# HEC MONTRÉAL

## Les effets de l'interactivité sur l'expérience de l'apprentissage en contexte d'immersion

**par**

**Youness Salame**

**Sciences de la Gestion**
**(Option Expérience Utilisateur dans un contexte d'affaires)**

Sous la direction de Pierre-Majorique Léger, Ph.D. et Patrick Charland, Ph.D.

*Mémoire présenté en vue de l'obtention*
*du grade de maîtrise ès sciences en gestion*
*(M. Sc.)*

Juin 2020
© Youness Salame, 2020

# Résumé

De plus en plus de nouvelles technologies éducatives ayant des caractéristiques interactives et immersives sont en émergence. Selon la littérature, ces nouvelles méthodes ont un réel potentiel pédagogique (Wang 2011). Ce mémoire étudie les effets des dômes immersifs avec des fonctionnalités interactives sur l'apprentissage et sur l'expérience de l'apprenant. Les chercheurs de ce nouveau domaine estiment que des recherches sont nécessaires pour mieux comprendre ce phénomène et pour développer cette littérature très limitée (Goddart et al., 2016). Ainsi l'objectif de cette étude est de vérifier si l'ajout d'interactivité dans une expérience offerte par un dôme immersif peut améliorer le potentiel éducatif de cette technologie comme supposé par nos hypothèses. Pour ce faire, nous avons réalisé une étude intersujet dans laquelle des participants (n=102) ont vécu une expérience immersive dans deux contextes différents ayant chacun une condition contrôle et interactive. Dans le premier contexte, les participants étaient en groupe de 12 et l'interactivité s'opérationnalisait par la présence d'une guide humaine avec laquelle il était possible d'interagir. Dans le deuxième contexte, le participant était seul et l'interactivité s'opérationnalisait avec une manette lui permettant de contrôler la projection. Notre stimuli expérimental était une projection immersive en 360· qui reconstituait la ville historique de Paris au 18$^{e}$ siècle. Les résultats issus de notre analyse statistique suggèrent qu'en contexte individuel, l'ajout d'interactivité dans un dôme immersif augmente l'apprentissage perçu des sujets et bonifie leur expérience émotionnelle, cognitive et perceptuelle/attitudinale. Les résultats de cette étude sont pertinents pour cibler les meilleures pratiques pédagogiques quant à l'ajout de dômes immersifs et interactifs dans un cursus scolaire. Des recherches futures devraient porter sur le potentiel éducatif de ces technologies d'un point de vue longitudinal.

**Mots clés :** Technologies • Interactivité • Immersion • Dôme • Apprentissage • Expérience • Émotions • Cognition • Perception • Attitude

# Table des matières

Résumé ..... iii

Table des matières ..... iv

Liste des tableaux et des figures ..... vi

Liste des abréviations ..... vii

Avant-Propos ..... viii

Remerciements ..... ix

Mise en contexte ..... 1

Introduction du mémoire ..... 2

Chapitre 1 : Problématique ..... 3

1.1 Les technologies en contexte pédagogique ..... 3

1.2 L'interactivité et l'apprentissage ..... 4

1.3 Objectifs de l'étude et question de recherche ..... 6

1.4 Contributions potentielles ..... 7

1.5 Informations sur les parties du mémoire ..... 7

1.6 Contributions personnelles ..... 8

Chapitre 2 : Revue de la littérature ..... 11

2.1 L'interactivité ..... 11

2.2 L'interactivité et l'apprentissage ..... 18

2.3Variables médiatrices de l'interactivité ..... 21

Chapitre 3 : Article..... 36

3.1 Introduction ..... 36

3.2 Theoretical framework and literature Review ..... 38

3.3 Methodology ..... 47

3.4 Results ..... 54

3.5 Discussion ..... 57

3.6 Conclusion..... 59

References ..... 61

Chapitre 4 : Conclusion du mémoire ..... 70

4.1Résumé des résultats ..... 70

4.2 Validation des hypothèses ..... 71

4.3 Conclusion ..... 72

Bibliographie du mémoire ..... 74

# Liste des tableaux et des figures

## Liste des Figures

Revue littérature


Figure 1 : Les dimensions et les sous-dimensions de l'interactivité. 13
Figure 2 : Le modèle intégré de l'interactivité multimédia (INTERACT). 15
Figure 3 : Les attributs de l'interactivité. 24
Figure 4 : Modèle sur l'interactivité et sa médiation avec les émotions. 25
Figure 5 : Modération : interactivité, charge cognitive et performance 28
Figure 6 : Méta-analyse des effets de l'interactivité sur l'attitude. 32


Article


Figure 1: An example of an immersive dome. 37
Figure 2: Figure 2: INTERACT's theoretical framework. 39
Figure 3: Research Model. 46
Figure 4: Research Design. 47
Figure 5: The Bretez Project : A historical reconstitution 49
Figure 6: The BITalino device. 50
Figure 7 : The final mediation model 57


## Liste des tableaux

Introduction


Tableau 1. Contributions dans la réalisation du mémoire 8


Article


Table 1. Effects of interactivity on learning 54
Table 2. Effects of interactivity on mediators 55
Table 3. Effects of interactivity on mediators (physio) 55
Table 4. Effects of mediators on perceived learning 56

# Liste des abréviations

HCI : Human Computer Interaction (Interaction Humain-Machine)

SAT : Société des Arts Technologiques

EDA : Électrodermale

ECG : Électrocardiogramme

CER: Comité d'Éthique de la recherche

SAM: Self-Assessment Manikin

# Avant-propos

Ce mémoire sous forme d'une revue littérature et d'un article a été approuvé par la direction du programme de M.Sc de HEC Montréal. Le consentement des coauteurs de l'article a également été obtenu avant la soumission de ce mémoire.

L'approbation du Comité d'Éthique de Recherche pour cette étude a été obtenue le 21 mai 2019.

L'article est actuellement en préparation pour être soumis à la revue « Computers and Education».

L'article a été ajouté au mémoire avec le consentement écrit des coauteurs

# Remerciements

A-t-on déjà vu ne serait-ce qu'une seule quête titanesque réalisée par un seul et unique être? Alexandre le Grand aurait-il conquis la moitié du monde tout seul? Probablement pas. Thésée aurait-il pu braver le labyrinthe du Minotaure sans l'aide d'Ariane? Probablement pas. Ulysse aurait-il pu survivre à son Odyssée sans son équipage? Probablement pas. Youness aurait-il pu terminer son mémoire sans aucune aide? Certainement pas. La route pour devenir maître est longue et laborieuse. Le simple mortel que je suis n'y serait sans doute point parvenu sans la précieuse aide de bon nombre de personnes que j'aimerais chaleureusement remercier dans cette section.

J'aimerais décerner la première mention d'honneur à tous ceux qui ont rendu cette étude possible et/ou qui y ont contribué d'une certaine manière. Je remercie tout d'abord l'équipe de la SAT pour avoir accueilli le projet en plus d'avoir fourni le matériel expérimental. Je remercie également les 141 personnes ayant participé en tant que sujets aux différents volets de cette étude. Je m'incline ensuite devant l'équipe du Tech3lab pour leur encadrement lors de cette épopée, notamment à Maylis pour sa contribution au projet Serdaigle. Tu étais une collègue remarquable! Je remercie ensuite Shang-Lin, empereur des statistiques, pour son aide inestimable lors de mon analyse ainsi que Brendan pour son soutien administratif. Et comment serait-il possible de ne pas mentionner mes deux directeurs de recherche Pierre-Majorique Léger et Patrick Charland? Pour votre soutien pour ce projet, je vous suis très reconnaissant.

Je me dois également de remercier tous ceux qui m'ont aidés indirectement pour ce mémoire. Notamment à mes parents qui m'ont encouragé et soutenu dans la poursuite de mes études. Je remercie chaleureusement tous mes amis et collègues qui m'ont soutenu lors de cette quête. Surtout ceux qui m'ont écouté lorsque je chialais à propos de mon mémoire! J'aimerais remercier plus particulièrement Thierry pour m'avoir motivé lors de la rédaction, Francis et Laurie pour vos conseils éclairés, Julien qui a maintenant perdu son pari, Nycolas pour ta confiance au mois de février, Joel pour m'avoir laissé travailler sous ton toit à de maintes reprises et Antoine pour ton enthousiasme contagieux. L'effet moral que vous m'avez tous apporté m'a énormément aidé à maintenir le cap sur le chemin de la grandeur. I love you everyone!!

# Mise en Contexte

Nul ne peut réfuter l'importance de l'éducation dans notre société. L'acquisition de savoir et la compréhension des phénomènes de notre monde améliorent nos vies quotidiennes, menant l'humanité vers le progrès et l'innovation (Kolb, 1984). La littérature suggère que l'éducation possède bon nombre d'effets positifs dans une société, notamment dans les sphères économiques et sociales. En effet, une analyse sur 27 états européens menée par Ioanescu et al. (2013) suggère que les investissements en éducation augmentent significativement la qualité de vie des habitants d'un état. En préparant les apprenants pour le marché du travail, l'éducation apporte des retours sur investissements en termes monétaires et non monétaires. De ce fait, cela augmente les indicateurs économiques comme le développement, la croissance et la valeur des employés (Fasih, 2008; Stiglitz et al., 2009). Il est également plus facile pour une personne éduquée de progresser économiquement et socialement. Des indicateurs comme la richesse personnelle et le standard de vie sont corrélés avec le niveau d'éducation (Pfeifer, 2007). Le niveau d'éducation est également corrélé avec le sentiment de bien-être, le statut social, la santé, la participation active dans la société (Oreopoulos, 2007) et des taux de mortalité plus faible (Mackenbach, 2006).

# Introduction du mémoire

Ce mémoire s'intéresse aux effets que les dômes immersifs peuvent susciter chez les apprenants lorsqu'on y ajoute des fonctionnalités interactives. Il semble qu'on connaisse très peu de choses au sujet de dômes munis de telles fonctionnalités et de leur rôle dans le processus d'apprentissage. Très peu d'études ont tenté d'ajouter de l'interactivité dans les dômes immersifs à des fins pédagogiques, et ce mémoire vient répondre à cette lacune (Goddart et al., 2010).

À travers une recherche expérimentale, nous avons étudié l'effet de l'interactivité en contexte d'immersion sur l'apprentissage et sur l'expérience des apprenants. Avec la collaboration de la Société des Arts Technologiques (SAT) de Montréal, nous avons comparé les effets associés à l'ajout d'interactivité dans un dôme immersif avec deux formats différents : collectif et individuel. Dans notre contexte collectif, les participants assistaient à une projection historique en groupe de 12 dans un grand dôme. Notre condition expérimentale était caractérisée par la présence d'une guide humaine avec laquelle il était possible pour les participants d'interagir. Dans notre contexte individuel, les participants regardaient la même projection tout seuls dans un plus petit dôme. Dans sa condition expérimentale, l'interactivité était opérationnalisée par une manette qui donnait à l'utilisateur le contrôle du rythme de la projection.

Pour mieux comprendre le phénomène d'apprentissage via des fonctionnalités interactives, ce mémoire mobilise le cadre théorique INTERACT suggéré par Domagk et al. (2010). Ce dernier conceptualise ce processus avec des dimensions interreliées qui influencent les résultats de l'apprentissage. On parle de dimensions telles que l'environnement de l'apprentissage, les émotions et la cognition. Nous avons donc mesuré les émotions des participants de manière explicite et implicite à l'aide d'outils psychophysiologiques qui captent l'activité cardiaque et électrodermale. Nous avons également mesuré la charge cognitive des sujets. De plus, pour les besoins de notre recherche, nous suggérons une nouvelle dimension au modèle de Domagk. Il s'agit de la dimension perceptuelle/attitudinale que l'on a opérationnalisée avec l'immersion perçue, l'attitude envers la technologie et l'utilité perçue. L'hypothèse principale de ce

mémoire est la présence d'une médiation entre l'interactivité, les variables de chaque dimension du modèle et l'apprentissage dans un contexte d'immersion.

