au 19^e siècle, William James en donne la définition suivante dans son livre *Principes de Psychologie* : « L'attention est la prise de possession par l'esprit, sous une forme claire et vive d'un objet ou d'une suite de pensées parmi plusieurs qui semblent possibles [...] Elle implique le retrait de certains objets afin de traiter plus efficacement les autres ». James distingue plusieurs types d'attention : l'attention directe ou dirigée et l'attention indirecte. L'attention dirigée est celle qui permet, par exemple, dans un environnement bruyant, de se focaliser sur une conversation en occultant les autres. L'attention indirecte est celle qui permet de se promener dans un environnement connu. Lorsque l'attention est dirigée, volontaire, sélective elle entraîne une fatigue cognitive, tandis que l'attention involontaire, automatique, non dirigée ou indirecte est moins coûteuse en énergie cognitive.

L'attention est une fonction de "l'administrateur central" de la mémoire (selon le modèle de Baddeley et Hitch, voir Figure 1), qui participe à la sélection, la priorisation des stimuli qui vont entrer dans la mémoire de travail, puis la mémoire à long terme (qui sont les "esclaves" de l'administrateur central dans le modèle de Baddeley et Hitch). En ce qui concerne la mémoire on distingue la mémoire sensorielle (ou rémanence, sans stockage de l'information), la mémoire de travail ou mémoire à court terme, dont certains auteurs pensent qu'elle est limitée à 4 items (Cowan, 2000) et la mémoire à long terme, qui serait définitive et comprend différents registres (verbal, visuel, procédural, déclaratif...).

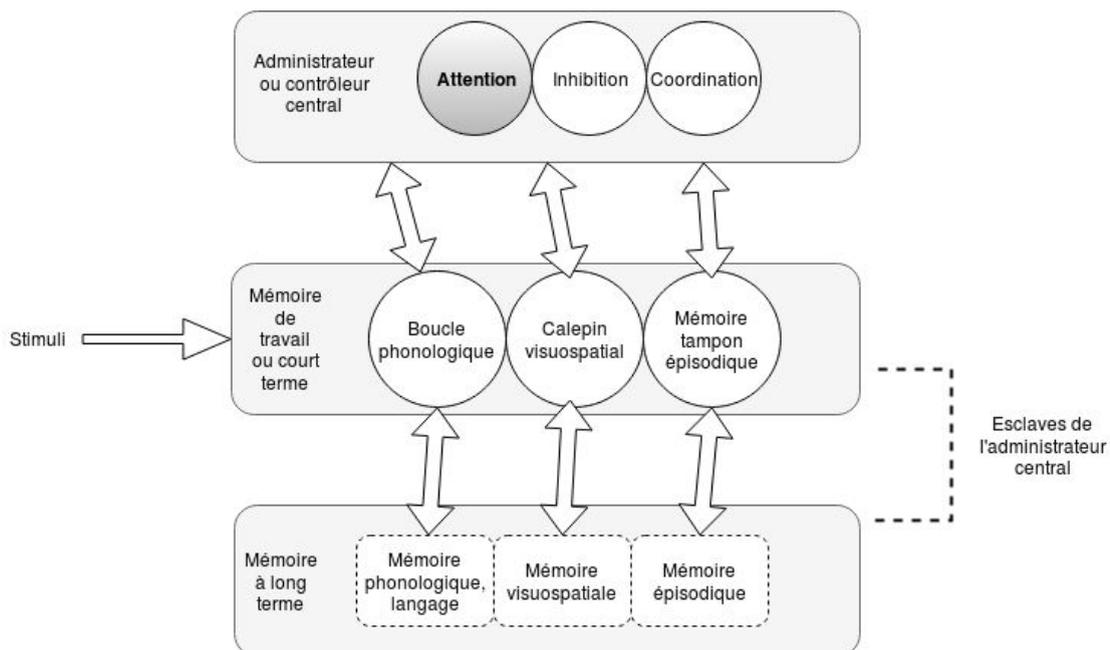


Figure 1 : Schéma du modèle de Baddeley et Hitch

L'attention et la mémoire de travail sont étroitement liées. Certains auteurs pensent que la limitation de la mémoire de travail est en fait liée à la limitation des capacités attentionnelles (voir McElree et Doshier ou Milner dans leurs réponses à l'article de Cowan (2000) sur la limitation de la mémoire de travail à 4 items "The magical number 4"). Bien que cette question soit encore débattue, les avancées en neurosciences ces dernières années ont permis d'établir les bases de l'attention. En 2012, Petersen et Posner (Petersen, 2012) ont actualisé leur revue sur l'attention. Ils distinguent 3 circuits de l'attention : un réseau d'alerte, un réseau d'orientation et un réseau exécutif.

Le réseau d'alerte concerne le maintien de la vigilance et la réaction aux stimuli de danger. Le neuromédiateur principal est la noradrénaline et le support anatomique inclurait le locus coeruleus, le cortex frontal, les aires pariétales et le thalamus, comme le suggèrent les résultats d'imagerie cérébrale. Ce système est spécialisé dans la détection de stimuli pertinents sur le plan comportemental (inattendus, nouveaux, importants ou potentiellement dangereux). Il pourrait agir comme un fusible ou un disjoncteur pour le système dorsal qui dirige l'attention de manière descendante (Corbetta & Shulman, 2002).

Le réseau d'orientation permet de choisir une modalité (sensorielle) ou une zone (localisation visuo-spatiale) pour les stimuli entrants. Le neurotransmetteur principal est l'acétylcholine, le support anatomique inclut des zones pariétales et frontales.

Enfin, le réseau du contrôle exécutif, responsable d'une régulation descendante, semble en réalité divisé en deux réseaux distincts. Il inclut le cortex cingulaire antérieur, des aires corticales frontales, pariétales et pré-frontales. Ce système fronto-pariétal est impliqué dans la sélection de stimuli et de réponses adaptées, il résout les conflits entre 2 stimuli, c'est-à-dire qu'il hiérarchise et supprime les distractions. Ainsi, il est modulé par la détection de stimuli, mais essentiellement soumis à un contrôle descendant, cognitif, ou top-bottom (Corbetta & Shulman, 2002).

Ces réseaux se développent durant l'enfance et il existe des différences importantes entre les réseaux du contrôle exécutif chez les enfants et les adultes. Un bon développement du système de contrôle exécutif est corrélé à l'empathie et à la sociabilisation des enfants. On note des différences interindividuelles dans le fonctionnement de ces différents réseaux attentionnels, liées à des influences génétiques, épigénétiques et environnementales. Un entraînement de l'attention est possible soit avec des exercices spécifiques soit par la méditation.

2. Entraînement, amélioration, restauration des fonctions cognitives.

Les humains cherchent depuis longtemps à améliorer leurs capacités physiques ou cognitives essentiellement dans un but de survie (compétition pour les ressources) et ils ont utilisé différents types de stratégies pour y parvenir. On peut les classer en 2 grandes catégories : les stratégies "pharmacologiques" utilisant des produits et des stratégies d'entraînement. Les stratégies pharmacologiques soulèvent beaucoup de fantasmes dans la population et de problèmes éthiques, mais nous allons voir qu'en réalité, elles sont peu efficaces.

Dresler et al. (2013) listent une partie des stratégies d'amélioration de la cognition humaine. D'abord les moyens pharmacologiques, puis les moyens non pharmacologiques avec, d'une part, les moyens non spécifiques tels que l'alimentation, l'exercice physique et le sommeil et d'autre part les stratégies plus spécifiques telles que la méditation, les moyens mnémotechniques, l'entraînement informatisé et la stimulation cérébrale.

Les moyens pharmacologiques recensés par Dresler et al. (2013) sont les psychostimulants comme le méthylphénidate, proche des amphétamines (mais avec moins d'effets indésirables) utilisé dans le traitement des troubles déficitaires de l'attention avec hyperactivité, et le modafinil, utilisé dans le traitement de la narcolepsie, de l'hypersomnie et par les militaires en situation de privation de sommeil afin de limiter les effets de celle-ci. Ces substances sont largement utilisées (20% de la population aurait déjà pris du méthylphénidate, du modafinil ou des bêtabloquants en dehors d'indications médicales). Le méthylphénidate augmente le taux de dopamine et de norépinéphrine et améliorerait la cognition, les émotions et la motivation, mais les effets sont contradictoires suivant les études. Le seul effet positif démontré est une

amélioration de la mémoire spatiale. Il n'a aucun effet bénéfique démontré sur l'attention. Le modafinil quant à lui aurait un effet bénéfique sur l'attention, en dehors des expériences de privation de sommeil. Aucun effet sur la mémoire, l'humeur ou la motivation n'a été démontré chez les sujets sains. On note par contre des effets indésirables. D'autres médicaments ont été utilisés à des fins d'amélioration cognitive comme les médicaments contre la démence et notamment contre la maladie d'Alzheimer : les inhibiteurs de l'acétylcholinestérase et la mémantine ont été trop peu étudiés et les études réalisées sont contradictoires. En conclusion, les moyens pharmacologiques ne sont, à l'heure actuelle, pas très efficaces pour améliorer les fonctions cognitives.

Parmi les moyens non pharmacologiques, les compléments alimentaires sont à la mode. Mais ils n'ont pas fait la preuve de leur efficacité. L'adaptation de la nutrition est un moyen non spécifique d'améliorer les fonctions cognitives. Les deux aliments les plus étudiés sur ce plan sont la caféine et le sucre. La caféine exerce son effet moins d'une heure après la prise : amélioration de l'attention, de l'humeur, de la vitesse d'encodage et de réponse à des stimuli nouveaux. Pour les tâches plus complexes, les effets ne sont pas démontrés. Elle est en général bien tolérée même si on note quelques effets indésirables comme une augmentation du stress perçu, ainsi qu'une sensation de fatigue. Il est difficile de faire la part entre les effets psychologiques et pharmacologiques de la caféine. Le glucose est nécessaire au fonctionnement cellulaire et notamment neuronal, et l'hypoglycémie est bien connue pour son effet négatif sur les fonctions cognitives (allongement des temps de réaction). En dehors des pathologies (diabète par exemple), la glycémie est une variable très bien régulée dans l'espèce humaine. Quel est l'effet d'une administration de glucose sur les fonctions cognitives ? Attention, vitesse de réponse et mémoire de travail sont améliorées. On note que l'effet est synergique en cas de prise concomitante de caféine et de glucose.

Une manière efficace d'améliorer et maintenir ses fonctions cognitives : l'exercice physique. En effet, il a été constaté que les sportifs ont de meilleures performances cognitives que les sédentaires. Un autre constat important est le fait que l'exercice physique régulier est bénéfique aux âges extrêmes : chez les enfants d'âge scolaire, il améliore les résultats scolaires, les résultats aux tests d'intelligence, les compétences perceptives, verbales et mathématiques, et chez les personnes âgées il permet une meilleure préservation des fonctions cognitives, notamment il retarde l'apparition des signes de démence. Peu d'études sont réalisées chez les sujets d'âge moyen, mais un fait intéressant a été mis en évidence concernant l'exercice intense aérobie, il améliore l'apprentissage et la mémoire à long terme chez l'adulte jeune. Pour la mémoire de travail, les effets ne sont pas clairs. Néanmoins, l'exercice physique a un effet bénéfique sur le fonctionnement cognitif et favorise la neurogenèse dans l'hippocampe.

Un autre élément important de la vie d'un être humain est le sommeil, en effet, nous passons environ un tiers de notre vie à dormir. Les effets démontrés du sommeil sur les fonctions cognitives sont une amélioration de la mémoire et de la créativité. Le sommeil permet la consolidation des souvenirs, et donc des apprentissages, et l'inhibition du cortex préfrontal libère la créativité. Il a été montré que les siestes sont bénéfiques même en l'absence de privation de sommeil. Quid de l'effet sur l'attention ?

Dresler et al. (2013) recensent 4 moyens plus spécifiques d'améliorer les fonctions cognitives. Le premier est la méditation, qui comprend tous les types d'entraînements à la régulation de l'attention et des émotions, comme la pleine conscience. L'efficacité de la méditation est démontrée dès 3 mois de pratique avec une amélioration de l'attention, entre autres. 4 séances de méditation suffisent à améliorer la mémoire de travail et les fonctions exécutives.

En ce qui concerne l'amélioration de la mémoire, les champions du monde de la mémoire démontrent que l'entraînement et l'utilisation de moyens mnémotechniques sont très efficaces. On peut citer la méthode des loci utilisée par les orateurs grecs et romains, basée sur la mémoire visuo spatiale, le système phonétique, la méthode des mots-clés ou encore les techniques de rappel, qui sont très efficaces pour la mémorisation à long terme.

L'entraînement informatisé est un domaine prometteur, mais à l'heure actuelle, il permet d'améliorer les performances dans une tâche précise, visée par le jeu ou le logiciel, mais induit peu de transfert.

Enfin, Dresler et al. recensent les études sur la stimulation cérébrale électrique. Utilisée en psychiatrie, elle a parfois eu des effets positifs sur la cognition de personnes saines. Nous ne détaillerons pas

ici les différents types de stimulation et leurs effets, l'essentiel est que les effets sont dépendants des régions cérébrales stimulées ou inhibées, que c'est un peu délicat à mettre en place en routine chez des personnes saines, d'autant qu'on ne connaît pas les effets sur le long terme, mais qu'il a été démontré des effets bénéfiques sur l'apprentissage.

Finalement, la meilleure façon d'améliorer son attention est de prendre un café sucré. Faire un exercice physique aérobie peut aussi être intéressant. Le modafinil a peut-être une efficacité, mais qui reste modeste et à préciser, de plus il s'agit d'une utilisation hors AMM (la seule indication en France étant la narcolepsie, voir le site internet <https://www.ansm.sante.fr> pour les restrictions d'usage du modafinil), il est largement détourné de son usage aux Etats Unis, comme nous l'avons déjà dit.

En ce qui concerne l'amélioration de l'attention, une théorie proposée par Kaplan, peut nous conduire vers un autre type de moyens d'optimisation et de régénération. Il s'agit de la théorie de la restauration de l'attention (ART pour Attention Restoration Theory). Elle présente l'attention dirigée comme un mécanisme inhibiteur global : ainsi la fatigue de ce système va être valable pour toutes les tâches le mettant en jeu. Autrement dit, toutes les tâches pour lesquelles l'attention dirigée est requise fatiguent ce système et sont impactées par cette fatigue. Il paraît donc intéressant de trouver des moyens de limiter cette fatigue ou de permettre de restaurer le système de l'attention dirigée. Selon la théorie de l'ART, il existe des types d'environnements qui permettent la régénération et l'amélioration des capacités attentionnelles. Nous verrons que les environnements naturels ont cette capacité de régénération de l'attention.

3. Évaluer et mesurer l'attention

La mémoire de travail est la capacité d'une personne à retenir une information pertinente dans le but de réaliser une tâche. Cette capacité repose sur un système de stockage temporaire et de manipulation (théorie de Baddeley et Hitch) de l'information. Il existe un consensus sur le fait que la mémoire de travail est de capacité limitée (depuis James, 1890, la revue de Miller en 1956, et plus récemment en 2000 avec la revue de Cowan). La première évaluation de la mémoire de travail date de 1885, Ebbinghaus s'est rendu compte qu'il arrivait à restituer en moyenne 7 items. Ensuite d'autres auteurs ont évalué le nombre d'éléments utilisables en mémoire de travail, et il s'avère qu'il est variable selon l'âge, les personnes et qu'il serait plutôt autour de 4. L'un des premiers à avoir évoqué le rôle de l'attention dans la rétention d'item en mémoire de travail est Bolton en 1892, à ce moment là, il fait le lien entre la concentration des enfants et leurs capacité à redonner les items, il note également un lien avec l'âge des enfants testés. Dans son article de 2000, Nelson Cowan explique que, selon lui, c'est la capacité attentionnelle qui est limitée et qui expliquerait les limites de la mémoire de travail.

“The basic assumptions of the present theoretical framework are (1) that the focus of attention is capacity-limited, (2) that the limit in this focus averages about four chunks in normal adult humans, (3) that no other mental faculties are capacity-limited, although some are limited by time and susceptibility to interference, and (4) that any information that is deliberately recalled, whether from a recent stimulus or from long-term memory, is restricted to this limit in the focus of attention. This last assumption depends on the related premise, from Baars (1988) and Cowan (1988; 1995), that only the information in the focus of attention is available to conscious awareness and report. The identification of the focus of attention as the locus of the capacity limit stems largely from a wide variety of research indicating that people cannot optimally perceive or recall multiple stimulus channels at the same time (e.g., Broadbent 1958; Cowan 1995), although most of that research does not provide estimates of the number of chunks from each channel that occupy the focus of attention at any moment.”

Selon ce modèle, pour se souvenir consciemment d'un item lors d'une tâche et le restituer, celui-ci doit être dans le focus attentionnel du sujet effectuant la tâche. En conséquence, étudier la mémoire de travail permet également d'évaluer les capacités attentionnelles d'un sujet.

Dans un article, Majerus (2010) fait la synthèse des éléments permettant d'affirmer les liens étroits entre les tâches de mémoire à court terme et les processus de contrôle attentionnel. Même des tâches de mémoire à court terme 'passives', impliquant seulement le maintien temporaire de l'information verbale, font déjà intervenir des processus attentionnels chez l'enfant et chez l'adulte. Ces données sont confirmées par la neuro imagerie fonctionnelle.

Différentes stratégies sont utilisables pour maintenir un item ou plusieurs items en mémoire de travail : répétition, création de chunks (groupement d'items), association d'idées (utilisation de la mémoire à long terme)... Cependant on note que dans certaines études (Guttentag, 1984) il est montré qu'avec la maturation cérébrale, de moins en moins de ressources attentionnelles sont utilisées pour effectuer ces répétitions en mémoire de travail. Comme facteurs pouvant modifier les capacités de la mémoire de travail, en dehors des facteurs physiologiques, on note l'entraînement de l'individu et l'utilisation de stratégies. Il faudra en tenir compte lors de l'interprétation de nos résultats. Il est possible de bloquer expérimentalement l'utilisation de stratégies par les sujets (par exemple, en utilisant un petit échantillon d'items et en demandant au sujet de retenir l'ordre, en utilisant des items très longs impossibles à se répéter...). Hilbert (2015) confirme que la stratégie préférentielle du sujet a un impact sur les résultats au test du Backward Digit Span, selon le mode de présentation du stimulus (auditif ou visuel).

En 1908, Binet et Simon mettent au point un test consistant à donner des suites de chiffres de longueurs différentes et l'intègrent dans une batterie de tests visant à mesurer l'intelligence. C'est Terman en 1911 qui suggéra de faire redonner les séquences de chiffres dans l'ordre inverse de leur présentation. Le fait d'inverser l'ordre nécessite une manipulation des informations en mémoire de travail. Le test actuellement le plus utilisé pour évaluer la mémoire de travail, est le Backward Digit Span, ce test est simple à automatiser, il est rapide à réaliser. Plusieurs modalités existent. Voici la description du test habituellement réalisé : présentation de chiffres (au rythme de 1 par seconde) soit de manière auditive soit de manière visuelle. On demande au sujet de redonner les chiffres dans l'ordre inverse de leur apparition. La longueur des séries de chiffres donnés augmente, et on donne chaque fois 2 séries de même longueur, au total il y a 14 séries de chiffres, de longueur 3 à 9. Le score est la somme des séries qui ont été redonnées en ordre inverse de leur présentation par le sujet.

2. La réalité virtuelle

1. Définitions

a. Réalité virtuelle

Dans sa revue de la littérature concernant la réalité virtuelle, Muhanna (2015) explique que la réalité virtuelle (que nous abrégons VR pour "Virtual Reality" dans la suite du texte) est un concept datant de 1963 qui a évolué au cours des 50 dernières années grâce aux progrès technologiques qui permettent actuellement d'utiliser tous les sens en VR. La vue est le sens privilégié, mais l'ouïe, l'odorat, le toucher sont susceptibles d'être concernés par les nouveaux dispositifs de VR. De plus on voit l'arrivée de tapis de

marche ou course permettant à l'utilisateur de se déplacer dans l'environnement virtuel presque comme s'il se déplaçait dans la réalité (simulateur de déplacement).

La VR est définie par Muhanna, d'après différents auteurs, comme une expérience immersive et interactive générée par un ordinateur, ou encore comme toute expérience où l'utilisateur est immergé dans un monde virtuel réactif. Pour décrire ce concept d'autres termes ont été utilisés comme "réalité artificielle" ou "cyberespace". Muhanna propose une taxonomie de la VR en se basant sur les 5 éléments clés suivants : le monde virtuel (ou environnement virtuel), l'immersion, le feedback sensoriel, l'interactivité, le participant (l'utilisateur).

Le monde virtuel ou environnement virtuel (que nous abrégons EV) est l'ensemble des représentations des objets et utilisateurs, et de leurs relations, dans un espace généré par ordinateur et régi par ses propres règles.

b. Immersion et présence

Le terme immersion renvoie à l'implication, au sentiment d'appartenir totalement à l'EV. Le terme immersion peut s'appliquer à d'autres médias tels qu'un livre, un film, de la musique... Muhanna distingue plusieurs sortes d'immersion : physique (être dans un simulateur de vol) et l'immersion mentale (ressentie par le participant). L'immersion active (des interactions sont possibles avec le monde virtuel) ou passive (regarder un film). L'immersion sensorielle, immersion liée aux challenges (résolution de problèmes), et imaginative (émotions liées au monde virtuel). On parle aussi de sentiment de « présence ».

Le sentiment de présence est dépendant du ressort individuel de la réalité virtuelle : il est défini comme le sentiment "d'être là" physiquement dans l'environnement virtuel. Il s'agit d'un état psychologique où l'utilisateur perçoit comme réel l'environnement qui l'entoure en oubliant le rôle de la technologie dans l'expérience. La présence peut être décomposée en quatre sous-catégories : la présence personnelle ou physique, la présence sociale, la présence environnementale et la présence d'action. La présence représente une des finalités de l'expérience en réalité virtuelle, mais n'est possible qu'à partir d'une immersion suffisante.

c. Mesurer et favoriser l'immersion et le sentiment de présence

L'étude de Shin (2018) est intéressante car, en plus de montrer que l'immersion favorise le sentiment d'incarnation, l'empathie, le flow et l'engagement, elle met en évidence la part de l'utilisateur dans le sentiment de présence.

Le sentiment de présence est défini par Stanney (1998) comme l'expérience subjective d'être dans un endroit ou un environnement tout en étant physiquement présent dans un autre. Idéalement, il souhaite trouver un moyen fiable de mesurer ce sentiment de présence. Des échelles subjectives reposant sur des questionnaires ont été mises au point, mais elle peut aussi être évaluée par des mesures physiologiques : tension musculaire, fréquence cardiaque, réponses oculaires. Stanney et al. examinent également les facteurs qui influencent le sentiment de présence : l'aisance d'interaction avec les objets et l'environnement, le contrôle (plus l'utilisateur contrôle ses actions, plus le sentiment de présence est important, les délais de réponses et le côté "naturel" du mode de contrôle sont importants), le réalisme et la cohérence des images, la durée d'exposition (d'un côté l'utilisateur s'habitue et connaît l'environnement de l'autre il existe un risque de cybersickness (malaise dû à l'utilisation d'un dispositif de réalité virtuelle) qui augmente avec la durée d'exposition), la présence d'autres personnes (co-présence), et enfin les facteurs technologiques : les modalités sensorielles engagées, les capteurs, le champ de vision... Au final, il est logique de constater que plus un environnement reproduit fidèlement le monde réel et les interactions avec celui-ci, plus le sentiment de présence est élevé et moins il y a de risque de malaise. Chaque fois que le participant doit s'adapter pour compenser un défaut de l'environnement virtuel, le sentiment de présence diminue et le risque de malaise augmente. Cependant, certains auteurs ont des données qui contredisent ces affirmations. L'explication qui en est donnée est la suivante : l'adaptation nécessaire favoriserait le sentiment de présence dans un second temps, quand l'utilisateur s'est adapté à l'environnement. Il y aurait donc un apprentissage nécessaire pour

profiter au mieux d'un environnement virtuel. Ainsi, pour favoriser le sentiment de présence on peut jouer à la fois sur les caractéristiques de l'EV, et le rendre le plus réaliste possible, mais aussi sur la connaissance que l'utilisateur a de cet EV, et proposer un temps d'adaptation à l'EV. Différentes théories dites "sensori-motrices de la perception" replacent le processus d'interaction au centre du phénomène d'immersion (Auvray & Fuchs, 2007). Des modèles ont été proposés pour aider à la conception et à l'évaluation de dispositifs de réalité virtuelle, comme le modèle 3I² de Fuchs (1999) au centre duquel sont l'immersion et l'interaction sur 3 niveaux : physique (sensori-moteur), cognitif et fonctionnel.

Le marketing s'est intéressé au sentiment d'immersion pour fidéliser les clients. Hudson et al. (2018) ont réalisé une expérience de plongée sous-marine en VR pour tester l'effet de l'immersion et de la co-présence sur la satisfaction et la fidélisation. Cette étude a permis d'étudier ces phénomènes sur un large panel de 234 participants. L'EV étudié, des fonds sous-marins permettant des interactions avec les autres participants (expérience en groupe) a permis des interactions sociales favorisant le sentiment d'immersion (évalué par questionnaire). La co-présence est donc bien un facteur favorisant le sentiment d'immersion et de présence.

2. Effets de la VR sur les émotions

Tout comme le cinéma, les livres ou la télévision, la VR est un média et provoque des émotions chez les utilisateurs. D'une part parce que la VR peut raconter une histoire et à ce titre, elle va stimuler l'imagination et les émotions des participants, mais elle peut aussi induire des émotions grâce à la simple immersion dans un environnement sans storytelling. Ceci a été montré par plusieurs études, notamment par l'étude de Riva (2007) qui a été faite en utilisant 3 EV différents. Ces 3 EV sont des parcs dans lesquels l'utilisateur peut se déplacer comme il le souhaite. Ces parcs présentent la même structure mais des sons, musiques, lumières, ombres et textures différentes, choisies pour induire les états émotionnels suivants : angoisse ou relaxation. Le 3e parc est un parc neutre servant de contrôle. L'étude vise à montrer le lien entre le sentiment de présence ou d'immersion et les émotions ressenties. Pour nous ici, il est intéressant de noter que l'émotion prévue est effectivement ressentie au bout de seulement 3 minutes de navigation dans l'EV en question.