# Chapitre 1 : Problématique

## 1.1 Les technologies en contexte pédagogique

Dans notre ère, on assiste au développement de nouvelles technologies et pratiques pédagogiques innovantes et de plus en plus efficaces. Ces dernières font l'objet de bon nombre de recherches et deviennent de plus en plus abordables et facilement intégrables à un cursus scolaire. Ces technologies sont conçues dans l'objectif d'améliorer l'apprentissage et l'expérience des apprenants (Wang, 2011). Ces dernières ont un réel potentiel éducatif (Alavi, 1994; Schutte, 1997) et peuvent engendrer des environnements d'apprentissage efficients que des méthodes dépourvues de technologies ne sauraient mettre en place (Hake, 1998). Il est à noter que la recherche sur les technologies en contexte d'apprentissage n'est pas une chose simple. On retrouve beaucoup de variables dans un design pédagogique (Balasubramanian et al., 2014) qui peuvent influencer le processus d'apprentissage (Hannafin, 2009). De ce fait, une technologie en elle-même n'impacte pas nécessairement l'apprentissage et ne permet pas de susciter à elle seule des résultats. Ce sont ses caractéristiques et la façon dont elle est implantée qui déterminent ses effets sur les apprenants. Pour ces raisons, il est difficile d'implanter correctement une technologie à des fins éducatives. Malgré le nombre considérable de ressources investies, il arrive très fréquemment que ces implantations échouent en raison d'une mauvaise exploitation des avantages de ces technologies, ce qui résulte en un contexte d'apprentissage inefficient (Oliver & Herrington, 2003).

En effet, lors de l'implantation d'une technologie dans un contexte éducatif, on retrouve deux principales sources de problèmes: ceux liés au processus de design et ceux liés à l'exécution du projet (Romiszowski, 2004). Des exemples de problèmes de design peuvent inclure des défaillances techniques, des soucis qui apparaissent lors de la croissance du système ou un matériel inadapté selon les besoins des professeurs

(Perraton, 2000). Les problèmes d'exécution de projet incluent souvent un manque de formation quant au fonctionnement du système ainsi qu'une gestion inadaptée par rapport aux objectifs d'apprentissage (Yates, 2002).

Ainsi, la recherche sur les technologies en contexte d'apprentissage est pertinente pour pouvoir identifier les meilleures pratiques. Cela permettrait de concevoir et implanter efficacement des designs pédagogiques qui sauraient utiliser adéquatement ces technologies et éviter les potentiels problèmes qu'elles engendrent (Romiszowski, 2004).

De plus, il est rare que les recherches dans ce domaine incluent des liens avec les émotions des participants (Pekrun et al., 2010). En effet, selon Domagk et al. (2010), il est dommage que les processus émotionnels soient peu étudiés dans un contexte pédagogique car elles ont un véritable effet sur l'apprentissage. En effet, selon Pekrun et al. (2010), les émotions des étudiants peuvent influencer leur motivation, leurs processus cognitifs, leurs stratégies d'apprentissage et leur performance. Ces auteurs suggèrent d'ailleurs qu'étudier les impacts des émotions positives et négatives sur l'apprentissage permet de mieux comprendre la réalité du phénomène. En plus de cela, le fait d'inclure une dimension hédonique dans les designs pédagogiques est considéré comme une réelle valeur ajoutée. Bloom & Hanych (2002) suggèrent que les apprenants qui apprécient leur expérience éducative développent une meilleure attitude envers la matière et ont de meilleurs résultats d'apprentissage. De ce fait, bon nombre de technologies sont en mesure de créer un contexte éducatif plaisant. On peut penser à des simulations par ordinateur comme ERPSim qui réussit à engager les étudiants dans leurs tâches d'apprentissage (Babin et al., 2011).

## 1.2 L'interactivité et l'apprentissage

Parmi toutes les technologies utilisées en contexte pédagogique, une d'entre elles s'est particulièrement distinguée. En effet, il s'agit de l'interactivité et son émergence a réussi à développer des systèmes nouveaux, ce qui a suscité beaucoup d'attention médiatique et académique (Jensen, 1998). Cela fait longtemps que des revues considèrent l'interactivité comme une fonctionnalité au centre de l'innovation. On peut penser au journal Newsweek, qui a discuté avec enthousiasme que l'interactivité allait

transformer nos habitudes de magasinage, nos façons de nous divertir et nos méthodes d'apprentissage (Jensen, 1998; Powell et al., 1993). Ces appareils sont par exemple des tablettes, des tableaux interactifs, des jeux vidéo, des simulations informatiques, etc. (Horn & al., 2009). Vu la grande demande en haute éducation et son potentiel éducatif, l'interactivité a suscité de nombreuses recherches dédiées à l'avancement de sa littérature (Evans & Rick, 2014).

En contexte TI, l'interactivité est une variable importante qui influence l'apprentissage et l'expérience de l'apprenant (Pallud, 2017). L'interactivité peut être liée au contrôle que peut exercer l'utilisateur sur les informations du système (Kiousis, 2002) et/ou à l'expérience vécue par l'apprenant (Wang, 2011). En effet, les technologies interactives peuvent permettre d'installer un environnement plaisant et adapté à des fins éducatives (Buckingham & Scanlon, 2002; Pallud, 2017).

### 1.2.1 Les technologies immersives et l'interactivité

Les technologies immersives sont de plus en plus intégrées dans le monde de l'éducation (Sumners et al., 2008) avec, ou non, des fonctionnalités interactives (Kovács et al., 2015). Les technologies immersives plongent les utilisateurs dans un environnement virtuel en exposant des stimuli visuel et sonore de haute qualité (Suh & Prophet, 2018). Ces technologies sont principalement constituées de réalité virtuelle et augmentée (Frank & Kapila, 2017), mais on retrouve également des dômes immersifs offrant une expérience en 360˚ (Lantz, 1997).

### 1.2.2 Les dômes immersifs

Les dômes immersifs sont des installations sphériques de plusieurs mètres de diamètre capables de projeter un environnement virtuel en haute définition (M. Davis & Chapel, 1997). Cette technologie représente une excellente opportunité de recherche car sa littérature est assez limitée et suggère des résultats mitigés quant à son potentiel éducatif. En effet, certaines études suggèrent que leur utilisation impacte significativement les résultats d'apprentissage (Jacobson et al., 2009; Yu, 2005) et bonifie l'expérience des apprenants (Serino et al., 2018). Cependant, d'autres études suggèrent des résultats opposés (Parong et al., 2018) causés en partie à cause des désagréments causés par la cybercinétose, un malaise engendré par une utilisation de

technologies immersives (Lampton et al., 1994). Ainsi, les dômes engendrent des résultats incertains sur l'apprentissage, ce qui fait que la présence de l'immersion n'est pas nécessairement suffisante pour garantir l'efficacité d'un design pédagogique.

Pour tenter de bonifier l'expérience pédagogique offerte par les dômes immersifs, une très récente pratique s'est mise en place avec l'idée d'inclure des fonctionnalités interactives dans cette technologie (Dingeldey et al., 2010). Les expériences immersives avec la possibilité d'interagir avec son contenu suscitent de plus en plus de curiosité (Goddart et al., 2016). Auparavant, très peu d'infrastructures avaient les ressources ou intérêt d'implanter ce type de fonctionnalités dans leurs designs et il n'y avait aucune méthode pour évaluer les effets de l'interactivité sur l'apprentissage en contexte d'immersion (Apostolellis & Daradoumis, 2010). De ce fait, il existe très peu de littérature sur ce sujet. En effet, la plupart des études sur les dômes s'intéressent uniquement aux impacts que causent les projections (Benko & Wilson, 2010) et non sur l'expérience causée par l'interactivité (Goddart et al., 2016). Ainsi, on retrouve très peu de discussions sur le potentiel que l'interactivité peut avoir sur une expérience immersive lors du processus de conception (Goddart et al., 2016). Des auteurs tels que Christopoulos et al. (2009) font appel à de futures recherches pour tester des expériences immersives dans des dômes avec diverses techniques d'interactivité pour des fins éducatives. En effet, il existe un bon nombre de possibilités pour permettre aux utilisateurs de dômes immersifs de contrôler son contenu, et Shaw & Lantz (1998) soutiennent que la recherche dans ce domaine peut jouer un rôle majeur dans le développement de cette technologie à des fins de divertissement et d'apprentissage.

## 1.3 Objectifs de l'étude et question de recherche

Ce mémoire vise à étudier les effets de l'interactivité sur l'apprentissage et de confirmer ou infirmer des liens de médiations avec les dimensions émotionnelles, cognitives et perceptuelle/attitudinale du modèle INTERACT. De ce fait, un des objectifs de cette étude serait de vérifier quelles dimensions sont significatives dans un contexte d'immersion et quelles sont leurs rôles et impacts sur l'apprentissage. Notre question de recherche est donc la suivante: À quel point l'interactivité influence

l'apprentissage dans un contexte d'immersion et quels sont les mécanismes qui médient cet effet ?

## 1.4 Contributions potentielles

Les contributions potentielles de cette étude seraient d'évaluer le rôle des dimensions issues du modèle de Domagk et al. (2010) sur l'apprentissage en contexte d'immersion. Comme mentionné plus tôt, les émotions sont rarement étudiées dans le domaine pédagogique, et cela est d'autant plus vrai pour les émotions mesurées de façon implicite. De plus, étant donné qu'on propose d'intégrer une nouvelle dimension dans son modèle, les résultats de cette étude pourront renforcer ce dernier si les résultats sont significatifs. Ce mémoire vise également à enrichir une littérature limitée concernant l'interactivité dans un contexte d'immersion afin de mieux comprendre les effets qu'elle apporte chez les apprenants.

Les résultats de cette recherche seront pertinents pour les designers pédagogiques. En ayant une meilleure compréhension des effets de nos variables sur l'apprentissage et en connaissant les meilleures pratiques identifiées par cette étude, ils pourront adapter leur cursus scolaire dans l'objectif de créer un environnement efficient. Ils seront également plus outillés quant à l'implantation de ces technologies dans un contexte pédagogique. Nos résultats seront également utiles pour les concepteurs et manufacturiers de dômes immersifs qui pourront savoir s'il est bénéfique pour eux d'ajouter des fonctionnalités interactives dans leurs produits afin d'enrichir l'expérience de l'utilisateur et les résultats d'apprentissage.

## 1.5 Informations sur les parties du mémoire

### 1.5.1 Revue Littérature

La première partie de ce mémoire est constitué par une revue littérature portant sur notre variable dépendante, l'interactivité. Elle est divisée en trois sections et son objectif est de comprendre le construit étudié et de quelle manière il impacte les résultats d'apprentissage et l'expérience de l'apprenant. La première section va

expliquer le concept de l'interactivité, offrir une définition et décrire le cadre théorique utilisé dans cette recherche. La deuxième section va mobiliser la littérature connue pour exposer les effets et l'interactivité sur l'apprentissage, et finalement, la troisième section va présenter les effets de l'interactivité sur les variables médiatrices suggérées par notre cadre théorique.

### 1.5.2 Article

Ce mémoire prend la forme d'un un article scientifique en préparation pour être soumis à la revue Computers & Education.

## 1.6 Contributions personnelles

**Tableau 1.** Contributions dans la réalisation du mémoire

| **Étape** | **Contribution et tâches effectuées** |
|---|---|
| Définition des requis | Définition de la question de recherche – 70%<br>● Les codirecteurs de recherche ont suggéré l'approche à adopter |
| Revue littérature | Identifier et prendre connaissance des recherches antérieures pertinentes à l'étude. Rédiger la revue littérature – 100%<br>● Les codirecteurs de recherche ont fourni leurs commentaires et suggestions tout au long de la rédaction |
| Stimuli | Planification et ajustements sur la projection présentée – 10%<br>● L'équipe de la Société des Arts Technologiques a adapté le projet Bretez pour les dômes immersifs selon les besoins de la recherche<br><br>Création de la narration utilisée lors des projections – 30%<br>● L'historienne de l'équipe a fait la recherche nécessaire pour la rédaction du texte narratif |
| Conception du design expérimental | Planification du design de recherches (déterminer les conditions) – 40%<br>● Réalisé avec la Société des Arts Technologiques et le Tech3lab<br><br>Création des formulaires nécessaires pour le CER et pour le financement accordé par MITACS – 45%<br>● Réalisé avec le personnel administratif du Tech3lab<br><br>Concevoir le protocole, le guide d'entrevue et les questionnaires – 65%<br>Préparation du lieu de collecte – 40% |

| | |
|---|---|
| | ● Réalisé avec l'équipe de la Société des Arts Technologiques<br>● Les dômes étaient fournis par la Société des Arts Technologiques, et le matériel expérimental était fourni par le Tech3lab<br>● Toutes ces étapes furent réalisées avec l'aide de la deuxième étudiante affiliée au projet Serdaigle |
| Recrutement | Rédiger le formulaire et l'annonce de recrutement – 75%<br>Gérer le recrutement des participants (Sollicitation, recrutement, gestion du calendrier de recherche) – 60%<br>● Toutes ces étapes furent réalisées avec l'aide de la deuxième étudiante affiliée au projet Serdaigle |
| Prétests et collecte | S'occuper des prétests et de la collecte de données – 50%<br>● Cette étape a été réalisée avec l'aide de la deuxième étudiante affiliée au projet Serdaigle |
| Extraction et transformation des données | Extraire, compiler et nettoyer les données provenant des questionnaires – 100%<br>Corriger les tests de connaissances – 30%<br>● Réalisé avec l'aide de l'historienne de l'équipe et de la deuxième étudiante affiliée au projet Serdaigle<br><br>Nettoyage des données physiologiques – 0%<br>● Réalisé par la deuxième étudiante affiliée au projet Serdaigle |
| Analyse des données | Analyse préliminaire – 65%<br>● Réalisé avec l'aide de la deuxième étudiante affiliée au projet Serdaigle<br><br>Analyse statistique : médiations et données physiologiques – 30%<br>● Aide considérable apportée par le statisticien du Tech3lab |
| Rédaction | Rédaction de l'article – 95%<br>● Un paragraphe sur les spécificités techniques a été apporté par l'équipe de la Société des Arts Technologique<br><br>Rédaction du mémoire – 100%<br>● Les codirecteurs de recherche ont fourni leurs commentaires et suggestions tout au long de la rédaction |