En 2015, Felnhofer et al. (2015) confirment la capacité de la VR à induire des émotions déterminées par la conception des EV grâce à 5 EV différents : ce sont ici 5 parcs de structure identique, mais avec des éléments différents selon les émotions attendues (pour la joie : soleil, oiseaux ; pour la colère : bruits de construction, présence de machines de construction ; pour l'ennui : parc vidé et arbres morts ; pour l'angoisse : parc de nuit avec quelques lanternes, bruits de chouettes, et silhouettes mouvantes; pour la tristesse : pluie et grisaille). Les résultats montrent que les émotions prévues ont été ressenties pour la joie, l'angoisse, la colère et l'ennui. Par contre le parc qui devait entraîner de la tristesse a plutôt généré de l'ennui, mais ceci est probablement dû à un design inadapté de l'EV. Le point qui m'intéresse ici est que les émotions sont présentes dès 5 minutes d'immersion dans l'EV (et peut-être avant).

Yu et al. (2018) testent des vidéos à 360 degrés de ville et de forêt, qu'ils font regarder avec un casque de réalité virtuelle à 30 participants, afin d'évaluer les effets physiologiques et psychologiques : les participants ont bénéficié des effets psychologiques positifs de l'environnement naturel (forêts), et ont subi les effets négatifs de l'environnement urbain, mais les marqueurs physiologiques ont été très peu impactés.

3. Effets cognitifs de la VR.

En 2018, Sakdavong et al. (2018) se sont intéressés à l'impact de l'immersion et du contrôle en réalité virtuelle sur la performance, la motivation et l'auto-régulation dans l'apprentissage en Art chez des étudiants naïfs sur ce sujet. Le fait d'être actif et de contrôler leurs actions améliore l'auto-régulation et les performances des étudiants. Au contraire dans cette étude, l'immersion n'a pas eu d'impact sur les

performances. Ils évoquent la possibilité d'une surcharge cognitive liée à l'outil lui-même, et ils préconisent pour les études ultérieures de prévoir un temps d'adaptation à l'utilisation du dispositif.

La réalité virtuelle est utilisée pour la rééducation des personnes cérébrolésées. Les programmes incluant de la réalité virtuelle sont plus efficaces que les autres techniques (Howard, 2017) avec des variations suivant les objectifs poursuivis : très efficaces pour rééduquer la force et la marche, l'effet est un peu moins visible pour le contrôle moteur et non significatif pour l'équilibre. Les raisons de cette efficacité pour la rééducation sont la fidélité physique (bonne représentation du monde réel, variété des situations, conformité des situations avec la réalité quotidienne du patient), la fidélité cognitive (immersion dans un environnement riche en stimuli, fidèle à l'environnement réel, ce qui stimule les fonctions cognitives du patient d'une façon plus fidèle à la réalité que les autres types de rééducation, notamment l'attention est plus sollicitée) et enfin un effet sur la motivation en utilisant des activités ludiques (gamification, nouveauté et diversité des situations possibles).

4. Effets physiologiques de la VR, sensation de malaise lié à la VR.

En tant que médium d'immersion, la VR a des effets objectifs sur l'organisme humain. Plusieurs auteurs ont étudié la sensation de malaise ressentie par certains participants à des expériences en VR. Cette sensation de malaise est à rapprocher du mal des transports ou encore du malaise lié au simulateur qui comprennent les symptômes suivants : troubles visuels, céphalées, vertiges, pâleur, sueurs, troubles digestifs, apathie, perte de concentration, difficultés à maintenir l'activité musculaire. C'est une source de stress potentiel pouvant nuire à l'apprentissage ou à l'expérience en VR. Sa cause principale est le conflit visuo-vestibulaire (incohérence entre les informations fournies par le système de l'équilibre et les informations visuelles) comme pour le mal des transports. La fréquence du malaise lié à la VR augmente avec la durée de l'expérience en VR, comme le montre l'étude de Murata (2004). Murata a étudié à la fois la sensation de malaise (par questionnaire) mais également l'instabilité posturale (mesure piézoélectrique des appuis) les 2 varient dans le même sens et augmentent avec la durée de l'expérience de VR. Dans cette étude la durée totale est de 3 heures et les mesures ont été effectuées à 60 min, 120 min puis 180 min. Pour des durées moindres, 20 min pour Cobb (1998), aucune instabilité n'a été montrée. Il serait intéressant d'arriver à prédire et à diminuer le risque de malaise. Une étude comparant l'utilisation d'un gamepad, de la main, et de la marche sur place pour se déplacer dans un EV montre que le fait de marcher sur place pour accompagner son déplacement dans l'EV permet de diminuer le risque de malaise. De plus, le mouvement se rapprochant du mouvement réel permet d'améliorer l'immersion dans l'EV (Jiwon, L. Mingyu, K. Jinmo, K. 2017). Au final, pour une durée inférieure à 30 min et en demandant aux participants de mimer le mouvement en marchant sur place, le risque de malaise semble faible.

3. Effets psychologiques et cognitifs de la nature

De nombreuses études ont montré un effet positif de l'exposition à un environnement naturel sur le bien-être des êtres humains. En 2017, une vaste étude sur environ 1500 personnes est entreprise par Zijlema et al. (2017) dans différentes régions d'Europe, pour mettre en évidence les effets d'un contact quotidien avec des éléments naturels sur la santé. Différentes variables ont été prises en compte : d'une part les variables liées à l'environnement : la distance du lieu de résidence avec un environnement naturel (par, forêt, terrain agricole...), la verdure autour du lieu d'habitation (index de végétation évalué par satellite), la perception de son contact l'environnement naturel (questionnaire de durée et fréquence de contact), d'autre part les variables liées aux fonctions cognitives (résultats au Color Trail Test ou CTT, qui évalue l'attention dirigée) et enfin les variables liées aux médiateurs possibles : les relations sociales, la santé mentale, l'exercice physique, les nuisances sonores ou la pollution. Etonnament, l'activité physique déclarée n'est pas corrélée au résultat du CTT. On note que la pollution et les nuisances sonores ont un effet négatif sur le CTT. Par contre, chaque augmentation de 100 m de distance entre le lieu de résidence et l'espace vert le plus

proche allonge le temps de complétion du CTT de 1,5%. Ce résultat montre un effet bénéfique de la proximité de nature sur l'attention.

En 2016, Gildow et al. (2016) font marcher 38 participants dans 3 environnements différents : en ville, dans un parc urbain et dans la nature le long d'un canal. La marche, quel que soit l'environnement, a amélioré l'humeur, le taux de cortisol (hormone du stress) a diminué, et les fonctions cognitives évaluées par les résultats au Backward Digit Span (BDS) sont améliorées immédiatement après la marche, mais après 30 minutes seuls les environnements naturels améliorent les résultats au BDS. L'effet régénérant serait donc plus durable pour les environnements naturels.

Les enfants atteints de troubles de l'attention sont une population qui pourrait bénéficier des effets régénérants de la nature sur l'attention. Il semble que le déficit de l'attention est très fluctuant chez les enfants, touche essentiellement l'attention dirigée et épargne l'attention involontaire. Taylor et al. (2009) ont recruté 17 enfants porteurs de déficit de l'attention, pour une étude visant à évaluer l'effet sur les résultats au Backward Digit Span de 3 environnements différents : un parc, un centre ville et un quartier résidentiel dans lesquels les enfants font une promenade de 20 minutes. Les résultats montrent une légère différence au BDS en faveur de l'environnement naturel (ici le parc).

Bratmana et al. (2015) montrent sur une soixantaine de participants que le fait de marcher dans la nature durant une cinquantaine de minutes diminue l'anxiété, les ruminations et les affects négatifs et améliore les scores sur une batterie de tests (comprenant un OSPAN (operation span task), un Backward Digit Span, un ANT (Attention Network Test) entre autres tests) par rapport à une marche dans un environnement urbain. Ces auteurs se basent respectivement la Stress Reduction Theory (SRT) qui tente d'expliquer les effets affectifs et émotionnels de la nature et l'Attention Restoration Theory (ART). La SRT postule que les environnements naturels ont joué un rôle important au cours de notre évolution en tant qu'espèce, et qu'ils activent notre système parasympathique, permettant ainsi une réduction du stress. Ceci en raison d'une connection naturelle de l'espèce humaine avec la nature, qui offre nourriture, abris et sécurité. Tandis que les environnements urbains, plus récents n'ont pas cet effet. Ulrich et al. (1991) ont réalisé des mesures physiologiques (électrocardiogramme, mesure de la conductance cutanée, électromyogramme...) sur 120 personnes et ont montré une meilleure diminution du stress induit par un film de 10 minutes sur la prévention des accidents lors de l'exposition à la nature (via différents films de 10 minutes) comparée à une exposition à un environnement urbain (via des films de 10 minutes également).

L'ART, comme nous l'avons vu précédemment, fournit une analyse des types d'environnements qui permettent une amélioration des capacités attentionnelles. Les environnements naturels permettent de régénérer l'attention dirigée. Contrairement aux environnements urbains, qui eux, sont pleins de stimuli qui captent et fatiguent l'attention dirigée et ne permettent pas sa régénération.

Nous avons vus que plusieurs études ont porté sur un contact avec un environnement réel, qu'en est-il des représentations des environnements naturels ? Ont-ils le même effet que l'environnement lui-même ? Berto (2005) a étudié l'effet de photographies (projetées) de différents environnements sur l'attention évaluée par le SART (Sustained Attention to Response Test). Ce test consiste à cliquer sur des chiffres sauf le chiffre cible, il repose essentiellement sur l'attention et peu sur la mémoire de travail. 32 étudiants italiens ont participé à cette étude qui a mis en évidence un effet régénérant sur la performance au SART des environnements considérés comme vivifiants par les participants. Ces environnements représentaient tous des environnements naturels alors que les environnements considérés comme moins vivifiants représentaient des villes, zones industrielles ou logements.

Pourquoi la nature est-elle plus régénérante pour l'attention humaine ? On peut imaginer que son effet sur le système parasympathique et la diminution du stress peut favoriser la récupération. Van der Berga et al. (2016) se sont demandé si cela avait un rapport avec la complexité perçue des 2 types d'environnements. Pour tenter de mettre en évidence cet effet de la complexité perçue, ils ont utilisé des images de nature et de ville qu'ils ont agrandies de façon à montrer leur complexité. 40 images (20 de nature, 20 de résidences ou bureaux) sont notées par les 40 participants à l'étude selon leur complexité et leur potentiel régénérant (beauté, fascination, émotion induite...). Le temps passé à regarder chaque image

est noté. Les résultats montrent que les images représentant la nature sont regardées plus longtemps et considérées comme plus régénérantes que les images de constructions, le niveau de complexité perçue est le même. Pour les images agrandies, le temps passé, le potentiel régénérant et la complexité perçue sont supérieurs pour les images de nature par rapport aux images de constructions agrandies. Ils évoquent la possibilité que ces effets soient dus à la présence de motifs récurrents de type fractales, communs dans la nature.

D'autres auteurs ont voulu savoir si les vidéos pouvaient avoir un effet régénérant, à l'instar de Pilotti et al. (2015) qui ont réalisé une étude sur 63 étudiants ayant travaillé toute la journée, on postule ainsi qu'ils sont fatigués en fin de journée, moment où se déroulent les tests. Ces étudiants réalisent une tâche d'attention durant 1h15 après avoir regardé une vidéo de 15 minutes montrant soit un environnement urbain soit un environnement naturel (vidéo en caméra portée, les étudiants doivent s'identifier au cameraman, dans le but de produire une immersion). Au contraire de ce qui a été observé dans d'autres études, les résultats au PANAS (évaluant l'humeur) ne montrent pas de différence entre les 2 groupes. Les délais de réponses sont allongés pour le groupe qui a regardé la vidéo de la ville, ce qui va dans le sens d'un effet plus régénérant de la nature par rapport à la ville.

4. L'étude de Kaplan, Berman et Jonides.

En 2008, Berman, Jonides et Kaplan ont réalisé une étude sur 38 étudiants (Berman, 2008), qui a montré une amélioration des résultats au test BDS après une balade dans la nature, apportant une confirmation à la théorie de l'ART. Nous nous intéressons plus particulièrement à l'expérience 1, menée dans des environnements naturels et dont voici un résumé : ils ont recruté 38 étudiants, chez qui ils ont mesuré l'humeur grâce au test PANAS (Positive and Negative Affect Schedule) et l'attention grâce au BDS (Backward Digit Span) avant et après une promenade soit en ville, soit dans un parc. Voici le schéma de la procédure qu'ils ont suivie :

Expérience 1 : nature vs ville sur le test backward digit span.

The Cognitive Benefits of Interacting With Nature. Marc G. Berman, John Jonides and Stephen Kaplan

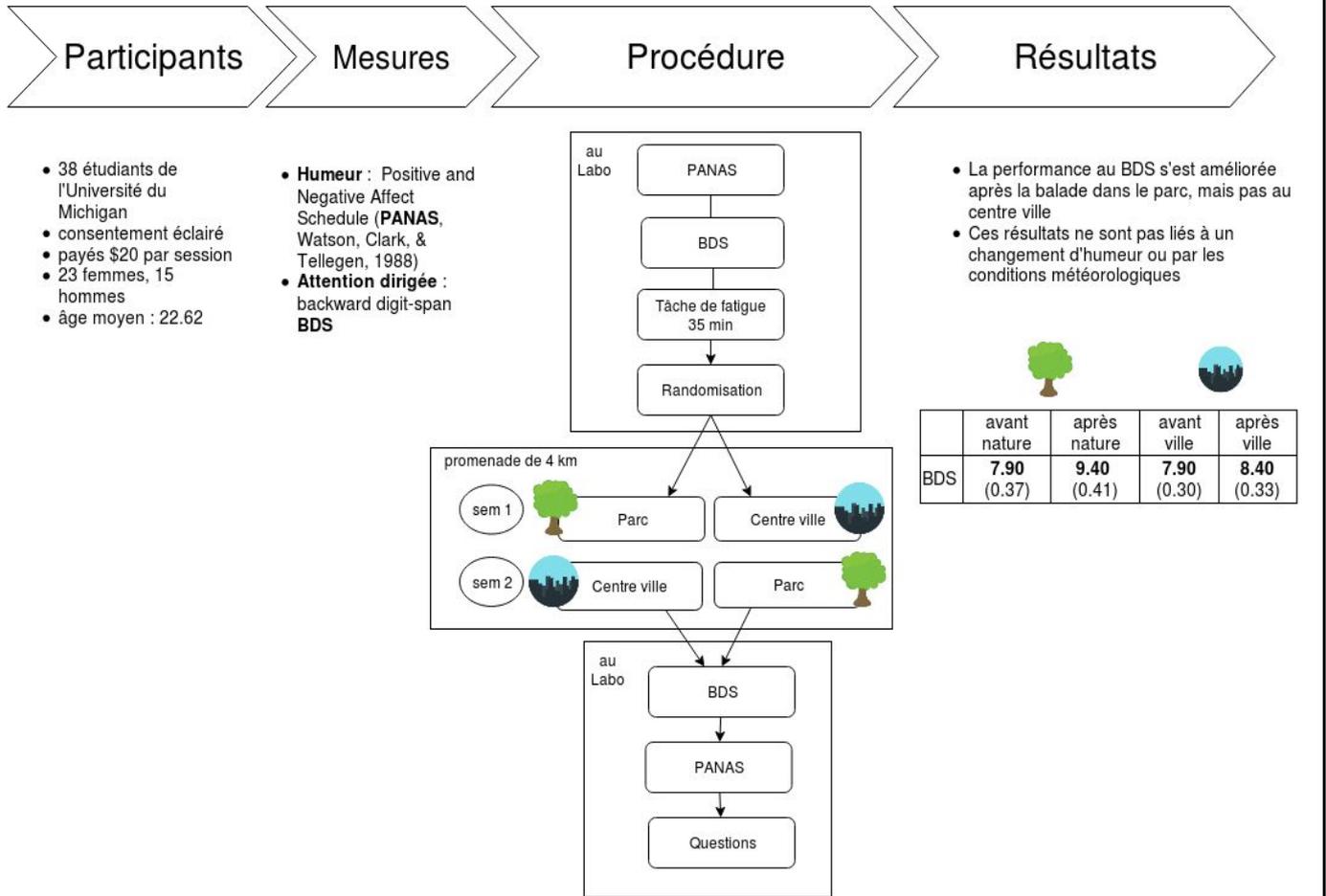


Figure 2 : Schéma résumant l'expérience 1 de l'étude de Berman, M.G. Jonides, J. Kaplan, S. (2008).

Ainsi, Kaplan et al. démontrent que la nature régénère mieux l'attention que la ville.

3. Problématique, hypothèses théoriques

En partant de l'expérience de Kaplan décrite précédemment, nous souhaitons montrer que des environnements virtuels représentant la nature et la ville permettent la reproduction de ces résultats. Notre idée est de reproduire l'expérience de Kaplan en utilisant la réalité virtuelle plutôt que des environnements naturels ou des photographies, comme c'est le cas pour Berman (2008), ou des vidéos comme pour Pilotti (2015).

Notre hypothèse principale est qu'un environnement virtuel représentant la nature restaure l'attention dirigée, comparativement à un environnement virtuel représentant la ville.

H1: L'utilisation d'un environnement virtuel (EV) représentant la nature permet de régénérer l'attention, par rapport à un EV urbain.

Nous souhaitons ici montrer qu'un environnement virtuel représentant la nature permet de régénérer l'attention, en accord avec l'Attention Restoration Theory.

Ensuite, nous souhaitons regarder l'effet sur l'humeur, car, comme nous l'avons vu précédemment (Bratmana, 2015; Ulrich, 1991), la nature a un effet bénéfique sur le bien-être, cet effet est peut-être reproductible en réalité virtuelle, étant donné que la réalité virtuelle permet l'induction d'émotions. Nous souhaitons vérifier si la nature en réalité virtuelle a un effet positif sur l'humeur de nos participants. Notons que Kaplan n'a pas retrouvé cet effet dans son étude (Berman, 2008). Nous posons cette hypothèse complémentaire, avec l'idée que l'effet sur l'humeur a peut-être un effet sur l'attention, mais nous n'explorons pas ceci dans notre étude.

H2: L'utilisation d'un EV représentant la nature améliore l'humeur comparativement à un EV urbain.

De plus, nous évaluons le sentiment d'immersion et/ou de malaise induits par les environnements virtuels que nous testons car ces sensations peuvent interférer avec les effets cognitifs et/ou affectifs de la réalité virtuelle. Idéalement, nos EV doivent être comparables en terme d'immersion et de malaise.

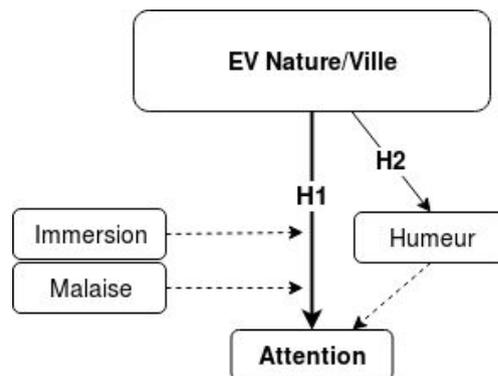


Figure 3 : Schéma des hypothèses

4. Méthodologie

1. Design de l'étude

L'étude est menée en cross-over, les deux groupes à comparer sont constitué des mêmes sujets. En effet, chaque sujet a vu les deux EV avec un délai compris entre 1 et 13 jours. Cette comparaison intra-sujets, entre les deux modalités, a l'avantage d'assurer la comparabilité des 2 groupes de mesure qui sont donc de même taille et ont les mêmes caractéristiques.

2. Participants

Les participants ont été recrutés dans l'entreprise Altran et dans une association de jeux de société par affichage et mail dans une liste de diffusion. Ils ont été informés que les expérimentations se faisaient en deux temps, sur des horaires et en conditions similaires pour les deux passations. Par exemple un participant ayant fait la 1ere expérimentation un lundi matin était invité à faire la suivante le lundi matin de la semaine suivante dans la mesure du possible, ou sinon au moins un matin dans des conditions de fatigue à peu près similaires. Ceux qui passaient le samedi ou le dimanche étaient invités à choisir la seconde date durant le week end suivant. Il leur a été demandé d'éviter tout événement significatif entre les deux passations (vacances notamment, puisque le recrutement a débuté en Juillet 2019).

Au total 24 personnes se sont présentées mais un des participants a fait un malaise très tôt dès la première session de VR, de plus il se savait sujet au cybersickness et il a donc arrêté l'expérimentation. Au final 23 sujets ont participé à l'étude, nous avons donc 46 passations. Des pré-tests ont été réalisés mais le sujet n'a pas été inclus et les données n'ont pas été utilisées dans l'étude. Les caractéristiques des sujets sont présentées dans la partie Résultats.

3. Matériel

- a. Casque : casque de réalité mixte Acer, résolution 1440x1440px par oeil, champ de vision de 95°, rafraîchissement d'images 60Hz, câble de 4 m, avec 2 contrôleurs manuels de mouvement sans fil.
- b. Ordinateur : portable HP ZBook 17 G3, processeur 2.7 GHz, 32 Go de RAM, Windows 10.
- c. Environnements virtuels : créés par l'association AD2RV pour le laboratoire CLLE avec Unity 3D : un environnement virtuel "ville" et un environnement virtuel "nature".



Figure 4 : Capture d'écran de l'environnement virtuel représentant la ville

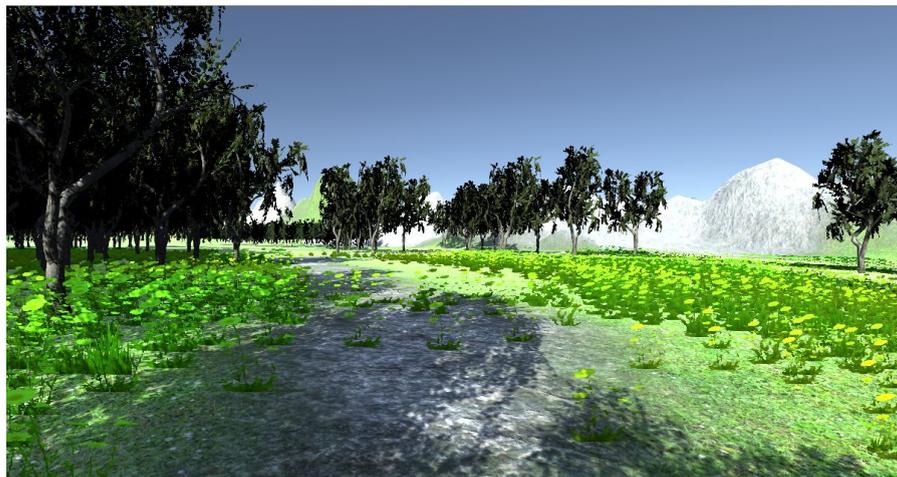


Figure 5 : Capture d'écran de l'environnement virtuel représentant la nature

4. Recueil des données

Les participants ont été informés qu'aucune donnée personnelle n'était recueillie et l'anonymat était assuré par la distribution d'une carte de participant avec un numéro à ramener pour la seconde session. Le recueil des âges a été fait sous forme de liste décorrélée de toute autre donnée. Les genres ont été simplement comptés. Au final, il est impossible d'associer un âge ou un genre aux résultats du Backward Digit Span informatisé (BDS) ou aux questionnaires.

Les résultats du BDS ont été enregistrés dans une base de données séparée, avec seulement le numéro de participant, la modalité (ville ou nature) et l'ordre (avant ou après la VR). L'application web permettant de faire passer le BDS a été codée par moi-même. Des fichiers CSV ont été créés pour le traitement des différentes données.

Aucun résultat n'a été enregistré pour la tâche de fatigue.

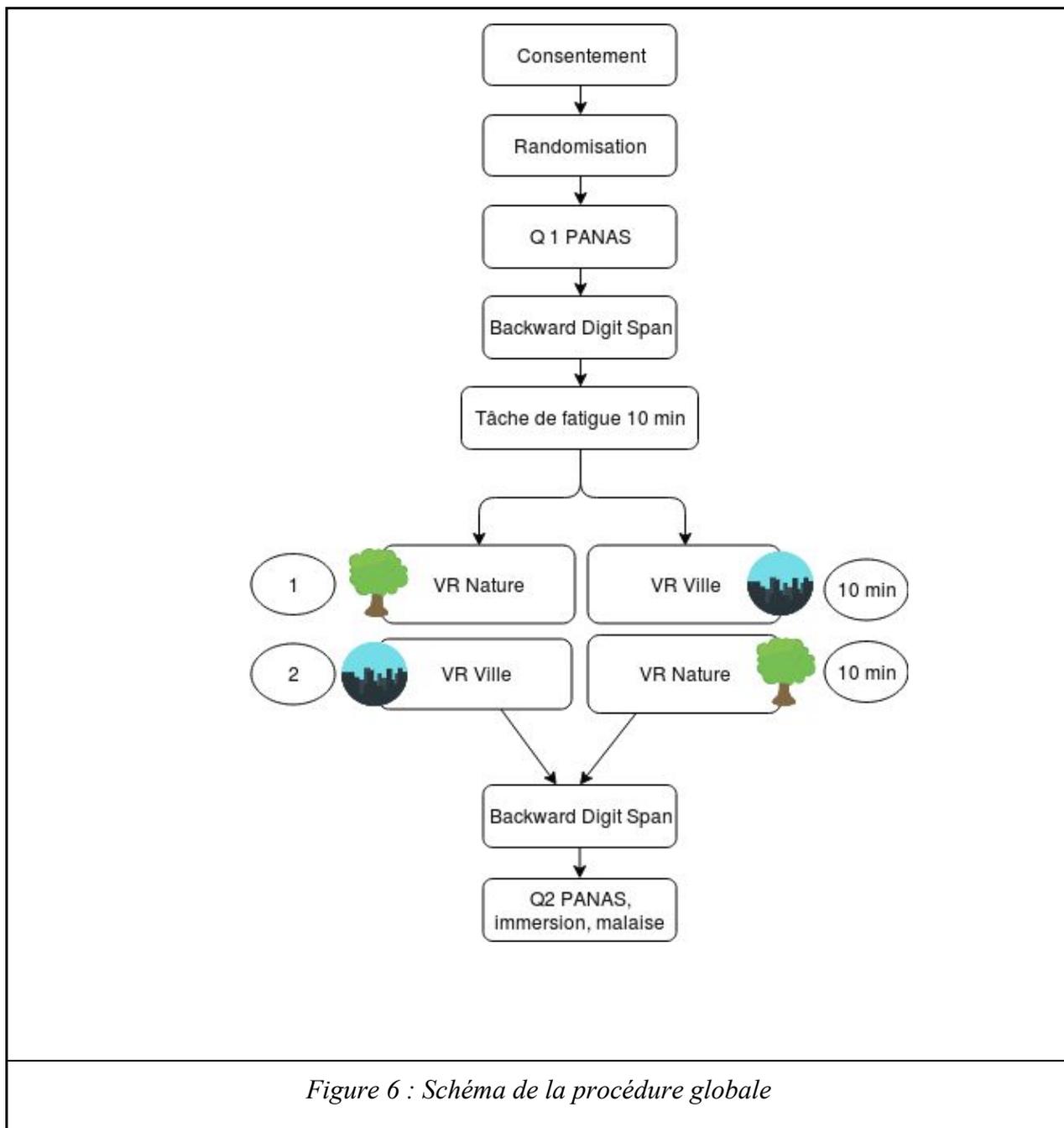
Les questionnaires à remplir par les participants avant et après l'immersion, contenant le PANAS, les questionnaires d'immersion et malaise ont été créés avec l'application en ligne GoogleForms et les données ont été extraites au format csv.