# Chapitre 2 : Revue Littérature

## 2.1 L'interactivité

L'interactivité, un concept étudié depuis fort longtemps, implique un contact entre deux entités. Au moment où un humain entreprend une action avec/envers un autre humain ou système, le concept de l'interactivité est applicable. Cela peut être une ou plusieurs actions physiques ou virtuelles posées par l'humain envers son environnement qui lui fournit, en retour, un certain type de rétroaction. Néanmoins, lorsque l'interaction se produit entre un humain et une technologie, le concept se précise au champ d'étude de l'interaction humain-machine (HCI). Cette discipline s'intéresse aux divers phénomènes et comportements que l'on peut observer lorsqu'un humain est confronté à l'utilisation d'un système interactif (Heeter, 2000). On peut retrouver de l'interactivité dans un contexte de HCI dans plusieurs types de médias comme des sites web, des logiciels, des applications mobiles, des systèmes d'information, des manuels scolaires en ligne (Coursaris & Sung, 2012; Heeter, 2000). De plus, des disciplines telles que la communication publicitaire, les arts, les technologies de l'information, le marketing et la psychologie de l'éducation utilisent aussi l'interactivité en contexte de HCI (Domagk et al. 2010).

Il est important de préciser que le concept de l'interactivité est difficile à définir. En effet, il est autant possible de considérer ce construit comme une variable indépendante caractérisant la technologie en elle-même (Forrest, 1996) qu'une variable dépendante expliquant la perception de ses utilisateurs lors de leur expérience avec un système (Wu, 1999). De plus, la pluridimensionnalité de l'interactivité peut en partie expliquer la difficulté qu'ont les chercheurs à définir ce concept comme mentionné dans le chapitre précédent. En effet, on peut retrouver plusieurs caractéristiques et sous-composantes au sein du construit, ce qui le rend complexe à étudier. Nous pouvons retrouver différents types d'interactivité en contexte d'apprentissage (Moreno & Mayer, 2007) et différentes catégories selon la nature du système et des tâches qu'il permet d'accomplir (Hoffman & Novak, 1996). Selon Liu et Shrum (2002), un système interactif peut également être mesuré selon son niveau d'intensité (e.g., par rapport au

degré de contrôle qu'il offre à son ordinateur). Cela s'opérationnalise via un continuum variant de très faible à très élevé (Rafaeli, 1988).

Pour ces raisons, il est difficile de faire des recherches rigoureuses sur l'interactivité, principalement car il est difficile d'isoler ses sous-catégories pour étudier leurs effets (Liu & Shrum, 2002). Il s'avère que la littérature sur l'interactivité est lourde et possède plusieurs failles et inconsistances, car les chercheurs de divers domaines ont tous leurs perspectives différentes et il existe très peu de consensus (Johnson et al., 2006; Kiousis, 2002). Un problème majeur est que plusieurs définitions existent et sont utilisées selon un contexte ou système spécifique. Par exemple, dans un contexte de technologie, l'interactivité se définit avec des des fonctionnalités alors que dans un contexte publicitaire, on la considère comme une méthode pour ajouter de la valeur dans le processus de communication (Johnson et al., 2006; Kiousis, 2002).

De ce fait, afin de mieux comprendre ce qu'est l'interactivité, il est nécessaire de sélectionner un modèle explicatif, complet, précis et surtout adapté pour le contexte de notre recherche. Ce dernier sera discuté dans la prochaine sous-section.

### 2.1.1 Définition de l'interactivité

Dans cette revue littérature, la définition théorique et opérationnelle de Kiousis (2002) sera utilisée pour expliquer la variable à l'étude. Cet auteur a fait une conceptualisation intégrée et appliqué de l'interactivité dans un contexte d'interaction humain-machine en illustrant les éléments principaux, pertinents et récurrents que l'on retrouve dans sa littérature. De ce fait, l'auteur suggère une nomenclature précise sur ses composantes. Ainsi, la définition de l'interactivité en contexte d'HCI selon le modèle de Kiousis (2002) est la suivante :

« Le degré auquel une technologie de la communication peut créer un environnement médiatisé dans lequel les participants peuvent communiquer dans le but de réciproquement échanger de l'information et/ou des messages, que ce soit de façon synchronisée ou désynchronisée. Pour les utilisateurs, cela réfère également à leur habilité de percevoir cette expérience comme une simulation de communication interpersonnelle et augmenter leur sentiment de présence. » (Kiousis, 2002, p.372).

Selon Kiousis (2002), on retrouve dans cette définition trois dimensions soit a) la structure du média et/ou de la technologie, b) le contexte/paramètres de la communication et finalement, c) la perception des utilisateurs. Toutes ces dimensions possèdent des sous-dimensions (voir Figure 1).

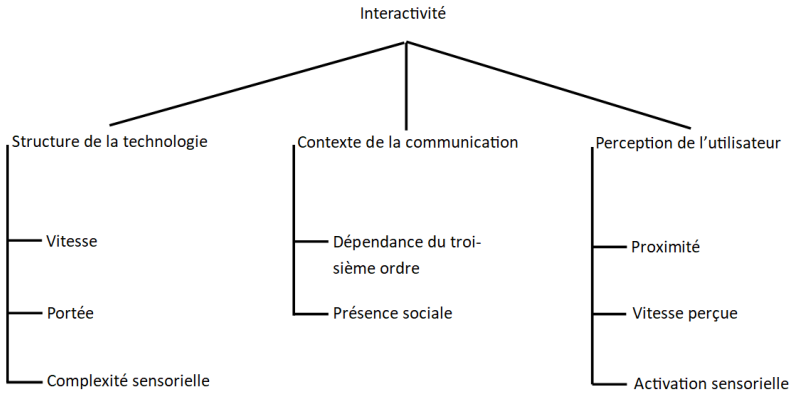



Figure 1 : Les dimensions et les sous-dimensions de l'interactivité. Source : Kiousis 1999

La première dimension de la définition de Kiousis (2002) est la structure de la technologie. Cette dimension traite principalement des caractéristiques techniques de la technologie. Elle est composée par trois sous-dimensions dont la vitesse du système, c'est-à-dire le temps que le système a besoin pour transmettre les informations et/ou les requêtes de ses utilisateurs (Durlak 1987; Downes & McMillan, 2000). Ensuite, par la portée du système qui est l'ensemble des possibilités d'action qu'une technologie interactive offre à son utilisateur (Durlak, 1987). Et finalement, par la complexité sensorielle, c'est-à-dire, la capacité de la technologie à activer un ou plusieurs des cinq sens (Kiousis, 2002).

La deuxième dimension décrite par Kiousis (2002) est le contexte de la communication qui aide à expliquer l'environnement du média et de préciser l'intensité et le type de l'interactivité. On y retrouve deux sous-dimensions : la dépendance du troisième ordre et la présence sociale. La première sous-dimension détermine la qualité de la rétroaction offerte par le système, c'est-à-dire, à quel point les messages fournis par ce dernier répondent aux requêtes formulées par les utilisateurs lors de l'interaction (Kiousis, 2002; Rafaeli, 1988). L'autre sous-mesure est la présence sociale qui caractérise la volonté des utilisateurs à manifester leur présence envers le système. Cela

s'effectue via leur fréquence et qualité de communication envers ce dernier (Kiousis, 2002).

La troisième dimension du modèle de Kiousis (2002) est la perception de l'utilisateur qui explique ce que les utilisateurs vivent d'un point de vue subjectif lors de leur interaction avec une certaine technologie. Elle est composée par quatre sous-dimensions : la proximité du système, la vitesse perçue, l'activation sensorielle et la téléprésence. Premièrement, la proximité du système se définit par le degré auquel les utilisateurs ressentent qu'ils sont engagés avec le système. Ensuite, la vitesse perçue se caractérise par le degré auquel les utilisateurs perçoivent que le système répond rapidement à leurs requêtes. Troisièmement, l'activation sensorielle réfère à ce que les utilisateurs perçoivent comme stimuli. Et finalement la téléprésence qui se définit comme la capacité de l'utilisateur à se sentir présent et connecté dans un environnement médiatique. Il est à noter que cette sous-dimension est complémentaire et ne s'applique que sur certains types de systèmes. (Kiousis, 2002).

En résumé, le concept de l'interactivité est opérationnalisé par trois dimensions qui sont toutes importantes pour définir le concept et qui sont interreliées. Elles permettent également de déterminer la nature et le niveau d'intensité de l'interactivité ainsi que d'expliquer cette variable d'un point de vue objectif et subjectif (Kiousis, 2002).

### 2.1.2 L'interactivité dans un contexte d'apprentissage

Pour expliquer et caractériser le rôle de l'interactivité dans un contexte d'apprentissage via une technologie, Domagk et al. (2010) proposent le modèle intégré de l'interactivité multimédia ''INTERACT''. Ce cadre théorique infère une relation réciproque entre l'apprenant et le système en prenant compte des variables pertinentes du processus d'apprentissage via des médias interactifs (e.g., les émotions et motivations des apprenants). Ces dernières jouent un rôle important dans l'apprentissage. On y retrouve au total six dimensions interdépendantes dans lequel l'interactivité est considérée comme la boucle qui lie ces éléments lors du processus (voir Figure 2). Le modèle INTERACT explique que les résultats d'apprentissage proviennent de variables telles que l'environnement, le comportement, les émotions/motivations et les stratégies de

cognition/métacognition de l'utilisateur. Ces variables sont elles-mêmes influencées par les caractéristiques de l'apprenant (Domagk & al, 2010). Une des forces de ce modèle est qu'il tient compte de la relation bidirectionnelle entre chacune de ces composantes. De plus, il contient la plupart des variables pertinentes pour décrire un processus d'apprentissage via un système interactif.

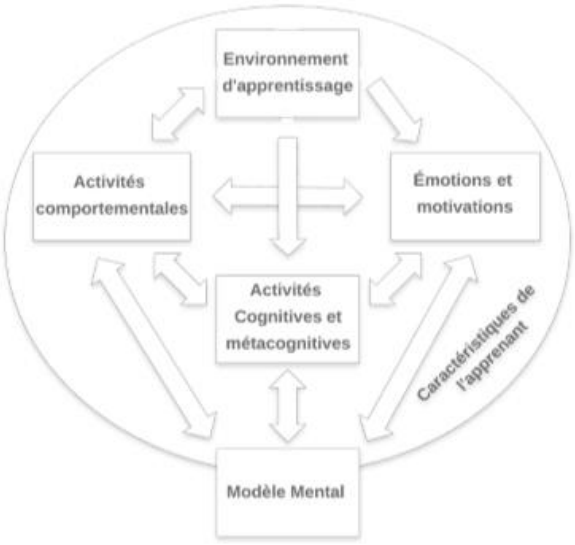



Figure 2 : Le modèle intégré de l'interactivité multimédia (INTERACT). Source : Domagk & al., 2010.

La première dimension du modèle est l'environnement de l'apprentissage qui représente le design pédagogique ainsi que les fonctionnalités et capacités du système (Kalyuga, 2007). Le design pédagogique peut inclure le type de technologie utilisé ainsi que le sujet, but, contenu et format du cours (Dictionnaire IGI Global, 2020a). Le design pédagogique comprend également les caractéristiques du système, c'est-à-dire, ce qu'il peut faire en terme technique et les opportunités d'interactivité qu'il offre à son utilisateur (Domagk et al., 2010). On peut penser par exemple à la rétroaction du système (Kalyuga, 2007), sa vitesse de réponse (Johnson et al., 2006) ainsi que les autres dimensions que l'on retrouvait dans la définition de l'interactivité suggérée par Kiousis (2002).

Ensuite, les activités comportementales réfèrent à la façon à laquelle l'apprenant interagit physiquement avec le système. La plupart du temps, cela se caractérise par des gestes que l'utilisateur fait pour contrôle le système, (e.g., cliquer sur un bouton, sélectionner des informations, utiliser le clavier etc.) (Domagk et al., 2010).

Les activités cognitives impliquent les processus mentaux que les utilisateurs mobilisent pour traiter et organiser les informations du système interactif (Domagk et al., 2010). Ces processus peuvent être de différentes approches et intensités. Par exemple, un traitement de surface est une stratégie différente à un traitement élaboré aboutissant à des résultats différents (Kennedy, 2004). Les processus cognitifs sont liés au rappel, à la compréhension, à l'analyse et à l'évaluation (Bloom et al., 1956). La métacognition régularise et contrôle ces processus. Elle réfère également à la connaissance de nos propres capacités cognitives et à la sélection de la stratégie de traitement que l'apprenant va employer (Vrugt & Oort, 2008).

La prochaine dimension s'intéresse aux émotions et motivations des apprenants. L'interactivité peut influencer ces dernières, qui influencent en retour les autres variables de ce modèle (Domagk et al, 2010). Cela inclus également les résultats d'apprentissage (Pekrun et al., 2002). Les émotions et motivations réfèrent à l'état qui est vécu par l'apprenant lors du processus d'apprentissage, ainsi que son affection envers le système (Domagk et al., 2010).

Ces trois dernières dimensions affectent et sont affectés par le modèle mental des participants qui est constitué par les résultats d'apprentissage comme le rappel, la compréhension, la performance, etc. De plus, chacune des dimensions de ce modèle sont influencées par les variables personnelles de l'apprenant telles que ses connaissances antérieures, son auto-efficacité, sa personnalité, etc. (Domagk & al, 2010).

Pour illustrer un exemple du processus d'apprentissage interactif basé sur le modèle INTERACT, on peut imaginer un utilisateur d'un système d'apprentissage donné (environnement) qui apprécie le contenu d'un cours (émotions) et souhaite le réussir (motivations). Il planifie une stratégie de traitement d'information (métacognition & cognition) et commence à interagir avec le système en sélectionnant des éléments pertinents en cliquant dessus (comportement). Tout cela est influencé par les variables de l'apprenant et mène à des résultats d'apprentissages qui vont avoir un impact à leur tour sur les autres dimensions, ce qui réinitialisera la boucle.

Le modèle INTERACT a été intégré et utilisé à plusieurs occasions dans la littérature. On peut, par exemple, penser aux travaux de Schwartz & Plass (2014) qui s'inspirent de la dimension comportementale du modèle pour étudier les différences entre deux types d'action offertes par un système (cliquer vs. glisser) sur l'apprentissage et la performance. L'étude de Song et al. (2014) a des objectifs similaires en plus de s'intéresser particulièrement à la relation entre les activités comportementales et cognitives. De plus, l'étude de Brom et al. (2015) mobilise ce modèle et la dimension de l'environnement d'apprentissage pour étudier la différence entre deux formats de jeux vidéos (individuel vs collectif) et leurs effets sur l'apprentissage tout en prenant en compte la dimension cognitive. Le modèle de Domagk a également inspiré Knörzer et al. (2016) à étudier les processus émotionnels dans un contexte d'apprentissage via les multimédias. Les travaux de Plass et al. (2015) se sont inspirés de INTERACT pour concevoir leur cadre théorique qui décrit le processus d'apprentissage via des jeux vidéos. Ils ont défini leurs variables via les dimensions de Domagk et ont même ajouté une dimension socioculturelle. Une autre recherche portant sur les jeux vidéos a été menée par Lucht & Heidig (2013) dans l'objectif était d'évaluer le potentiel d'un système d'apprentissage de langue seconde et d'étudier les processus comportementaux et cognitifs. De plus, les travaux de Huang et al. (2012) ont mobilisé les principes du modèle INTERACT pour concevoir et évaluer un système d'apprentissage via des livres électroniques. Cela leur a donné plusieurs indices quant aux décisions de design sur le format de leur système.

Ainsi, une activité éducative dotée d'interactivité apporte plusieurs bénéfices à ses utilisateurs. Néanmoins, le modèle de Domagk et al. (2010) nous apprend qu'un design pédagogique est composé de plusieurs éléments circonstanciels et que la modification d'une de ces modalités peut affecter tout le processus d'apprentissage. Ce cadre théorique suggère également des relations de médiation entre l'interactivité, les dimensions du modèle et l'apprentissage. Les prochaines sections de cette revue littérature vont s'intéresser particulièrement à la dimension émotionnelle et cognitive, ainsi que la dimension perceptuelle/attitudinale que nous avons ajoutée dans cette étude. Avant d'étudier ces relations de médiations, cette revue va tout d'abord exposer les effets de l'interactivité sur l'apprentissage dans la prochaine section.

## 2.2 L'interactivité et l'apprentissage

Les sciences de l'éducation constituent un vaste domaine qui comprend de nombreuses conceptions et définitions du concept de l'apprentissage. À des fins de simplification, nous avons choisi une définition synthétique, provenant d'un dictionnaire associé aux sciences de l'éducation. Pour Legendre (2005), l'apprentissage se définit de la façon suivante:

« Résultante d'un cheminement d'évolution chez un sujet et qui peut se traduire, entre autres, par l'acquisition de connaissances, le développement d'habiletés ou d'un savoir-faire, l'adoption de nouvelles attitudes, de nouvelles valeurs, de nouvelles orientations cognitives, de nouveaux intérêts, ou d'un savoir-être. » (Legendre, 2005, p.53)

### 2.2.1 L'interactivité et l'environnement d'apprentissage

Le premier bénéfice des systèmes interactifs est qu'ils ont, grâce à leurs fonctionnalités, la capacité d'installer un environnement propice et bénéfique à l'apprentissage. Dans certains cas, ces types d'environnements ne pourraient pas avoir lieu sans la technologie. Les méthodes de pédagogie traditionnelles présentent une marge de manœuvre limitée d'un point de vue technique et les technologies interactives peuvent contrer ces contraintes. En effet, les diverses fonctionnalités de tels systèmes permettent aux utilisateurs de, par exemple, travailler à leur propre rythme, sélectionner les messages souhaités et de suivre des chemins de navigation personnalisés. De ce fait, les systèmes interactifs aident les apprenants à traiter et filtrer les informations en leur donnant la possibilité d'écarter les éléments qu'ils jugent inutiles. Ils leur permettent également d'organiser les éléments pertinents, ce qui facilite le processus d'apprentissage (II & Talarzyk, 1993).. Les messages et la rétroaction offerte par ce type de système permettent aux apprenants de visualiser directement les conséquences de leurs actions (Cairncross & Mannion, 2001). Selon Bransford et al. (2000), l'interactivité donnerait l'opportunité aux étudiants de revisiter des parties spécifiques de l'environnement d'apprentissage et de les explorer en profondeur en plus de leur permettre de tester leurs idées et d'en recevoir une rétroaction appropriée. Ces mêmes auteurs affirment également que les environnements dépourvus d'interactivité sont

moins efficaces pour examiner le contenu pédagogique. De ce fait, il est donc possible de présenter l'interactivité comme un attribut qui améliore la qualité et l'efficacité du matériel pédagogique, ce qui peut faciliter l'apprentissage.

De plus, l'étude de Teo et al. (2003) suggère que l'interactivité impacte positivement l'efficacité et l'efficience d'un système, qui impactent à leur tour sa valeur perçue. L'efficacité d'un système est définie comme la capacité de permettre à l'utilisateur d'aboutir complètement à ses buts et avec précision. L'interactivité impacte cette variable en suscitant l'attention et la participation des utilisateurs en plus d'offrir une expérience bonifiée (Szuprowicz, 1995). Quant à elle, l'efficience d'un système désigne la facilité avec laquelle les utilisateurs peuvent réaliser leurs buts en termes de temps et d'effort (Teo et al., 2003).

### 2.2.2 Les effets de l'interactivité sur l'apprentissage

Tout d'abord, il est intéressant de noter qu'une étude menée par Johnson et al. (2006) suggère que les informations non verbales transmises par un système, une caractéristique clé de l'interactivité, impactent l'apprentissage. Cet effet peut être expliqué par la théorie du double codage de Paivio. Selon cette théorie, l'apprentissage se réalise mieux dans des conditions dans lesquelles les apprenants font face à deux types de stimuli : un visuel et un verbal. Par exemple, une image associée avec une information textuelle cohérente. Les deux stimuli vont être encodés indépendamment par deux sous-systèmes cognitifs distincts (Paivio, 1990). Cela résulte en un encodage de l'information plus efficace, car l'apprenant n'est pas forcé de diviser son attention entre les deux sources de contenu (Kalyuga, Chandler & Sweller 1999). Il serait ainsi plus difficile de traiter le même nombre d'information provenant d'une seule modalité à cause de la capacité limitée de la mémoire de chaque sous-système. Ainsi, un média présentant un contenu surchargé peut limiter l'apprentissage. Or, répartir l'information via ces types de sous-systèmes complémentaires peut atténuer ce problème (Mayer & Moreno, 2003). Il est important à noter que la théorie du double codage s'applique dans un contexte d'apprentissage utilisant des médias interactifs et est bénéfique pour les apprenants. En effet, une étude menée par Moreno & Valdez (2005) suggère que la

performance des sujets était plus élevée et leur charge cognitive moins élevée lorsqu'ils faisaient face à deux types de représentation (verbale avec non-verbale) par rapport à une seule. Ainsi, un système multimédia/interactif pouvant fournir ces deux types de représentations peut promouvoir l'apprentissage (Ritchie & Hoffman, 1997; Moreno & Valdez, 2005).

En plus de cela, la littérature suggère que le contrôle utilisateur, une des fonctionnalités principales de l'interactivité, est en mesure d'influencer le processus d'apprentissage et d'améliorer les performances des apprenants (Bruner, 1973; Lawless & Brown, 1997). En effet, le fait de manipuler l'environnement d'apprentissage facilite la construction d'un modèle mental adéquat et personnalisé (Bruner, 1973). On peut expliquer cet effet par la théorie des schémas qui argumente que les connaissances sont organisées et catégorisées par des structures mentales nommées ''schèmes''. Lorsqu'une nouvelle information y est présentée, elle est assimilée à un schème existant, et ce dernier se modifie et s'accommode afin d'intégrer cette nouvelle information. C'est en interagissant avec des informations qu'il est possible d'activer ce processus d'apprentissage (Lawless & Brown, 1997). Ainsi, le contrôle utilisateur permettrait un meilleur apprentissage (Gray, 1987) tout en réduisant le temps d'instruction (Lahey, 1976). Cette fonctionnalité augmente également l'efficacité des apprenants (Klayman, 1988) et induit un meilleur raisonnement et une meilleure compréhension des tâches à accomplir et des notions présentées (Kuhn & Ho, 1980; Cairncross & Mannion, 2001). Selon Kuhn & Ho (1980), lorsqu'on offre la possibilité du choix aux apprenants, ces derniers sont en mesure de développer plus facilement des schémas qui arrivent à prédire et comprendre plus facilement les informations à venir. Ces auteurs pensent également que les apprenants qui peuvent contrôler un système d'apprentissage peuvent plus facilement anticiper les résultats suivis de leurs actions.

De plus, un système permettant le contrôle utilisateur rend la conceptualisation et la contextualisation plus simple et intuitive pour l'apprenant en plus de l'engager activement dans sa tâche d'apprentissage et de promouvoir sa réflexion interne (Cairncross & Mannion,2001). Certains processus psychologiques comme le sentiment

d'être compétent, l'autodétermination et l'intérêt intrinsèque sont également affectés. Ces derniers possèdent tous une influence sur l'apprentissage et la performance (Lepper, 1985). Le contrôle utilisateur impacte également le sentiment d'efficacité personnelle qui est la croyance de l'apprenant à sa capacité d'accomplir une tâche. Cela est dû au fait que l'apprenant sélectionne et reçoit des informations qui correspondent à ses besoins personnels (Kleinmuntz and Schkade 1993). En effet, le contrôle utilisateur permet de personnaliser sa propre expérience d'apprentissage (Klayman, 1988), et il est théorisé que cette personnalisation contribue à un meilleur traitement de l'information (Craik & Lockart, 1972).