5. Mesures

- a. Attention dirigée : score au Backward Digit Span informatisé sur 14 (1 point par série juste). Un BDS est réalisé avant l'immersion dans l'EV et donne lieu à un score, un second BDS est réalisé après et donne un autre score.
- b. Humeur : score au PANAS avant l'immersion dans l'EV, et après l'immersion dans l'EV. 20 adjectifs sont présentés au participant qui évalue son degré d'accord avec chaque adjectif sur une échelle de Likert en 5 points : Pas du tout (1 point), Un peu (2 points), Modérément (3 points), Beaucoup (4 points), Tout à fait (5 points).
Calcul du score P.aff (score des affects positifs, 10 adjectifs, score compris entre 10 et 50), calcul du score N.aff (score des affects négatifs, 10 adjectifs, score compris entre 10 et 50), enfin calcul du score de PANAS : P.aff - N.aff. 2 scores sont calculés : un avant l'immersion, le second après l'immersion dans l'EV.
- c. Immersion : pour chaque item donné par le questionnaire d'immersion (voir annexes) un score a été attribué au niveau de l'échelle de Likert. Fortement en désaccord (1 point), Plutôt en désaccord (2 points), Ni en accord, ni en désaccord (3 points), Plutôt en accord (4 points), Fortement en accord (5 points).
- d. Malaise : nombre de symptômes ressentis par le participant : 0, 1, 2, ou 3.

6. Procédure

- a. Présentation de l'étude et lecture du consentement éclairé, randomisation (tirage d'une carte avec un numéro de participant et la première modalité : Nature ou Ville, si 2e session : récupération de la carte avec numéro de participant et modalité).
- b. Récupération de l'âge du participant et comptage des participants selon le genre.
- c. Le participant répond au 1er questionnaire, dont le PANAS.
- d. Le participant réalise le Backward Digit Span (BDS) informatisé, avec présentation visuelle seule des chiffres.
- e. Le participant réalise la tâche de fatigue chronométrée (10 min). Il s'agit d'une tâche d'oubli dirigé, visant à fatiguer l'attention dirigée. Pour chaque essai, une matrice de 6 lettres est présentée, puis on demande au participant d'oublier une des rangées de lettres. Ensuite, une lettre seule est présentée et le participant doit cliquer sur la touche "flèche gauche" si elle est dans les lettres dont il doit se souvenir ou "flèche droite" si elle n'en fait pas partie. Les résultats de cette tâche n'ont pas été enregistrés.
- f. Le participant visite l'environnement virtuel (Ville ou Nature) pendant 10 minutes.
- g. Le participant réalise le BDS après immersion dans l'EV.
- h. Le participant remplit le 2e questionnaire comportant les questions pour le PANAS après l'immersion, les questions pour l'évaluation du sentiment d'immersion et de présence et les questions concernant la sensation de malaise.



7. Hypothèses opérationnelles

Pour mesurer nos variables attention et humeur, nous utilisons des tests qui sont le BDS pour l'attention et le PANAS pour l'humeur. Le BDS consiste à présenter des suites de chiffres au participant qui doit les restituer dans l'ordre inverse, ce test fait appel à la mémoire de travail et à l'attention dirigée. Le nombre de réponses justes du participant constitue le score au BDS. Le PANAS est un questionnaire évaluant l'humeur par les affects positifs (10 adjectifs sont proposés au participant qui évalue son degré d'accord avec chacun d'eux sur une échelle de Likert en 5 points) et les affects négatifs (10 adjectifs également, évalués par le participant de la même façon). Ceci permet le calcul d'un score que nous appelons score de PANAS ou simplement PANAS.

H1: Le score au BDS (mesure de l'attention dirigée comme Gildow et al. (2016) et Berman et al. (2008).....) après immersion dans un environnement virtuel (EV) représentant la nature et réalisation d'une

tâche fatigante pour l'attention dirigée est mieux régénéré (la différence entre les scores après-avant est plus élevée) que le score au BDS après l'immersion dans l'EV urbain et la tâche de fatigue. Ici la variable dépendante est l'attention, mesurée par le score au BDS. La variable indépendante est la modalité ou type d'environnement virtuel : EV Ville ou EV Nature. On vérifiera que les scores au BDS avant l'immersion ne diffèrent pas statistiquement pour les 2 modalités nature et ville. On peut résumer cette hypothèse comme suit : différence BDS Nature > différence BDS ville.

H2: Le score au PANAS (humeur) après immersion dans un environnement virtuel (EV) représentant la nature est supérieur au score au PANAS après l'immersion dans l'EV urbain. Ici la variable dépendante est l'humeur (la mesure sera faite grâce au PANAS). Notre variable indépendante est ici encore la modalité ou type d'EV : Nature ou Ville.

On vérifiera que les scores au PANAS avant l'immersion ne diffèrent pas statistiquement pour les 2 modalités nature et ville.

Afin de pouvoir conclure sur l'effet de la modalité, il faut s'assurer que nos 2 modalités (ici nos 2 EV) sont comparables pour les autres paramètres tels que le sentiment d'immersion et la sensation de malaise, qui sont 2 éléments susceptibles d'interférer avec les résultats au test BDS et au questionnaire PANAS. Si l'un des EV est beaucoup moins immersif que l'autre ou induit beaucoup plus de sensation de malaise, il faut en tenir compte pour interpréter les résultats de la comparaison des effets sur l'attention ou l'humeur. Ainsi nous contrôlons que :

- Le sentiment d'immersion induit lors de l'utilisation d'un EV représentant la nature est identique à celui induit lors de l'utilisation d'un EV urbain. Ici la variable dépendante est l'immersion (la mesure sera faite grâce au score obtenu à partir du questionnaire d'immersion rempli par le participant après l'immersion). Autrement dit, le score obtenu au questionnaire d'immersion pour l'EV naturel ne diffère pas du score d'immersion obtenu par l'EV urbain.
- La sensation de malaise induite lors de l'utilisation d'un EV représentant la nature est identique à celle induite lors de l'utilisation d'un EV urbain. Ici la variable dépendante est la sensation de malaise (la mesure sera faite grâce au score obtenu à partir du questionnaire concernant les symptômes de malaise rempli par le participant après l'immersion). Autrement dit, le score obtenu au nombre de symptômes de malaise pour l'EV naturel ne diffère pas du score de malaise obtenu par l'EV urbain.

5. Résultats

1. Statistiques descriptives

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet d'un environnement virtuel représentant la nature (notre variable indépendante, ici, le type d'environnement virtuel) sur l'attention humaine (notre variable dépendante). Nous étudierons également l'effet de l'environnement virtuel utilisé sur l'humeur, ainsi que sur le sentiment d'immersion et la sensation de malaise ressentie par les

participants. Ces 3 dernières variables pouvant interférer avec l'effet sur l'attention. L'étude est menée en cross-over, ainsi les deux groupes comparés sont constitués des mêmes sujets, rendant ainsi les deux groupes comparables. Enfin, nous avons recueilli les impressions des participants par une question ouverte, pour préciser leur ressenti, en vue de mieux comprendre nos résultats d'une part, et peut-être d'améliorer les environnements virtuels en vue d'études ultérieures. L'ensemble des statistiques a été réalisé avec le logiciel Jamovi.

a. Caractéristiques des participants

23 personnes ont participé et ont fait les 2 modalités, 46 expériences ont été réalisées intégralement.

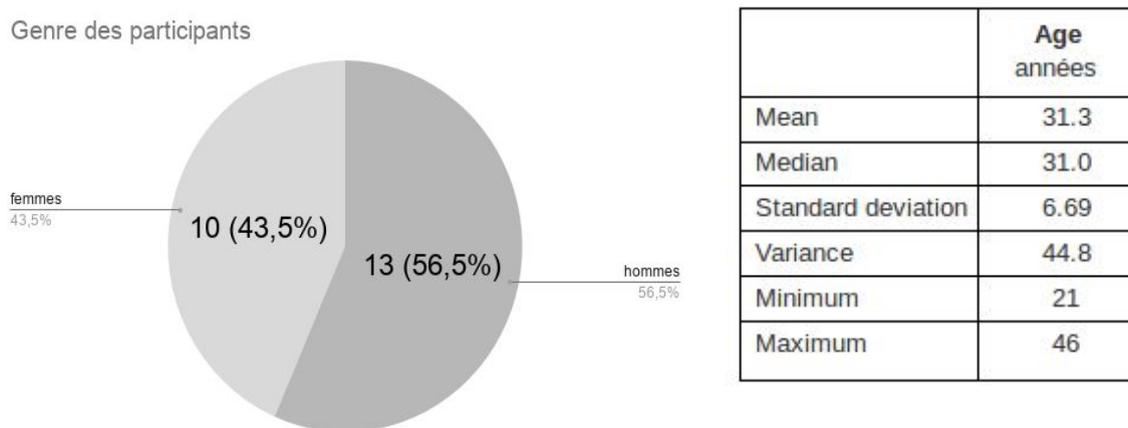


Figure 7 : Description des participants

L'échantillon étudié est constitué de 13 hommes et 10 femmes, entre 21 et 46 ans. L'âge moyen des participants est de 31 ans.

5 personnes sur 23 n'avaient jamais utilisé de casque de VR avant les expérimentations. On note que 4 des 5 personnes n'ayant jamais utilisé de casque de VR ont commencé par l'EV "ville". 18 personnes avaient déjà essayé la VR.

Un participant a eu un malaise trop important pour continuer, dès la 2^e minute de VR. Ses résultats n'ont pas été pris en compte du tout dans l'analyse. Il savait être sujet aux malaises en VR avant de débiter l'expérimentation.

Les statistiques descriptives sont présentées sur la totalité des participants (N = 23).

Dans le tableau suivant, nous présentons les durées séparant les deux expérimentations (délai en jours entre l'expérimentation avec l'EV 1 et l'expérimentation avec l'EV 2) :

	délais en jour
Mean	4.96
Median	5.00

Minimum	1.00
Maximum	13.0

Tableau 1 : Délais séparant les 2 passations Nature et Ville

b. Mesures de l'attention : score au BDS

Ce tableau montre les moyennes des scores au BDS pour les 23 participants selon la modalité et l'ordre indiqué :

	Modalité EV	Ordre	BDS score
Moyenne	Nature	après	8.43
		avant	7.35
	Ville	après	7.57
		avant	7.17

Tableau 2 : Moyennes des scores au BDS

On constate que les moyennes "avant immersion" sont identiques (vérification par le test t de Student : $p = 0.787$). Les moyennes "après immersion" sont plus hautes que les moyennes "avant immersion" pour chaque EV et que la moyenne "après immersion" pour la nature est la plus élevée de toutes. Les participants ont mieux réussi le BDS après immersion dans l'EV nature.

Voici un tableau présentant les différences "score BDS après - score BDS avant" (Delta BDS) pour les 23 participants selon la modalité indiquée :

	Différence BDS Nature	Différence BDS Ville
N (effectif)	23	23
Moyenne	1.09	0.391

Tableau 3 : Moyennes des Delta BDS

On constate que la moyenne des différences observées est plus élevée pour la nature que pour la ville et que cette différence "score après - score avant" est positive, indiquant un effet positif possible, donc une amélioration des résultats. La moyenne des différences est également positive pour l'EV ville.

c. Mesure de l'humeur : score au PANAS

Voici les moyennes observées pour les scores du PANAS avant et après l'immersion dans chaque EV pour les deux modalités d'EV nature et ville :

	PANAS avant		PANAS après	
Modalité	NATURE	VILLE	NATURE	VILLE

N (effectif)	23	23	23	23
Moyenne	19.2	18.2	21.7	18

Tableau 4 : Moyennes des score au questionnaire PANAS

On constate que la moyenne obtenue après l’immersion dans l’EV nature est plus élevée que celle obtenue avant l’immersion, ce qui indiquerait un effet bénéfique de la nature, comme décrit dans la littérature. Elle est aussi plus élevée que les moyennes obtenues pour l’EV ville. Les moyennes avant et après la ville sont quasiment les mêmes.