## 2.3 Variables médiatrices de l'interactivité

En plus de ses bénéfices pédagogiques, la présente revue littérature va expliquer les potentiels liens et impacts que l'interactivité peut avoir avec les dimensions suggérées par Domagk et al. (2010). Les variables utilisées pour mesurer la dimension émotionnelle sont la valence émotionnelle et l'activation émotionnelle. La charge cognitive est utilisée pour mesurer la dimension cognitive. Finalement, le sentiment d'immersion, l'attitude envers la technologie et l'utilité perçue mesurent la dimension perceptuelle/attitudinale. Les liens entre ces variables avec l'interactivité seront premièrement exposés. Et étant des susceptibles médiateurs, leurs liens avec l'apprentissage seront également discutés.

### 2.3.1 L'interactivité et la dimension émotionnelle

Les émotions sont considérées comme le système de motivation primaire pour expliquer le comportement (Izard, 1977) et sont primordiales pour une expérience bonifiée. En effet, le plaisir perçu par un utilisateur détermine grandement son appréciation du système et les guide dans l'atteinte de leurs buts et valeurs. Cette variable se base sur ce que l'utilisateur vis dans son interaction avec une technologie et à quel point son utilisation a une signification pour eux. (McNamara & Kirakowski, 2005). Comme mentionné, les émotions dans cette revue littérature sont mesurées par la valence et l'activation émotionnelle.

La valence émotionnelle se définit comme l'attraction ou la répulsion que vivent les utilisateurs vis-à-vis les stimuli (Dictionnaire IGI Global, 2020b). Il est possible de

représenter cette variable sur un continuum allant de plaisait à déplaisant et de la mesurer via des évaluations autorapportées (Geethanjali & al 2016). On retrouve dans la littérature plusieurs variables qui se rapprochent de la valence émotionnelle comme la sensation de plaisir et de divertissement.

Quant à l'activation émotionnelle, elle se réfère au degré d'intensité des émotions vécues par les utilisateurs (Boucsein, 2012). Cette variable est complémentaire à la valence émotionnelle et se mesure aussi par des évaluations autorapportées (Geethanjali & al, 2016). Il est également possible de l'évaluer grâce à des mesures psychophysiologiques. En effet, l'activation émotionnelle se caractérise par des changements dans l'activité physiologique comme le déclenchement des glandes sudoripares. Ces dernières sont responsables de la thermorégulation et provoquent le dégagement de la sueur. Ce phénomène généré par le système nerveux autonome se nomme l'activité électrodermale (EDA) et constitue un excellent indicateur à l'activation émotionnelle (Boucsein, 2012). La théorie de James-Lange suggère que les stimuli causent premièrement des réactions physiologiques comme le dégagement de la sueur qui provoquent et activent par la suite des émotions (James, 1890). En plus de l'EDA, l'activité cardiaque est une autre mesure psychophysiologique utilisée comme indicateur de l'activité émotionnelle. Il s'agit de la fréquence des battements cardiaque ainsi que leurs intervalles (Christopopoulos & al, 2019).

**L'interactivité et les émotions**

On retrouve dans la littérature plusieurs études qui suggèrent une relation entre l'interactivité et les émotions. Par exemple, l'étude de Soto-Sanfiel et al. (2011) suggère que l'interactivité peut impacter l'expérience émotionnelle des utilisateurs dans un contexte de visionnement de fiction audiovisuelle. Les participants de cette étude pouvaient visionner un film de façon linéaire ou de manière interactive leur permettant d'avoir le contrôle sur le déroulement de certains évènements. Les sujets de la condition interactive affirment avoir vécu de l'intérêt, de la surprise, de la culpabilité et de la peur avec une plus grande intensité que dans la condition non-interactive. De plus, les résultats de cette même étude suggèrent que le sentiment de divertissement est corrélé aux quatre émotions suscitées par l'interactivité et que le sentiment de plaisir

est corrélé à trois d'entre eux (intérêt, surprise, peur) (Soto-Sanfiel et al., 2011). La relation entre la présence d'interactivité et les émotions est également présente dansplusieurs autres contextes. Effectivement, l'étude de Fortin & Dholakia (2005) arrive à établir ce lien dans un contexte de publicité sur le web. Les participants de cette étude avaient tendance ($p=0,059$) à vivre une activation émotionnelle significativement plus élevée lorsqu'il y avait la présence d'interactivité. Les résultats de cette étude suggèrent également que l'interactivité affecte significativement l'engagement avec une petite taille d'effet. Dans un contexte d'utilisation d'applications mobiles, on retrouve également un lien positif et significatif ($B=0,59$, $p<0,001$) entre l'interactivité et la sensation de plaisir selon l'étude de Coursaris & Sung (2012).

Par ailleurs, en plus de cette relation, il est intéressant de noter que même les attributs techniques de l'interactivité comme la vitesse de la réponse du système ou sa prévisibilité arrivent à susciter de manière significative des émotions. En effet, une recherche menée par Lim et al. (2009) suggère que les utilisateurs de systèmes interactifs ressentent des émotions pour l'intégralité des attributs techniques de l'interactivité que l'on retrouve sur la figure 3.

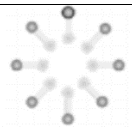
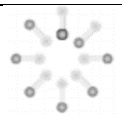
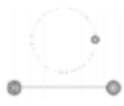
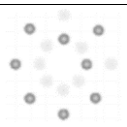
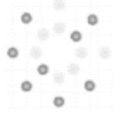
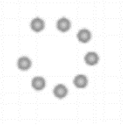
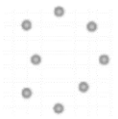
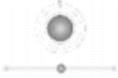
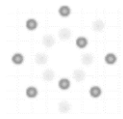
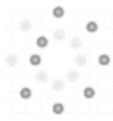
| **Attributs de l'interactivité** | **Exemples : chaque paire de prototypes représentent chaque attribut** | |
|---|---|---|
| **Simultanéité** (simultané-séquentiel) |  (Simultané) : Les cercles bougent simultanément |  (Séquentiel) : Les cercles bougent de façon séquentielle |
| **Continuité** (Continu-discret) | (Continu) : déplacement continu de côté en côté |  (Discret) : les boutons sont appuyés discrètement |
| **Prévisibilité** (Prévisible-Imprévisible) |  (Prévisible) : chaque cercle se déplacent vers l'endroit le plus proche |  (Imprévisible) : Les cercles se déplacent de manière aléatoire |
| **Étendue du mouvement** (Étroit-large) |  (Étroit) : Lorsqu'un curseur est près des cercles, ces derniers se déplacent dans une étendue étroite | (Large) : Lorsqu'un curseur est près des cercles, ces derniers se déplacent dans une étendue large |
| **Rapidité du mouvement** (rapide-lente) | (Rapide) : Lorsqu'un curseur est près des cercles, ces derniers se déplacent rapidement |  (Lent) : Lorsqu'un curseur est près des cercles, ces derniers se déplacent lentement |
| **Précision** (Précis-Imprécis) | (Précis) : un nombre montre la taille exacte du cercle |  (Imprécis) : il n'y a pas de nombre qui montrent la taille exacte du cercle |
| **Vitesse de la réponse** (Différé-Instantané) |  (Différé) : plusieurs clics sont nécessaires pour faire bouger les cercles |  (Instantané) : un seul clic est suffisant pour faire bouger les cercles |

Figure3 : Les attributs de l'interactivité. Source : Lim et al., 2009

De plus, les participants soutiennent avoir ressenti le sentiment d'avoir touché et manipulé des choses physiques et réelles. 24 sujets sur 106 prétendent avoir interagi

avec quelque chose de vivant, même s'ils manipulaient tout simplement une souris afin d'exécuter des actions simples (Lim et al, 2009). Un des attributs techniques les plus importants pour les émotions est le temps de réponse perçu par l'utilisateur. Un système possédant cette caractéristique va être évalué plus favorablement et cela va impacter positivement la satisfaction (Dellaert & Kahn, 1999). Les travaux d'Éthier et al. (2006) font un lien entre l'évaluation positive d'un système et son appréciation. Évaluer un système positivement est un bon indicateur d'une bonne expérience utilisateur et cela va réduire l'apparition d'émotions négatives comme la frustration.

Finalement, le fait de pouvoir interagir avec un système permet également d'influencer l'expérience émotionnelle physiologique des utilisateurs comme suggérés par les résultats de l'étude de (Wise & Reeves, 2007). En effet, le contrôle utilisateur offert par un système a suscité une plus grande activation émotionnelle chez les participants de la condition interactive. L'activité électrodermale de ces sujets était significativement plus élevée que chez les participants de la condition dépourvue de contrôle.

**Les émotions et l'apprentissage**

Il est à noter que la performance et la perception d'apprentissage peuvent être influencées par des processus émotionnels. Par exemple, la sensation de plaisir issu d'une expérience positive peut aboutir à une meilleure motivation intrinsèque, à une meilleure performance (Lin et al., 2008) ainsi qu'à la perception des étudiants d'en avoir appris davantage (Baumeister et al., 2015). Cet apprentissage se réalise, car les processus émotionnels activent des systèmes hormonaux et cérébraux permettant la mémoire à long terme (Cahill & McGaugh, 1998). La présence des émotions positives peut susciter davantage de réflexion critique ainsi qu'une meilleure organisation des connaissances (Pekrun et al. 2002).

De ce fait, les émotions peuvent être considérées comme de bons médiateurs pour l'apprentissage. L'étude de Pallud (2017) suggère cette médiation en proposant un modèle (voir Figure 4) dans lequel l'engagement cognitif est un médiateur significatif

entre l'interactivité et l'apprentissage perçu. Cette étude apporte également des évidences empiriques sur la capacité de l'interactivité à bonifier une expérience utilisateur et d'apprentissage.

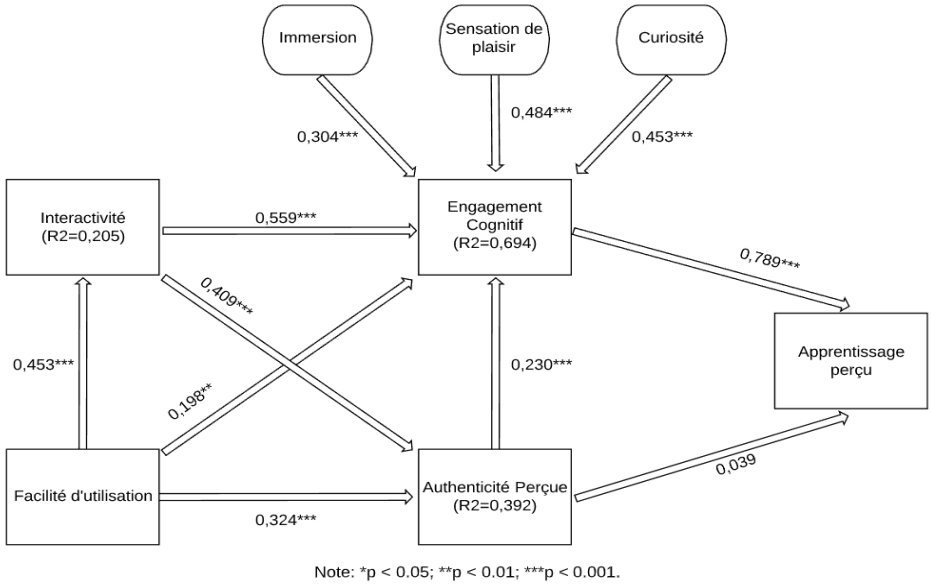



Figure 4 : Modèle sur l'interactivité et sa médiation avec les émotions. Source : Pallud, 2016.

Cette étude interprète l'engagement cognitif comme un état de participation profonde et une condition nécessaire à une expérience d'apprentissage positive. Elle est opérationnalisée par trois processus psychologiques ; l'immersion, la sensation de plaisir et la curiosité (Pallud, 2016). Ainsi, les résultats de cette étude suggèrent une médiation entre l'interactivité, l'engagement cognitif et l'apprentissage perçu. En effet, une corrélation forte et positive entre l'engagement cognitif et l'apprentissage perçu des sujets (B=0,789, p<0,001) a été suggérée et cette variable permet d'expliquer 69,4% des variations de l'apprentissage perçu. Il y a également une corrélation positive entre la présence d'interactivité et l'engagement cognitif (B=0,559, p<0,001). Finalement, le modèle de Pallud permet d'expliquer environ 59% des variations de l'apprentissage perçu dans un contexte de visite utilisant une technologie interactive dans un musée. Dans des contextes d'apprentissage informels comme les musées, les apprenants considèrent très souvent la notion d'apprentissage comme exploratoire et volontaire (Salmon, 2009). De ce fait, les processus psychologiques comme la curiosité, l'intérêt, la sensation de plaisir et la motivation sont très pertinents étant donné que l'objectif des apprenants est principalement hédonique (Falk & Dierking,

2016). En effet, l'étude de Hall & Bannon (2005) suggère que d'ajouter de l'interactivité dans un musée impacte significativement l'engagement, la participation active et la sensation de plaisir. La sensation de plaisir est un prédicteur significatif de l'apprentissage dans des contextes informels (Lin et al., 2008) et la curiosité influence positivement l'expérience d'une visite au musée (Falk & Dierking, 2016).

### 2.3.2 L'interactivité et la dimension cognitive

La dimension cognitive est mesurée via la charge cognitive des utilisateurs. Cette variable est un indicateur de la complexité d'un contenu et la quantité d'effort cognitif nécessaire à mobiliser par l'utilisateur afin de comprendre et/ou retenir une information. Plus une information est élaborée et inconnue, plus la charge cognitive pour la traiter sera élevée (Pollock et al., 2002). Cette variable est pertinente pour la recherche en éducation, car elle peut être influencée par le niveau et le format d'un système interactif ainsi que par le design pédagogique. En effet, il est possible qu'un contenu soit plus difficile à comprendre selon la manière dont il est présenté. Un des principaux objectifs de la pédagogie est de réduire le plus possible cette variable pour faciliter l'apprentissage ainsi que le traitement et l'encodage de l'information par la mémoire (Kalyuga et al., 2001).

#### Le rôle de la cognition sur l'apprentissage

L'interactivité est en mesure de modifier l'expérience cognitive des utilisateurs. L'étude de Sicilia et al. (2005) suggère que les individus dans la condition interactive traitent significativement un plus grand volume d'information, car ils ont développé plus de pensées envers le système. Cet effet est modéré par les individus avec une plus haute capacité cognitive. De plus, selon Hoffman & Novak (1996), la présence de l'interactivité impacte significativement l'intensité du flow, une variable caractérisant un état attentionnel élevé, ce qui suggère que les utilisateurs arrivent à avoir une meilleure concentration lorsqu'ils ont le contrôle sur le système. Cette variable est pertinente à prendre en considération, car elle peut affecter l'apprentissage (Nakamura & Csikszentmihalyi, 2014).

Pour aller plus loin, le contrôle utilisateur offert par un système interactif permet aux apprenants de traiter de façon efficace les informations offertes par un système en

échange d'une mobilisation de charge cognitive. Effectivement, il se peut que les utilisateurs aient à dépenser plus de ressources cognitives pour être capables de gérer et organiser toute cette information (Kleinmuntz & Schkade, 1993). Le simple fait d'avoir un contrôle implique qu'il faut être en mesure de comprendre, traiter et gérer cette information convenablement, ce qui est considéré comme une tâche secondaire. On dit alors que le système est à double tâche dans lequel il est nécessaire d'exécuter correctement la tâche secondaire pour être en mesure d'avancer la tâche primaire (Posner, 1986). Étant donné que les ressources cognitives sont limitées (Broadbent, 1971), il est raisonnable d'émettre l'hypothèse que des systèmes hautement interactifs causent une charge cognitive plus élevée à leurs utilisateurs. Cela peut causer une surcharge qui va impacter négativement la performance aux tâches ainsi que l'apprentissage (Bongard, 1995; Richardson et al. 1981).

Par conséquent, un système permettant le contrôle actif à ses utilisateurs avec des informations faciles à traiter aboutit en des efforts réduits pour accomplir les tâches avec la même performance (Cyr et al, 2009; Alba & Hutchinson, 1987). La littérature indique que le contrôle de l'information est bénéfique pour des systèmes interactifs simples. Mais pour des systèmes élaborés, les effets peuvent être néfastes pour des utilisateurs inexpérimentés, mais cet effet se dissipe avec le temps et l'habitude (Ariely, 2000). On peut prédire l'intensité de la charge cognitive mobilisée par le Modèle de la Probabilité d'Élaboration qui prétend que la capacité des utilisateurs à traiter l'information transmise par un média dépend du niveau l'élaboration de ce message, c'est-à-dire sa quantité et complexité (Petty et al, 1983). Ces effets ont été démontrés par une série d'expérimentations menées par Ariely (2000). En effet, dans un contexte d'utilisation d'un système interactif simple pour accomplir une tâche d'évaluation, les sujets de la condition interactive avaient une meilleure performance. Cela est dû à l'opportunité que les utilisateurs avaient pour choisir leur stratégie de recherche. De plus, une modération entre l'interactivité, une haute charge cognitive ainsi que la performance a été identifiée comme indiqué sur la figure 5 ci-dessous.

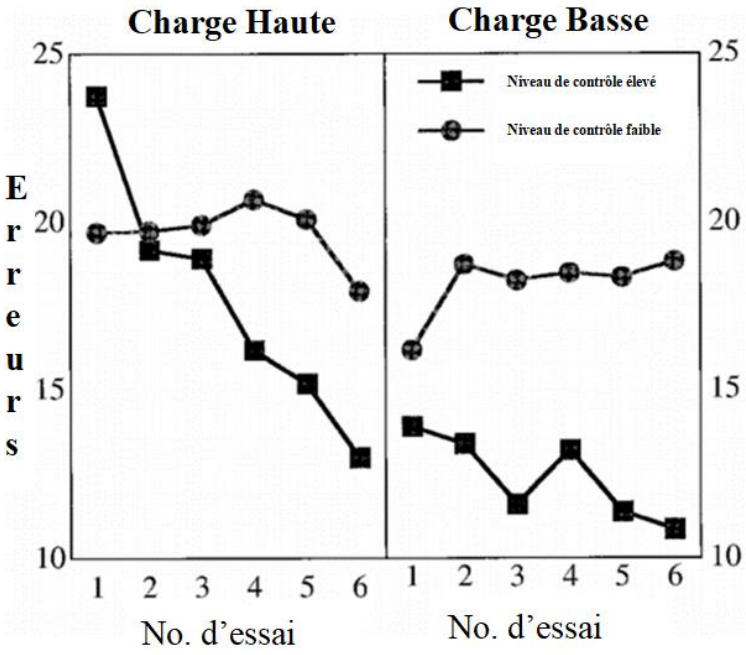



Figure 5 : Modération entre l'interactivité, la charge cognitive et la performance. Source : Ariely , 2000

On remarque, comme indiqué par la littérature, que dans un contexte de faible charge cognitive, le nombre d'erreurs est plus bas lorsqu'il y a présence de l'interactivité. Aussi, dans un contexte avec une haute charge cognitive, la présence de l'interactivité est néfaste à la performance, mais l'effet s'annule avec le nombre d'essais jusqu'à devenir beaucoup plus efficace que la condition non interactive qui reste relativement stable à travers le temps. Les résultats de l'étude d'Ariely (2000) suggèrent également que les participants de la condition interactive ont développé une meilleure appréciation de l'interface, avaient plus confiance en leur performance, ont acquis plus de connaissances et avaient une meilleure mémoire sur la structure et la composition du contenu.

### 2.3.3 L'interactivité et la dimension perceptuelle/attitudinale

La dernière dimension à l'étude est la perceptuelle/attitudinale. Elle est caractérisée par trois variables : l'immersion perçue, l'attitude envers la technologie ainsi que l'utilité perçue.

### L’immersion perçue

Cette variable a un grand rôle dans la présente étude, car elle représente le contexte de l’apprentissage et possède beaucoup de lien avec l’interactivité. Le sentiment de présence et de téléprésence sont des termes similaires au sentiment l’immersion qui implique l’impression vécue par l’utilisateur d’être présent dans un environnement. Lorsqu’un utilisateur est dans un environnement virtuel, il fait face à deux environnements simultanément : réel et médiatisé. Le sentiment de présence et d’immersion, dans un contexte d’HCI, réfère au degré auquel l’utilisateur se perçoit dans cet environnement médiatisé (Steuer, 1992). Il s’agit d’un phénomène d’externalisation dans lequel l’utilisateur arrive à percevoir et vivre des éléments sortants de la réalité immédiate (Loomis, 1992). Les éléments qui favorisent l’apparition du sentiment de présence et d’immersion sont les stimuli sensoriels diffusés par le média, l’attention soutenue de l’utilisateur, ses processus mentaux et perceptuels (Gibson, 1966), la difficulté de la tâche et le degré d’automatisation du système (Sheridan, 1992). Mais les deux dimensions technologiques principales qui contribuent au sentiment de présence et d’immersion sont l’interactivité et la vivacité d’un système (Steuer, 1992).

De plus, le concept de l’immersion est très rapproché de la notion du ‘’flow’’, qui se caractérise comme l’expérience optimale (Nakamura & Csikszentmihalyi, 2014). Ce construit est très pertinent pour décrire et évaluer l’efficacité d’une interaction humain-machine. Il s’agit de la sensation d’être totalement engagé et avec une grande concentration et attention sur une tâche. Cela implique, tout comme l’immersion, une perte de conscience de son environnement immédiat. Le niveau d’interactivité et d’immersion sont des variables qui déterminent l’intensité du flow (Nakamura & Csikszentmihalyi, 2014).

### L’interactivité, l’immersion et l’apprentissage

Comme suggéré par Steuer (1992), l’interactivité contribue énormément à l’apparition du sentiment d’immersion. Cet auteur considère que ces variables sont corrélées et similaires. Des preuves empiriques pour appuyer cette relation ont été suggérées par l’étude de Fortin & Dholakia (2005). Les résultats de cette étude suggèrent que

l'interactivité affecte significativement et avec une taille d'effet moyenne le sentiment de présence dans un contexte de publicité sur le web. De plus, l'étude de Pallud (2017) suggère également que l'interactivité impacte significativement et positivement le sentiment d'immersion.

En plus d'être impacté par l'interactivité, le sentiment d'immersion a également une relation avec l'apprentissage, confirmant une médiation entre ces trois variables. L'étude de Pallud (2017) suggère cette médiation, comme mentionnée dans la section portant sur les émotions. De plus, selon Cuny et al. (2015), l'immersion est liée au sentiment de divertissement ainsi qu'au désir d'apprendre. L'étude de Hoffman & Novak (1996) suggère également une relation entre l'immersion et l'apprentissage. Finalement, la variable jumelle de l'immersion, le flow, a également été démontrée comme prédicteur important de l'apprentissage (Csikszentmihalyi, 1975).

**L'attitude envers la technologie**

Un autre facteur qui peut être impacté par l'interactivité est l'attitude envers la technologie. Cette variable se définit comme les prédispositions de l'utilisateur à répondre d'une manière particulière aux stimuli spécifiques (Rosenberg, 1960). Dans un contexte d'HCI, ces stimuli sont issus du système. On distingue deux composantes majeures dans l'attitude, soit, la composante affective et la composante cognitive. La composante affective est formée par les sentiments engendrés par des pensées inconscientes par rapport à l'utilisation d'un système. Cela implique les effets émotionnels de satisfaction et de divertissement suscités par système (Ducoffe, 1996). Quant à la composante cognitive, elle est formée de pensées conscientes qui représentent les croyances et valeurs qu'un utilisateur développe à l'égard du système (Perloff, 1993).

L'attitude de l'utilisateur est une variable importante à prendre en considération, car elle est considérée comme un des prédicteurs les plus importants sur l'intention d'utiliser et adopter un système selon la théorie du Technology Acceptance Model (TAM). En effet, le succès d'implantation d'une nouvelle technologie dépend de la présence d'une attitude positive de la part des utilisateurs (Davis et al., 1989).