Si on le présente sous forme de différences entre le PANAS après et le PANAS avant chaque immersion (PANAS après - PANAS avant ou Delta PANAS), voici les résultats obtenus :

Modalité	Nature	Ville
N (effectif)	23	23
Moyenne	2.52	-0.261

Tableau 5 : Moyennes des Delta PANAS

Ici, on voit bien que la différence moyenne pour la nature est positive, ce qui serait en faveur d’un effet positif sur l’humeur, ce qui est conforme aux données de la littérature, alors que pour la ville la différence moyenne est négative, ce qui serait en faveur d’un effet négatif.

d. Immersion et malaise

Voici les moyennes obtenues pour l’immersion dans les deux EV :

N (effectif)	Nature	23
	Ville	23
Moyenne des Scores Immersion	Nature	16.4
	Ville	16.4
Ecart-type	Nature	3.04
	Ville	3.92

Tableau 6 : Scores d’immersion

Les moyennes sont identiques pour la ville et la nature, les 2 EV ont donc donné le même sentiment d’immersion.

En ce qui concerne la sensation de malaise, voici la répartition du nombre de symptômes déclarés par les participants :

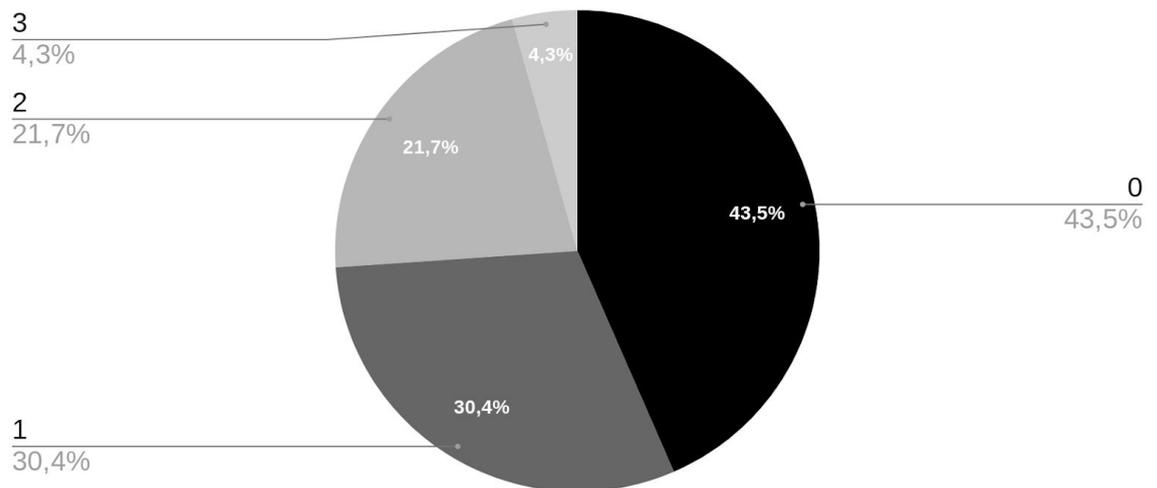


Figure 8 : Réponses au questionnaire concernant la sensation de malaise (nombre de symptômes, le plus fréquent étant la nausée)

43,5% des sessions de VR n’ont généré aucun symptôme, 30,4% un seul symptôme, le plus souvent la nausée, 21,7% deux symptômes (nausées et sensation de malaise le plus souvent), 2 participants ont ressenti 3 signes de malaise (nausées, sensation de malaise et céphalées).

Voici les moyennes obtenues pour le nombre de signes de malaise déclarés par les participants pour chaque EV :

	Modalité	
N (effectif)	Nature	23
	Ville	23
Moyennes du Nombre de symptômes	Nature	0.522
	Ville	1.30

Tableau 7 : Scores de malaise

La moyenne est plus basse pour l’EV nature : moins d’un symptôme pour l’EV nature, alors que pour la ville, les participants ont en moyenne ressenti plus d’un symptôme. L’EV nature semble avoir généré moins de symptômes en moyenne que l’EV ville (voir comparaison dans la section “tests des hypothèses”).

e. Commentaires libres des participants

Enfin, la dernière question du questionnaire final est une question ouverte demandant aux participants leur ressenti suite à la visite de l’EV. Nous avons classé par thème abordé et compté les réponses concernant ces thèmes évoqués par les participants. Voici un échantillon des réponses représentatives :

Pour l’EV Nature : “agréable, manque de stimuli pour avoir envie d’avancer”, “sensation plutôt positive de tranquillité et sérénité, un peu d’ennui sur la fin”.

Les participants ont trouvé l'EV nature agréable et apaisant (12 réponses) mais vide, ennuyeux et manquant d'objectifs (7 réponses).

Pour l'EV Ville : “*Bien, très impressionné de la richesse architecturale même si la qualité et la mobilité reste à améliorer.* “, “*Je me suis senti un peu étonné et les mouvements à faire pour regarder les détails et prendre les angles des rues de la ville m'a donné la nausée. Mais les détails (wagons, bâtiments, bouche d'égouts) ont éveillé ma curiosité.*”

Les participants ont davantage évoqué la sensation de malaise (7 fois) avec la ville (conformément aux scores vus plus haut) qu'avec la nature (2 fois). Ils ont trouvé l'environnement riche, détaillé, stimulant (8 réponses), mais ont eu des difficultés à s'y déplacer (4 réponses).

Ces réponses sont finalement assez conformes aux attentes que nous avons par rapport aux EV concernant l'effet agréable et apaisant de la nature et l'effet stimulant de la ville.

Malheureusement, nous constatons quelques défauts qui ont pu impacter le sentiment d'immersion, en particulier les difficultés de déplacement dans les deux EV. Cependant, comme nous l'avons vu avec les réponses au questionnaire d'immersion, cela a probablement impacté les 2 EV de la même manière car les sentiments d'immersion induits sont identiques.

2. Test des hypothèses

H1: Le score au BDS après immersion dans un environnement virtuel représentant la nature est supérieur au score au BDS après l'immersion dans l'EV urbain.

On vérifie que les scores au BDS avant l'immersion ne diffèrent pas statistiquement pour les 2 modalités nature et ville.

Paired Samples T-Test			statistic	df	p
BDS-AVANT NATURE	BDS-AVANT VILLE	Student's t	0.274	20.0	0.787

Tableau 8 : Comparaison des BDS avant l'immersion

Ici, comme nous sommes dans une étude en cross-over, la variation de notre variable attention, mesurée par le BDS (variable à expliquer), peut être liée à la modalité (l'EV que le participant a utilisé) ou à la séquence, c'est-à-dire l'ordre dans lequel le participant a visité les deux EV. En effet, chaque participant a visité les deux EV mais la moitié des participants a visité d'abord la nature puis la ville, tandis que l'autre moitié a visité d'abord la ville puis la nature. Nous allons donc réaliser une ANOVA à 3 facteurs sur les 42 passations (2x21) avec pour facteurs : la modalité (Nature, Ville), l'ordre (Nature puis Ville ou Ville puis Nature) et la période (1 ou 2). La variable dépendante que nous étudions est la différence entre le BDS après le passage en réalité virtuelle et avant (appelé Delta BDS par la suite). Nous présentons dans le tableau 9 les résultats de l'ANOVA (ainsi qu'en Annexe 4).

ANOVA (BDS)	Sum of squares	df	Mean squares	F	p
Ordre/séquence	0.382	1	0.382	0.0736	0.788

Modalité N/V	6.858	1	6.858	1.3213	0.258
Période	8.66e-4	1	8.66e-4	1.67e-4	0.990
Residuals	197.236	38	5.190		

Tableau 9 : ANOVA pour le score au BDS

Ces résultats montrent qu'il n'y a ni effet de séquence (ordre), ni de la période sur les résultats au BDS donc sur l'attention dirigée. Mais pas non plus d'effet de la modalité sur les résultats au BDS, donc sur l'attention dirigée, contrairement à l'hypothèse que nous avons émise. Notre hypothèse H1 n'est pas vérifiée.

Remarque : Les 2 participants exclus de cette analyse l'ont été car ils ont changé de stratégie en cours d'expérimentation et ceci a impacté les résultats au BDS (sujet ID 23 : son BDS a augmenté de 6 points en cours d'expérimentation pour la nature, sujet ID 22 son BDS a augmenté de 5 points au cours de l'expérimentation pour la ville). Les participants m'ont parlé de leur changement de stratégie. Notons que les résultats ne sont pas fondamentalement différents en les incluant dans l'ANOVA : aucun effet n'est observé là non plus).

Conclusion sur H1 : Nous n'avons donc pas mis en évidence d'effet de la nature comparativement à la ville, en réalité virtuelle, sur l'attention humaine, contrairement à ce que nous attendions compte tenu des données de la littérature.

H2: L'utilisation d'un EV représentant la nature améliore l'humeur comparativement à un EV urbain.

Ici, comme nous sommes dans une étude en cross-over, la variation de notre variable humeur, mesurée par le PANAS (variable à expliquer), peut être liée à la modalité, à la période ou à la séquence (variables explicatives). En effet, chaque participant a visité les deux EV mais la moitié des participants a visité d'abord la nature puis la ville, tandis que l'autre moitié a visité d'abord la ville puis la nature. Nous allons donc réaliser une ANOVA à 3 facteurs sur les 42 passations (2x21) avec pour facteurs : la modalité (Nature, Ville), l'ordre (Nature puis Ville ou Ville puis Nature) et la période (1 ou 2). La variable dépendante que nous étudions est la différence entre le score au PANAS après le passage en réalité virtuelle et avant (ou Delta PANAS). Nous présentons dans le tableau 10 les résultats de l'ANOVA (également en Annexe 5).

ANOVA (Delta PANAS)	Sum of squares	df	Mean squares	F	p
Ordre/séquence	237.7	1	237.7	3.621	0.065
Modalité N/V	305.5	1	305.5	4.653	0.037
Période	20.5	1	20.5	0.313	0.579
Residuals	2494.7	38	65.6		

Tableau 10 : ANOVA pour le Delta PANAS

Les résultats de l'ANOVA montrent qu'il n'y a ni effet de séquence (ordre), ni de la période sur les résultats au PANAS donc sur l'humeur. Par contre la modalité, le type d'EV nature ou ville, a un effet sur les résultats au PANAS, donc sur l'humeur.

Conclusion sur H2: Les résultats montrent que la nature en réalité virtuelle améliore l'humeur ($p = 0.037$) comparativement à la ville en réalité virtuelle. (Rappel des moyennes des delta PANAS : Ville : -0.261 , Nature : 2.52)

Dans la partie qui suit, nous allons vérifier que nos environnements virtuels sont comparables en ce qui concerne leur capacité à produire un sentiment d'immersion ou une sensation de malaise. En effet si l'un des environnements est moins immersif que l'autre, alors l'effet obtenu sur l'attention ou l'humeur n'est plus uniquement dû à la modalité ville ou nature, mais peut-être masqué par un défaut d'immersion. De la même manière, si l'un des EV induit plus de malaise que l'autre, ceci peut masquer l'effet sur l'attention ou l'humeur.

Contrôle Immersion : Nous voulons vérifier que le score obtenu au questionnaire d'immersion pour l'EV naturel ne diffère pas du score d'immersion obtenu par l'EV urbain.

Comparaison des scores d'immersion obtenus pour l'EV ville et l'EV nature, pour les 46 passations (23 participants visitant 2 EV) :

Paired Samples T-Test					
Score Immersion			statistic	df	p
Ville (N=23)	Nature (N=23)	Student's t	0.153	22.0	0.880

Tableau 11 : Comparaison des scores d'immersion selon l'environnement utilisé

Il n'y a pas de différence entre les 2 EV pour les scores au questionnaires d'immersion, confirmant que les 2 environnements ont donné le même sentiment d'immersion aux participants. (Le même test sur les 21 participants donne des résultats semblables : $p = 0.748$)

Contrôle Malaise: Nous vérifions que le score obtenu au nombre de symptômes de malaise pour l'EV naturel ne diffère pas du score de malaise obtenu par l'EV urbain.

Comparaison des scores de malaise (nombre de symptômes) obtenus pour l'EV ville et l'EV nature :

Paired Samples T-Test					
Nb symptômes			statistic	df	p
Nature (N=23)	Ville (N=23)	Student's t	-3.46	22.0	0.002

Tableau 12 : Comparaison des scores de malaise selon l'environnement utilisé

La différence est significative : l'EV nature a donné moins de sensation de malaise que l'EV ville (rappel des moyennes : Nature : 0.522, Ville : 1.30). Il faudra tenir compte de cette différence entre nos 2 EV lors de l'interprétation de nos résultats.

3. Synthèse des résultats

Pour notre variable attention, nous n'avons pas pu mettre en évidence d'effet de la nature, une simple tendance se dégage en faveur d'un effet positif de la nature, la moyenne des différences de BDS apparaît plus élevée mais sans atteindre la significativité statistique.