### L'interactivité, l'attitude envers la technologie et l'apprentissage

La littérature suggère que l'interactivité impacte l'attitude des utilisateurs. Premièrement, l'étude de Johnson et al. (2006) arrive à établir une telle relation dans un contexte de site web. Ses résultats suggèrent que l'interactivité a un effet positif et fort sur l'attitude envers le site web ($B=0,65$, $p < 0,01$). De plus, l'étude de Ko et al. (2005) a établi le même lien entre l'intention d'interaction et l'attitude envers son contenu ($B=0,39$). Le désir d'interaction est suscité par la motivation d'acquérir de l'information. Les sujets ayant envie d'en savoir plus sur un sujet ou par rapport à un contenu ont tendance à utiliser volontairement les ressources interactives d'un site web, ce qui impacte leur attitude envers ce dernier. Ce même lien en contexte de média a également été suggéré par les travaux de Cho & Leckenby (1999). Pour aller plus loin, une étude menée par Cui et al. (2010) isole plus précisément les sous-variables qui composent l'interactivité pour vérifier lesquelles peuvent influencer l'attitude de l'utilisateur envers un site web. Les résultats suggèrent que le contrôle perçu du système a bel et bien un impact positif et significatif sur l'attitude ($p<0,01$), tout comme la réciprocité perçue ($p<0,01$) et le temps de réponse additionné à la réactivité perçue du système ($p<0,05$). Il est important de noter qu'il existe une distinction entre l'interactivité réelle (objective) et perçue (subjective). Les travaux de Wu (1999) suggèrent qu'il existe un lien de médiation entre ces variables sur l'attitude envers un système. En effet, l'interactivité réelle a une tendance à impacter positivement l'attitude ($p=0,069$), cependant, l'interactivité perçue a un effet significatif sur l'attitude ($p<0,001$). Ainsi, un système interactif est en mesure d'affecter positivement l'expérience attitudinale de son utilisateur, principalement lorsque ce dernier possède des caractéristiques interactives perceptibles par ce dernier (Wu, 1999). De plus, une méta-analyse effectuée par le même auteur a compilé plusieurs études qui suggèrent un lien positif et significatif entre l'interactivité (perçue et réelle) et l'attitude des utilisateurs. Dans cette méta-analyse, on ne retrouve aucune étude qui infirme le lien entre l'interactivité perçue et l'attitude tandis qu'il existe certaines études qui aboutissent à des résultats non significatifs entre l'interactivité réelle et l'attitude. (Wu, 2005) Il est possible de consulter cette méta-analyse via la Figure 6.

| Étude | Relation avec les variables dépendantes | | | Conceptualisation | Opérationnalisation | Groupe |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $A_S$ | $A_M$ | IA | | | |
| Bezjian-Avery, Calder & Iacobucci (1998) | ns | n/r | - | Interactivité réelle | Manipulé expérimentalement | a |
| Coyle & Thorson (2001) | ns | n/a | n/r | Interactivité réelle | Manipulé expérimentalement | a |
| Haseman, Nuipolatoglu & Ramamurthy (2001) | + | n/a | n/a | Interactivité réelle | Manipulé expérimentalement | a |
| Macias (2003) | + | + | + | Interactivité réelle | Manipulé expérimentalement | a |
| Raney et al. (2003) | + | n/a | n/a | Interactivité réelle | Manipulé expérimentalement | a |
| Sundar, Kalyanaraman & Brown (2003) | na | + | n/a | Interactivité réelle | Manipulé expérimentalement | a |
| Fiore & Jin (2003) | + | n/a | n/a | Interactivité réelle | Manipulé expérimentalement | a |
| | | | | | | |
| Cho & Leckenby (1999) | + | + | + | Interactivité perçue | Mesuré avec une échelle de 5 items | b |
| Jee & Lee (2002) | + | n/a | ns | Interactivité perçue | Mesuré avec une échelle de 9 items | b |
| Hwang & Macmillan (2002) | + | n/a | n/a | Interactivité perçue | Mesuré avec une échelle de 18 items | b |
| Hwang & Macmillan (2003) | + | n/a | n/a | Interactivité perçue | Mesuré avec une échelle de 18 items | b |
| Schlosser (2003) | + | + | + | Interactivité perçue | Mesuré avec une échelle de 2 items | b |
| Wu (1999) | + | + | + | Interactivité perçue | Mesuré avec une échelle de 10 items | b |
| Yoo & Stout (2001) | + | + | + | Interactivité perçue | Mesuré avec une échelle de 5 items | b |
| | | | | | | |

Notes :
$A_S$ : Attitude envers le site web $A_M$ : Attitude envers la marque IA : Intention d'achat
+ : relation positive entre l'interactivité et la variable
- : relation négative entre l'interactivité et la variable
n/a : Non Applicable ou non inclus dans l'étude
n/r : Non Reporté, c'est-à-dire inclus dans l'étude mais non reporté
n/s : Non Significatif, c'est-à-dire qu'aucune différence n'a été trouvée dans l'étude

Figure 6 : Méta-analyse des effets de l'interactivité sur l'attitude. Source : Wu, 2005.

Tout comme les précédentes variables, l'attitude envers la technologie est un potentiel médiateur qui est en mesure d'affecter l'apprentissage. Par exemple, Webster & Hackley (1997) ont identifié que l'attitude envers la technologie est une variable qui devrait être incluse dans les recherches en tant que déterminant important des résultats d'apprentissage. Cretchley et al. (1999) suggère également que les attitudes devraient être considérées comme des résultats d'apprentissage car ce sont des mesures pertinentes pour évaluer la valeur pédagogique d'une technologie éducative. De plus, l'étude de Barkatsas et al. (2009) suggère que dans un contexte d'apprentissage des mathématiques via un système, les étudiants ayant une bonne attitude envers la technologie en question arrivent à aboutir à une meilleure performance. En effet, ses résultats suggèrent que les élèves ayant eu les meilleures notes sont ceux qui sont extrêmement confiants que l'utilisation de la technologie lors de leur apprentissage leur permet d'exceller dans le domaine. Finalement, selon le Technology Acceptance Model, l'attitude envers la technologie est une variable qui influence l'intention d'utiliser un système et l'utilisation réelle de ce dit système (Davis, 1989; Masrom, 2007).

**L'utilité perçue**

Notre dernière variable étudiée est l'utilité perçue. Dans un contexte d'HCI, Davis (1989) définit cette variable comme le degré auquel un utilisateur croit que l'utilisation d'un système particulier va améliorer sa performance. Cela implique le fait qu'un système puisse être utilisé de façon avantageuse par son utilisateur. Tout comme l'attitude, cette variable est incluse dans le modèle TAM pour prédire l'adoption d'un système (Davis et al, 1989) et a été identifiée pertinente pour mesurer les résultats d'apprentissage (Webster & Hackley, 1997).

**L'interactivité, l'utilité perçue et l'apprentissage**

L'utilité perçue est elle aussi une variable qui est affectée par la présence de l'interactivité dans un système. L'étude de Coursaris & Sung (2012) mentionnée précédemment démontre que les dimensions TI comme l'utilité perçue sont affectées par l'interactivité et qu'ils contribuent à une expérience utilisateur plus positive. En effet, les résultats suggèrent que l'interactivité dans un contexte d'application mobile a

un lien positif et significatif avec l'utilité perçue de l'utilisateur (B=0,38, p<0,001). On retrouve des résultats similaires dans un contexte de site web comme suggéré par l'étude de Teo et al. (2003). En effet, les sujets accordaient une plus grande utilité aux interfaces dotées d'interactivité en raison de l'efficacité et l'efficience perçue du site web. De plus, l'étude de Webster & Hackley (1997) suggère que les caractéristiques de l'interactivité peuvent impacter l'utilité perçue de la technologie utilisée.

En plus de cela, l'utilité perçue est une variable ayant le potentiel d'affecter l'apprentissage, ce qui peut suggérer un lien de médiation avec l'interactivité. En effet, Webster & Hackley considèrent cette variable comme un déterminant et prédicteur important de l'apprentissage dans un contexte d'éducation via un environnement médiatisé. Selon Liaw & Huang (2007), pour qu'un environnement d'apprentissage interactif soit efficace, il est important que les utilisateurs considèrent ses caractéristiques utiles. Cela les aide à retirer l'information pertinente et favorise les résultats d'apprentissage. Une étude menée par les mêmes auteurs (Liaw & Huang, 2013) suggère que l'utilité perçue d'un système impacte également l'autorégulation des apprenants par rapport aux tâches d'apprentissage (B=0,40, p<0.01). De plus, Alsabawy et al. (2016) prétend également que l'utilité perçue d'un système d'apprentissage est une variable importante qui arrive à prédire et augmenter le succès et l'efficacité de ce dernier. Dans cette étude, l'utilité perçue impacte significativement et positivement la productivité, la performance ainsi que la vitesse d'apprentissage. Finalement, Masrom (2007) a conduit une étude visant à tester le rôle sur apprentissage des variables TI issues du Technological Acceptance Model (TAM), introduit par Davis (1989). Ses résultats suggèrent que les dimensions perceptuelles et attitudinales telles que l'utilité perçue influencent positivement et significativement l'intention d'apprendre via un système.

# Chapitre 3: Article

## Riding through history: The effects of interactivity in learners' experience in a visually immersive display context

**Youness Salame, Maylis Merveilleux Du Vignaux, Patrick Charland, Emmanuel Durand, Nicolas Bouillot, Pierre-Majorique Léger, Mylène Pardoen**

**Abstract**

This research brought empirical evidence that implementing interactivity in an immersive dome can have benefits on learning and user experience. We tested our variables by manipulating the presence of interactivity. We had two different immersive learning experiences with historical content: an immersive dome movie vs. an interactive dome tour. Following the INTERACT model, our results suggest that in our individual context, the presence of interactivity influences some INTERACT's dimensions, namely cognitive load, attitude towards technology and perceived immersion, which in turn influence learning. Thus, the presence of interactivity in an immersive and individual context enhances learning outputs and user experience. Thereby, the INTERACT model can be partially applied in an immersive context and we propose the addition of a new dimension, the perceptual/attitudinal states. These results bring more clues about the optimal educational practices in an immersive context and can be interesting for pedagogical designers and immersive dome manufacturers.

## 3.1 Introduction

As time and innovation advance, new immersive technologies are emerging and being used more frequently in pedagogical contexts. Indeed, these technologies can create new learning environments in a way that traditional media, like a classroom, won't be able to do (Sumners et al., 2008). We estimate this industry's global spending to 12,1 billion US dollars in 2018 and the annual growth rate is forecasted at 69.6% for the next five years (International Data Corporation, 2018). An immersive technology gives a simulation of a possibly existing world, engaging them in a controlled virtual environment . High quality sensorial information is exposed, usually in 360◦, to simulate a virtual environment which causes the feeling of immersion (Suh & Prophet, 2018). These immersive technologies consist mostly of augmented and virtual reality (Frank & Kapila, 2017) such as classrooms recreated with a VR headset (Ke et al., 2016), 360◦ panoramas (Llinares et al., 2017) and AR-based educational mobile

applications (Pribeanu et al., 2017). It is important to notice that some of these immersive technologies can have interactive features (Kovács et al., 2015).

In this paper, we investigate the effects of an additionnal technology: the visually immersive displays, which usually look like a spherical dome screen as we can see in Figure 1. These installations can host hundreds of viewers and provide them an immersive experience in a 360◦ virtual environment (Davis & Chapel, 1997). Originally adapted for cinematic purposes, immersive domes can be used for different applications such as virtual simulations, art performances, and for pedagogical purposes which includes planetariums, immersive theatres and visualization centres that can be used as a classroom. Moreover, this technology is noticeably emerging as more immersive domes are conceived and built throughout the world (Lantz, 2007).

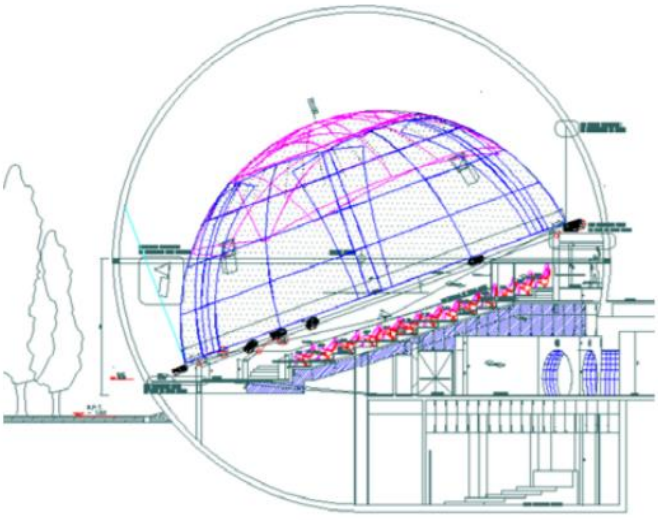


Figure 1: An example of an immersive dome. Source: Lantz, 2007

Our research contributes to the field through gathering of more empirical data, which, according to Shaw & Lantz (1998), can help considerably the development of this technology for entertainment and pedagogical purposes. Additionally, we provide an improved comprehension of the effect of immersion on learning, which is still a challenge given the mixed results observed when measuring the effects of immersive technologies on learning and user's experience (Serino et al., 2018; Parong et al., 2018). Indeed, some studies suggest that using a visually immersive display has significant impacts on learning outcomes (Jacobson et al., 2009; Yu, 2005). Other researchers

suggest that immersive technologies are a good way to improve learner experience by inducing a sense of presence and emotional pleasure (Serino et al., 2018; Chirico et al., 2017). However, some studies state opposite results for learning effectiveness (Parong et al., 2018) and on the user's experience (Lampton et al., 1994). Despite the educational potential of immersive technologies, we argue that the presence of immersion isn't enough to guarantee educational success and depends on other characteristics from the pedagogical design.