Pour l'humeur, l'effet de la modalité est visible sur le delta PANAS (ANOVA). La nature en réalité virtuelle a donc un effet positif sur l'humeur.

Grâce aux statistiques descriptives, nous avons pu vérifier que les deux environnements ont généré le même sentiment d'immersion mais aussi que l'environnement ville a entraîné significativement plus de sensation de malaise que l'environnement nature.

6. Discussion

1. Résultats obtenus, limites de notre étude

Notre étude n'a pas mis en évidence d'effet positif de la nature en réalité virtuelle sur l'attention dirigée, contrairement à nos attentes. Peut-être que le faible effectif de notre étude (23 participants) est insuffisant pour mettre la différence en évidence, en effet l'étude de Kaplan comportait 38 participants, soit 15 de plus que la nôtre.

D'autres éléments peuvent expliquer que notre hypothèse n'est pas vérifiée ici : les durées d'expositions aux environnements virtuels n'ont peut-être pas été suffisantes. En effet, nous avons souhaité minimiser le risque de malaise en limitant les durées d'immersion à 10 minutes, mais l'étude de Kaplan utilisait des durées d'immersion plus longues (30 minutes) dans l'environnement réel. Bien qu'il semble que la durée d'immersion nécessaire pour voir un effet de la réalité virtuelle sur les émotions soit relativement courte (Riva, 2007; Felnhofer, 2015), la durée nécessaire pour voir un effet cognitif en réalité virtuelle, pour nous sur l'attention, est peut-être plus longue. Ceci expliquerait que nous avons mis en évidence l'effet positif de la nature sur l'humeur mais pas l'effet sur l'attention dirigée.

D'autre part, bien que la majorité de nos participants a déjà utilisé un dispositif de réalité virtuelle, l'utilisation du dispositif de notre étude constitue une charge cognitive. En effet les casques disponibles sur le marché sont de performances variables et les contrôleurs ont des fonctionnements différents, le fait qu'une personne a déjà utilisé un des dispositifs disponibles ne garantit pas qu'elle va pouvoir rapidement prendre en main un nouveau dispositif. Cette charge cognitive supplémentaire a pu interférer avec les résultats.

Une autre durée que nous avons réduite par rapport à l'étude de Kaplan est la durée de la tâche de fatigue, nous l'avons limitée à 10 minutes, mais l'étude de Kaplan utilisait une tâche de fatigue durant 35 minutes. La différence n'apparaît peut-être pas entre la ville et la nature car l'attention n'étant pas assez fatiguée, la régénération est moins visible, en conséquence. Peut-être qu'en allongeant la durée de la tâche de fatigue, la différence apparaîtrait.

Un autre élément peut expliquer l'absence d'effet observé : l'âge des participants. Certaines études (McMahan, 2015) montrent que les personnes plus âgées bénéficient mieux des effets régénérant de la nature : ici la moyenne d'âge est de 31 ans et le participant le plus âgé a 46 ans. On peut cependant noter que les participants de l'étude de Kaplan sont étudiants et que la moyenne d'âge est de 22 ans, plus basse que celle de notre étude (31 ans), et pourtant l'effet est visible sur son échantillon. Cet effet de l'âge est à préciser lors d'études ultérieures.

Un élément nous incite à vouloir insister pour démontrer l'effet de la nature sur l'attention dirigée : il semble tout de même y avoir une amélioration si on regarde la moyenne au score BDS avant comparée à après pour la nature (moyenne des BDS Avant l'immersion dans l'EV nature : 7,35 et moyenne après : 8,43, un test t de Student réalisé pour comparer ces 2 moyennes montre qu'elle sont différentes : $p=0.04$). Nous n'avons pas montré de différence par rapport à l'EV ville, mais peut-être est-ce dû à un facteur non identifié ? Est-ce dû à la réalité virtuelle elle-même ? Aurait-elle un effet sur l'attention ou bien est-ce que notre environnement virtuel "ville" n'est pas aussi représentatif de la ville que nous le pensions et ne permet pas de reproduire les effets mis en évidence par Kaplan ? Notre EV ville ne fatigue peut-être pas l'attention dirigée suffisamment pour que la différence soit visible. Les commentaires des participants incitent à penser que nos EV avaient des caractéristiques représentatives de la ville et de la nature, cependant ils ont également émis des critiques sur les difficultés de navigation qu'ils ont rencontrées. De plus, notre dispositif ne stimulait que deux sens : la vue et l'ouïe, quand un environnement réel stimule le toucher (vent, insectes...), l'odorat (parfums des fleurs, pollution...) et bien d'autres. Peut-être que certains éléments ont manqué dans notre dispositif ? Même si la littérature montre tout de même un effet avec des photographies

et des vidéos, dans le cas de la réalité virtuelle, où nous souhaitons une immersion du participant, il est peut-être nécessaire de créer un environnement encore plus cohérent, correspondant davantage aux attentes des participants (qui ne peuvent pas être les mêmes que pour une vidéo ou une photo). Notamment, notre EV ville comporte peu de circulation (seulement un tramway) et aucun de nos EV ne comporte de personnage humain. Comme nous savons que la co-présence favorise l'immersion (Hudson, 2018), peut-être qu'un travail avec des EV permettant la co-présence serait intéressant dans ce cadre.

L'environnement virtuel Ville a entraîné des sensations de malaises : notre étude a été réalisée en Juillet et Août 2019, avec parfois des températures élevées (35 voire 38 degrés Celsius) ce qui n'est pas habituel pour les participants et a pu entraîner une fatigue durant cet été particulièrement chaud. Au moment des expérimentations nous avons au maximum essayé de trouver des pièces climatisées mais cela n'a pas toujours pu être le cas (panne de climatisation notamment en Juillet). C'est peut-être un élément à prendre en compte également ici. Ce facteur n'a pas été contrôlé ni enregistré dans les données et peut-être a-t-il eu une influence sur les résultats au BDS notamment.

2. Pistes d'amélioration, perspectives

Notre étude peut être complétée et améliorée sur plusieurs plans :

- un recrutement plus large pour augmenter le nombre de participants et varier les âges, ce qui permettrait peut-être de voir l'effet de la nature en réalité virtuelle sur l'attention, éventuellement de faire les tests sur des sous-populations par catégories d'âges pour voir s'il y a ou non un effet de l'âge.
- augmenter la durée d'exposition aux environnements virtuels, ce qui impose également d'améliorer les environnements, et peut-être de choisir un casque plus performant.
- augmenter la durée de la tâche de fatigue afin de mieux mettre en évidence une éventuelle récupération.
- prévoir une séance d'apprentissage du dispositif de réalité virtuelle, avant les expérimentations proprement dites, pour chaque participant, afin d'éliminer la charge cognitive liée à la découverte du dispositif pour les participants et d'avoir un niveau de familiarité avec le dispositif à peu près identique chez tous les participants.
- faire l'étude dans un lieu plus neutre que le cadre professionnel ou personnel (laboratoire par exemple) et avec des conditions de température ambiante plus favorables.
- réfléchir à des stratégies pour minimiser le risque de changement de stratégie en cours d'expérimentation pour le BDS, et les mettre en place.
- enfin, améliorer les environnements virtuels, notamment ajouter de la circulation dans la ville car peut-être que notre environnement n'a pas assez sollicité l'attention, et fluidifier la navigation dans les deux environnements, et pourquoi pas prévoir des environnements multi-participants permettant la co-présence.

Evidemment tout ceci a un coût et peut-être qu'appliquer certaines de ces pistes d'améliorations serait suffisant pour permettre de vérifier l'ART en réalité virtuelle.

7. Conclusion

En conclusion, notre étude est originale car elle utilise la réalité virtuelle pour démontrer la théorie de la restauration de l'attention dirigée, à notre connaissance cela n'a pas été fait. Cependant, elle n'a pas permis de confirmer la théorie de l'ART en réalité virtuelle, probablement en raison de certaines faiblesses comme, entre autres, un nombre insuffisant de participants pour mettre la différence en évidence. L'effet de la nature sur l'humeur a été mis en évidence, la réalité virtuelle permet donc bien de générer des émotions comparables à celles produites par les environnements réels et la nature en réalité virtuelle a un effet bénéfique sur les émotions. Les environnements virtuels que nous avons utilisés ont produit des sentiments d'immersion comparables et nous proposons des pistes d'amélioration pour les études ultérieures sur le sujet. En effet, certains éléments nous incitent à poursuivre les études et il nous paraît important de ne pas passer à côté d'un effet de la nature en VR sur les fonctions cognitives, compte tenu de l'engouement pour la réalité virtuelle, sa facilité d'utilisation, ainsi que son accessibilité grandissante. Elle pourrait peut-être permettre d'aider certains publics dans leurs apprentissages. Par exemple les enfants porteurs de déficit de l'attention, chez qui Taylor (2009) a montré un bénéfice (amélioration des capacités attentionnelles) lors d'un contact avec la nature. Il est difficile d'avoir accès à un environnement réel naturel dans les métropoles, ou même tout simplement parfois dans une salle de classe. Les enfants porteurs de TDAH pourraient peut-être bénéficier de l'utilisation d'environnements virtuels représentant la nature, facilement accessibles, afin de favoriser leurs apprentissages.

Bibliographie

- Auvray, M. Fuchs, P. (2007) Perception, immersion et interactions sensori-motrice en environnement virtuel. *Intellectica* (45)23-35
- Berman, M.G. Jonides, J. Kaplan, S. (2008). The cognitive benefits of interacting with nature. *Psychological Science*, Vol(19), 12
- Berto, R. (2005) Exposure to restorative environments helps restore attentional capacity. *Journal of Environmental Psychology* vol(25) 249–259
- Bratmana, G. Daily, G. Levy, B. Gross, J. (2015) The benefits of nature experience: Improved affect and cognition. *Landscape and Urban Planning*, 138, 41–50
- Cobb, S. Nichols, S. (1998). Static posture tests for the assessment of postural instability after virtual environment use. *Brain Research Bulletin* Vol(47), 5, 459-464
- Corbetta, M. Shulman, G. L. (2002) Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature reviews, Neuroscience* Vol 3
- Cowan, N. (2000) The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and brain sciences*, Vol(24), 87-185
- Dresler, M. Sandberg, A. Ola, K. Bublitz, C. Trenado, C. Mroczko-Wasowicz, A. Kühn, S. Repantis, D. (2013) Non-pharmacological cognitive enhancement. *Neuropharmacology*, Vol 64, 529-543
- Felnhofer, A. Kothgassner, O. Schmidt, M. Heinzle, A. Beutl, L. Hlavacs, H. Krypsin-Exner, I. (2015) Is virtual reality emotionally arousing ? Investigating five emotion inducing virtual park scenarios. *International Journal of Human Computer Studies*, Vol(82) 48-56
- Gidlow, C J. Jones, M V. Hurst, G. Masterson, D. Clark-Carter, D. Tarvainen, M P. Smith, G. Nieuwenhuijsen, M. (2016) Where to put your best foot forward: Psycho-physiological responses to walking in natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology* 45 22-29
- Graafland, M. Schraagen J.M. Schijven M.P. (2012). Systematic review of serious games for medical education and surgical skills training. *British Journal of Surgery*, 99 :1322-1330.
- Guttentag, R. (1984) The mental effort requirement of cumulative rehearsal: A developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology*, Vol 37, 1, 92-106
- Hilbert, S. Nakagawa, T.T. Puci, P. Zech, A. Bühner, M. (2015) The digit span backwards task. Verbal and visual cognitive strategies in working memory assessment. *European journal of Psychological assessment*, Vol(31), 3, 174-1
- Howard, C. (2017) A meta-analysis and systematic literature review of virtual reality rehabilitation programs. *Computers in Human Behavior*, Vol 70, 317-327

Hudson, S. Matson-Barkat, S. Pallamin, N. Jegou, G. (2018) With or without you ? Interaction and immersion in a virtual reality experience. *Journal of Business Research*.

Jiwon, L. Mingyu, K. Jinmo, K. (2017) A study on Immersion and VR Sickness in walking interaction for immersive virtual reality applications. *Symmetry* 9, 78

Majerus, S. (2010). Les multiples déterminants de la mémoire à court terme verbale : Implications théoriques et évaluatives. *Développements*, 4(1), 5-15. doi:10.3917/devel.004.0005.

McMahan, E. A., & Estes, D. (2015). The Effect of Contact With Natural Environments on Positive and Negative Affect: A Meta-Analysis. *The Journal of Positive Psychology*, 10 (6)

Muhanna, A. (2015) Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. Vol 27, 3, 344-361

Murata, A. (2004) Effects of Duration of Immersion in a Virtual Reality Environment on Postural Stability. *International journal of human-computer interaction*. 17(4), 463–477

Petersen, S. Posner, M. (2012) The Attention System of the Human Brain: 20 Years After. *Annual review of Neuroscience* 21, 35, 73-89.

Pilotti, M. Klein, E. Golem, D. Piepenbrink, E. Kaplan, K. (2015) Is viewing a nature video after work restorative? Effects on blood pressure, task performance, and long-term memory. *Environment and Behavior* Vol. 47(9) 947–969

Richardson, J. (2007) Measures of Short-Term Memory: A Historical Review. *Cortex*, Vol 43, 5, 2007, 635-650

Riva, G. Mantovani, C. Capideville, C.S. Preziosa, A. Morganti, F. Villani, D. Gaggioli, A. Botella, C. Alcañiz, M. (2007) Affective interactions using Virtual Reality: the link between presence and emotions. *CyberPsychology & Behavior* vol 10, 1

Sakdavong, J-C. Burgues, B. Huet, N. (2019) Virtual reality in self-regulated learning: example in art domain. *CSEDU 2019, the International Conference on Computer Supported Education*.

Shin, D. (2018) Empathy and embodied experience in virtual environment : To what extent can virtual reality stimulate empathy and embodied experience ? *Computers in human behavior*, Vol(78), 64-73

Stanney, K., Salvendy, G., Deisinger, J., DiZio, P., Ellis, S., Ellison, J., ... Witmer, B. (1998). After effects and sense of presence in virtual environments: Formulation of a research and development agenda. *International journal of human-computer interaction*, 10(2), 135-187

Taylor, A.F. Kuo, F.E. (2009) Children with attention deficits concentrate better after walk in the park. *Journal of Attention Disorders*. Vol(12) 5, 402-409

Ulrich, R. Simons, R. Losito, B. Fiorito, E. Milest, M. Zelson, M. (1991) Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology* 11, 201-230

Van den Berga, A.E. Joye, Y. Koolec, S.L. (2016) Why viewing nature is more fascinating and restorative than viewing buildings: A closer look at perceived complexity. *Urban Forestry & Urban Greening*. vol 20) 397–40

Yu, C. Lee, H. Luo, X. (2018) The effect of virtual reality forest and urban environments on physiological and psychological responses. *Urban Forestry & Urban Greening* 35 106–114

Zijlema, W. Triguero-Mas, M. Smith, G. Cirach, M. Martinez, D. Dadvand, P. Gascon, M. Jones, M. Gidlow, C. Hurst, G. Masterson, D. Ellis, N. van der Berg, M. Maas, J. van Kamp, I. van den Hazel, P. Kruize, H. Nieuwenhuijsen, M. Julvez, J. (2017) The relationship between natural outdoor environments and cognitive functioning and its mediators. *Environmental Research* 155 (2017) 268–275

Abréviations

ANT : Attention Network Test

ART : Attention Restoration Theory

BDS : Backward Digit-span

CTT : Color Trail Test

EV : Environnement virtuel

OSPAN : Operation Task Span

PANAS : The Positive and Negative Affect Schedule

SART : Sustained Attention to Response Test

SRT : Stress Reduction Theory

VR : Réalité virtuelle

Annexes

Annexe 1 : Consentement éclairé

Consentement éclairé pour la participation à une étude de recherche en psychologie

Titre du projet : Effets cognitifs de la réalité virtuelle.

Chercheur responsable scientifique du projet : Jean-Christophe Sakdavong
Maître de conférences en Informatique Chercheur en Psychologie-Cognitive
Affiliation : Université Toulouse 2 Jean Jaurès, CLLE-LTC UMR5263 CNRS
jean-christophe.sakdavong@univ-tlse2.fr

Etudiante en Master 2 eFormation et environnements numériques :
Emmanuelle Giraud emmanuelle.giraud@etu.univ-tlse2.fr

But du projet de recherche : Cette recherche a pour but d'évaluer l'impact de la réalité virtuelle sur des capacités cognitives.

Qui peut participer ? Adultes, tous âges, sans contre-indication à l'utilisation d'un casque de réalité virtuelle.

Ce que l'on attend de vous : Si vous acceptez de participer à cette étude, nous vous demanderons de répondre à plusieurs questionnaires, de réaliser plusieurs petits tests informatisés, et d'utiliser un casque de réalité virtuelle. Cela devrait prendre 2 créneaux de 45 min idéalement. Ou un créneau de 45 min.

Vos droits de vous retirer de la recherche en tout temps : Votre contribution à cette recherche est volontaire. Vous avez le droit de retirer votre consentement et d'interrompre votre participation à tout moment, sans encourir aucune responsabilité ni aucun préjudice de ce fait.

Vos droits à la confidentialité et au respect de la vie privée :

- 1/ Les données obtenues seront traitées avec la plus entière confidentialité.
- 2/ Aucune donnée à caractère personnel n'est enregistrée. L'anonymat est garanti par la séparation des données conservées afin d'empêcher toute identification même de manière indirecte.
- 3/ Toutes les données seront gardées dans un endroit sécurisé et seuls le responsable scientifique et les chercheurs adjoints y auront accès.
- 4/ Le strict anonymat rend impossible la rectification ou la suppression des informations vous concernant après la fin de votre participation.

Bénéfices : les éléments recueillis permettront une meilleure connaissance des effets cognitifs de la réalité virtuelle, une meilleure utilisation de celle-ci pour l'apprentissage et le développement d'expériences de réalité virtuelle plus adaptées à la cognition humaine.

Annexe 2 : Questionnaire 1

1. **Vous participez à une étude sur la réalité virtuelle. Il est important de répondre à toutes les questions. Il n'y a pas de bonne ou mauvaise réponse, c'est votre ressenti qui nous intéresse. Le questionnaire est anonyme et prend moins de 5 minutes. ***

Une seule réponse possible.

Cochez ici pour accepter de répondre aux questions le plus spontanément possible.

2. **Numéro de participant. ***

3. **Modalité ***

Une seule réponse possible.

Nature

Ville

4. **Q1 : Avez-vous déjà utilisé un dispositif de réalité virtuelle ? ***

Une seule réponse possible.

oui

non

5. **Q2 : Donnez votre avis en choisissant votre degré de désaccord ou d'accord avec les adjectifs proposés. Actuellement, vous vous sentez : ***

Une seule réponse possible par ligne.

	Pas du tout	Un peu	Modérément	Beaucoup	Tout à fait
Intéressé.e, curieux / curieuse, motivé.e	<input type="radio"/>				
Angoissé.e	<input type="radio"/>				
Excité.e, animé.e, éveillé.e	<input type="radio"/>				
Contrarié.e	<input type="radio"/>				
Fort.e	<input type="radio"/>				
Coupable	<input type="radio"/>				
Effrayé.e	<input type="radio"/>				
Hostile	<input type="radio"/>				
Enthousiaste	<input type="radio"/>				
Fier.e	<input type="radio"/>				

6. **Q3 : Donnez votre avis en choisissant votre degré de désaccord ou d'accord avec les adjectifs proposés. Actuellement, vous vous sentez : ***

Une seule réponse possible par ligne.

	Pas du tout	Un peu	Modérément	Beaucoup	Tout à fait
Irritable	<input type="radio"/>				
Alerte, vigilant.e	<input type="radio"/>				
Honteux.se	<input type="radio"/>				
Inspiré.e, stimulé.e	<input type="radio"/>				
Déterminé.e	<input type="radio"/>				
Attentif.ve, Soigneux.se	<input type="radio"/>				
Nerveux.se	<input type="radio"/>				
Froussard.e	<input type="radio"/>				
Actif.ve	<input type="radio"/>				
Craintif.ve	<input type="radio"/>				

Annexe 3 : Questionnaire 2

1. **Vous participez à une étude sur la réalité virtuelle. Il est important de répondre à toutes les questions. Il n'y a pas de bonne ou mauvaise réponse, c'est votre ressenti qui nous intéresse. Le questionnaire est anonyme et prend moins de 5 minutes. ***

Une seule réponse possible.

Cochez ici pour accepter de répondre aux questions le plus spontanément possible.

2. **Numéro de participant. ***

3. **Q1: Vous venez de visiter un environnement qui évoque plutôt : ***

Une seule réponse possible.

la Nature

la Ville

4. **Q2 : Donnez votre avis en choisissant votre degré de désaccord ou d'accord avec les adjectifs proposés. Au cours de cette expérience de réalité virtuelle, vous vous êtes senti.e : ***

Une seule réponse possible par ligne.

	Pas du tout	Un peu ou parfois	Modérément, ou de temps en temps	Beaucoup, ou souvent	Tout à fait, ou très souvent.
Intéressé.e, curieux / curieuse, motivé.e	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Angoissé.e	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Excité.e, animé.e, éveillé.e	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Contrarié.e	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fort.e	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coupable	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Effrayé.e	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hostile	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Enthousiaste	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fier.e	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. **Q3 : Donnez votre avis en choisissant votre degré de désaccord ou d'accord avec les adjectifs proposés. Au cours de cette expérience de réalité virtuelle, vous vous êtes senti.e : ***

Une seule réponse possible par ligne.

	Pas du tout	Un peu ou parfois	Modérément ou de temps en temps	Beaucoup ou souvent	Tout à fait ou très souvent
Irritable	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alerte, vigilant.e	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Honteux.se	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inspiré.e, stimulé.e	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Déterminé.e	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Attentif.ve, Soigneux.se	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nerveux.se	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Froussard.e	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Actif.ve	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Craintif.ve	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. Q4: Voici plusieurs affirmations, cochez votre degré d'accord ou de désaccord avec chacune d'elles, selon votre ressenti. *

Une seule réponse possible par ligne.

	Fortement en désaccord	Plutôt en désaccord	Ni en accord, ni en désaccord	Plutôt en accord	Fortement en accord
L'environnement virtuel me semblait réel	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
J'avais l'impression d'agir dans l'environnement virtuel plutôt que d'agir depuis l'extérieur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mon expérience dans l'environnement virtuelle semblait cohérente avec mes expériences dans le monde réel.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pendant que j'étais dans l'environnement virtuel j'avais la sensation d'y être vraiment.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
J'étais complètement captivé dans le monde virtuel.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Q5: Durant cette expérience de réalité virtuelle avez vous eu ? *

Plusieurs réponses possibles.

- la nausée
- une sensation de malaise
- mal à la tête
- aucun symptôme particulier
- Autre : _____

8. Q6: Comment avez-vous vécu votre balade ? (vos avis, ressentis, impressions : réponse libre) *

Annexe 4 : ANOVA Delta BDS

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Modalité	6.858	1	6.858	1.3213	0.258
Ordre/Séquence	0.382	1	0.382	0.0736	0.788
Période	8.66e-4	1	8.66e-4	1.67e-4	0.990
Residuals	197.236	38	5.190		

[3]

References

[1] The jamovi project (2019). *jamovi*. (Version 1.0) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.

[2] R Core Team (2018). *R: A Language and environment for statistical computing*. [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org/>.

[3] Fox, J., & Weisberg, S. (2018). *car: Companion to Applied Regression*. [R package]. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=car>.

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Modalité	6.858	1	6.858	1.3213	0.258
Ordre/Séquence	0.382	1	0.382	0.0736	0.788
Période	8.66e-4	1	8.66e-4	1.67e-4	0.990
Residuals	197.236	38	5.190		

[3]

References

[1] The jamovi project (2019). *jamovi*. (Version 1.0) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.

[2] R Core Team (2018). *R: A Language and environment for statistical computing*. [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org/>.

[3] Fox, J., & Weisberg, S. (2018). *car: Companion to Applied Regression*. [R package]. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=car>.

Annexe 5 : ANOVA Delta PANAS

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Ordre/Séquence	237.7	1	237.7	3.621	0.065
Modalité	305.5	1	305.5	4.653	0.037
Période	20.5	1	20.5	0.313	0.579
Residuals	2494.7	38	65.6		

[3]

References

[1] The jamovi project (2019). *jamovi*. (Version 1.0) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Ordre/Séquence	237.7	1	237.7	3.621	0.065
Modalité	305.5	1	305.5	4.653	0.037
Période	20.5	1	20.5	0.313	0.579
Residuals	2494.7	38	65.6		

[3]

References

[1] The jamovi project (2019). *jamovi*. (Version 1.0) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.

Annexe 6 : Tableau des données

id	ordre	modalite	periode	DeltaBDS	DeltaPanas
1	NV	V	2	3	-5
1	NV	N	1	1	-9
2	VN	N	2	4	22
2	VN	V	1	-3	3
3	NV	V	2	-1	0
3	NV	N	1	1	-9
4	VN	N	2	3	1
4	VN	V	1	-2	1
5	NV	V	2	1	11
5	NV	N	1	2	7
6	VN	N	2	-1	9
6	VN	V	1	-1	7
7	NV	V	2	-4	4
7	NV	N	1	-2	-10
8	VN	N	2	1	5
8	VN	V	1	1	-9
9	NV	V	2	-2	-14
9	NV	N	1	0	4
10	VN	N	2	5	12
10	VN	V	1	1	-1
11	NV	V	2	1	-21
11	NV	N	1	0	17
12	VN	N	2	-3	1
12	VN	V	1	6	6
13	NV	V	2	1	-7
13	NV	N	1	1	10
14	VN	N	2	-1	4
14	VN	V	1	0	-15
15	NV	V	2	2	5
15	NV	N	1	0	1
17	NV	V	2	-1	-10
17	NV	N	1	5	-1
18	VN	N	2	-2	9
18	VN	V	1	0	-3
20	VN	N	2	-1	2
20	VN	V	1	0	8
21	NV	V	2	2	0
21	NV	N	1	1	4
24	VN	N	2	3	3
24	VN	V	1	-2	3
25	NV	V	2	0	0
25	NV	N	1	2	-7
22	VN	N	2	0	1
22	VN	V	1	4	-6
23	NV	N	1	6	9
23	NV	V	2	2	-12