As such, we aim to study if adding interactivity in these technologies can modify and enhance their effects on learning and user's experience. Adding interactivity in immersive domes is a new research field and its literature is very limited (Goddard et al., 2016). Some authors such as Christopoulos et al. (2009) believe that there are a lot of research opportunities in this field that must be conducted to have a better understanding of this technology. We hypothesize that interactivity can enhance the immersive experience since there are studies that suggest the educational potential of interactivity (Schwan & Riempp, 2004), its hedonic value (Pallud, 2017) and its capacity to adapt a pedagogical design in a better learning environment (II & Talarzyk, 1993). This brings us to our two research questions: to which extent interactivity influences learning in an immersive context and which mechanisms mediates the effects of interactivity on learning in this same context? Specifically, we would like to investigate the roles and effects of emotional, cognitive and perceptual/attitudinal processes on learning in an immersive environment with interactive features.

## 3.2 Theoretical framework and literature Review

### 3.2.1 Theoretical framework

This research is based on the INTERACT model, a theoretical framework suggested by Domagk et al. (2010). This model explains how interactivity and learner's variables influence learning outcomes by affecting in the first place the learning environment, emotions/motivational processes, cognitive/metacognitive activity and behavioral activity. We can see a representation of this model in Figure 2.

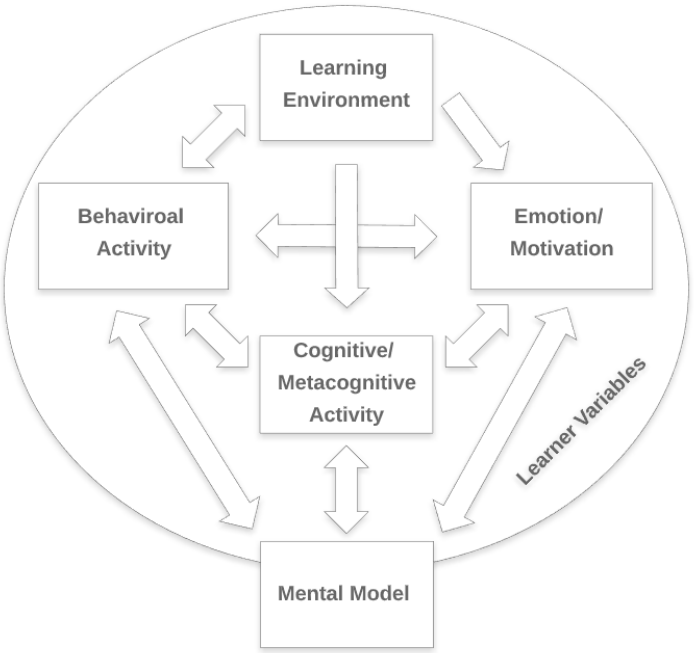



Figure 2: INTERACT's theoretical framework. Source: Domagk & al., 2010

Many studies used Domagk's framework to describe the effects of interactivity on learning, emotional, cognitive and behavioral processes. For instance, Song et al. (2014) investigated the potential of an interactive system and its impact on cognition and behavioral activity in a medical learning context. Lucht & Heidig (2013) also used the INTERACT model for a language learning context, they especially studied the behavioral dimension. Moreover, variables of Domagk's model have been used by Plass et al. (2014) to inspire their framework which explains the learning process through video games. These authors also argued that Domagk's model must contain a socio-cultural perspective. Buchtová et al. (2015) also used INTERACT in their study on pedagogical video games. Since the model suggests that its dimensions are linked, these authors decided to add more variables in addition to behavioral activity in their research.

In the INTERACT model, Domagk et al. (2010) argues that the learning environment is characterized by the instructional design and its characteristics. This environment is principally composed of the interactive system by itself and the affordances it provides to its users. We can think about it's features such as the degree and type of learner control. In other terms, what the user can do with the system. For example, depending

on the nature of the system, users can move forward, backward, pausing, organizing information, etc. (Domagk et al., 2010). It also includes other characteristics like how the system replies to the learner's responses or requests which is, in technical terms, the nature of the feedback provided by the system (Kalyuga, 2007). In addition to this characteristic, the speed of its response is also part of the learning environment (Domagk et al., 2010).

The behavioral activity of this model refers to the concrete actions made by the learners while they're interacting with the system. It's the physical behavior such as clicking on a mouse or pressing a button.

On the other side, the emotional/motivational dimension refers to what the learner feels during a learning experience and how much he desires to start or continue a task (Domagk et al., 2010). It has been suggested by Keller (2020) that interactive features such as user control can affect these variables. This dimension is relevant because emotions aren't taken into consideration in many pedagogical research even though they can mediate information processing (Bless et al., 1996) and learning outcomes (Pekrun et al., 2010). Moreover, research conducted by Moreno & Mayer (2007) suggests that motivational factors can mediate as well learning outcomes by affecting information processing and memory.

The last interdependent variable of this model is the cognitive and metacognitive activity of the learner. In the utilization of an interactive system, Kennedy (2004) explains that cognitive activity is the mental operations and processes that the user must deploy in order to organize the information in a coherent structure. The metacognitive processes refer to the regulation of the cognitive activity, more precisely, the choice to use a specific learning strategy. The INTERACT model suggests that the cognitive and metacognitive processes can predict learning outcomes and disrupt the user's mental models (Domagk et al., 2010). Moreover, a good mobilization of the cognitive activity can lead to a deeper understanding and a better information integration (Vrugt & Oort, 2008).

Furthermore, based on Domagk's INTERACT model, every dimension is affected by the user's personal variables, which makes each learning process unique. The main one

is the prior knowledge of the learner. It has been suggested that this variable is a strong predictor for learning outcomes (Kalyuga, 2007). Emotional, behavioral and cognitive processes will be different for someone with a lot of knowledge in comparison to a beginner. Other learner's variables can include demographic and psychological characteristics (Domagk et al., 2010).

Finally, every previous dimension of this theoretical framework is affecting the learner's mental models, which are considered as the learning outcomes (Domagk et al., 2010). Scheme theory as explained by Lawless & Brown (1997) suggests that knowledge is organized by mental structures named "schemes". When a new information is presented to a learner, it's assimilated to an existing scheme. Then, this scheme will accommodate to integrate this new knowledge. Learners must interact with pedagogical material in order to activate this learning process (Lawless & Brown, 1997). As mentioned before, learner's characteristics play an important role in the interactive learning process. A learner without prior knowledge doesn't have an existing mental structure, so he must construct a new one, which can affect other dimensions of the model, especially cognitive processes (Domagk et al., 2010). The creation or modification of a scheme is considered as a knowledge gain and a learning outcome which can include recall, comprehension and performance. Moreover, the modifications of the user's mental models are closing the loop by affecting in return following emotional, cognitive and behavioral processes. As a user acquires new knowledge during the learning process, he or she will behave, feel and think differently (Domagk et al., 2010).

For our research purposes, we will use the emotional and cognitive dimensions of its model, and we will add perceptual and attitudinal variables. We posit that these variables are missing in the original model and can complete this framework so we will test them empirically.

### 3.2.2 Hypothesis Development

Interactivity is a multidimensional construct which can be defined in many ways (Liu & Shrum, 2002). Because of the existence of these several conceptions, we chose a

definition of interactivity applicable to the human-computer interaction field suggested by Kiousis (2002). Thus, interactivity is defined as "the degree to which a communication technology can create a mediated environment in which participants can communicate, both synchronously and asynchronously, and participate in reciprocal message exchanges. With regard to human users, it additionally refers to their ability to perceive the experience as a simulation of interpersonal communication and increase their awareness of telepresence." (Kiousis, 2002, p.372)

Several articles suggest a direct link between interactivity and learning, which can confirm a possibility of a direct mediation. Indeed, the first benefit of interactive technologies comes from their ability to install a learning environment adapted to the user's needs that cannot be achieved with traditional techniques. Features of such technologies like user control gives them the opportunity to organize the information at their will and advance at their own pace, which facilitate the learning process (II & Talarzyk, 1993). In addition, an interactive system can engage actively the learner in his learning task and enhance his internal reflexion (Cairncross & Mannion, 2001). To go further, literature suggests that user control can influence psychological processes such as self-determination and self-efficacy in a learning context (Lepper, 1985). These variables are similar to what we conceptualize as perceived learning, which is the belief of learners that they acquire new knowledge. As a matter of fact, learners that are more confident about their capacities usually think they have more chances to succeed and will perform better than those who think they will fail. This variable can also modify learning experience by influencing the motivation, the choices, goals and emotional reactions (Gist & Mitchell, 1992).

Moreover, our first studied dimension who's affected by interactivity is the emotional state. Emotional states are measured with implicit and explicit arousal and emotional valence. First, interactive systems have the potential to affect emotions (Izard, 1977) which is a deterministic condition for a good experience (McNamara & Kirakowski, 2005). Effectively, a study by Soto-Sanfiel et al. (2011) suggests that interactivity in the context on the viewing of audiovisual fictions can enhance the arousal of experienced emotions and the feeling of entertainment. A study made by Fortin & Dholakia (2005) also suggests that interactivity is positively related to a higher arousal

with a medium size effect and user engagement in the context of web advertisements. Furthermore, interactivity and emotional pleasure are positively and significantly related as suggested by (Coursaris & Sung, 2012). Even interactivity's technical functionalities can stimulate emotions according to Lim et al. (2009).

It is important to note that emotional valence has the potential to enhance learning, especially in a hedonic learning context (Falk, 1992). Indeed, experiencing pleasure during learning can enhance motivation which can affect performance (Lin et al., 2008) and perceived learning (Baumeister et al., 2015). This is due to emotions instigating hormonal and cerebral systems that activate long-term memory processes (Cahill & McGaugh, 1998). Another research made by Pekrun et al. (2010) suggests that emotions can influence student's motivation, learning strategies and performance. Indeed, these authors state that students can feel a lot of different emotions during the learning process, and the valence of these emotions (positive vs negative) will affect this process differently. The role of the emotions is to identify and to prepare the learner for the important events. They direct the attention of the learner towards the elements that create positive emotions. Thereby, experiencing a positive emotion such as excitement during a class will enhance student's motivation and concentration towards the course material compared to a negative emotion (Pekrun et al., 2010).

Accordingly, these studies show a potential mediation between interactivity, emotions and learning. Empirical evidence for this relation was suggested by Pallud (2017) in an immersive context. Indeed, his results suggest a positive relation between the presence of interactivity and enjoyment and between enjoyment and perceived learning.

Hence, we hypothesize the following:

H1: In an immersive context, the emotional state of the learner mediates the effect of interactivity on learning.

Our second studied dimension is the cognitive state, measured by the cognitive load. It is an indicator of the complexity of content and the quantity of cognitive effort the user must deploy in order to understand and to encode information. Indeed, more cognitive load is needed for complex information, which adds difficulty to the learning process

(Pollock et al., 2002) while a low cognitive load makes learning easier for students (Kalyuga et al., 2001).

Literature suggests that interactivity in a system can modify the cognitive experience of its users which can affect learning processes (Ariely, 2000). A system can provide to their users the opportunity to control the information which changes the quantity of mental efforts users must deploy (Kleinmuntz & Schkade, 1993). Indeed, an interactive system that's easy and simple to use will lead to reduced cognitive efforts for the same performance (Alba & Hutchinson, 1987). However, this phenomenon can have diminishing effects if the interactive system is too hard to manipulate. Effectively, due to the limited capacity of cognitive resources (Broadbent, 1971) an elaborate system can cause cognitive overload which will affect users' performance and learning (Jarodzka et al., 2010). Moreover, a study made by Ariely (2000) suggests that using an interactive system with a low cognitive load enhances significantly the performance. Subjects of this experiment also experienced a higher confidence in their performance and developed a better memory on the exposed content. In our experimental conditions, we believe that our interactive system is simple enough to avoid diminishing effects since it has only one functionality (start/stop). Hence, we hypothesize the following:

H2: In an immersive context, the cognitive state of the learner mediates the effect of interactivity on learning performance.

Finally, our last studied dimension is the perceptual/attitudinal state, firstly operationalized with attitude towards technology. This variable is defined as the user's predispositions to react in a specific way to specific stimuli (Rosenberg, 1960). Literature suggests that interactivity in several contexts can significantly influence user attitude. For instance, in a website context, the presence of interactivity has a strong, positive and significant effect on attitude as suggested by the results of Johnson et al. (2006). Results of Wu (2005) suggest that an interactive system can modify the attitudinal experience of its user since he found a significant relation between interactivity and attitude. Furthermore, a meta-analysis conducted by the same author (2005) demonstrates that there are a lot of studies in the literature that suggests a relation between interactivity and attitude. Finally, according to Webster & Hackley

(1997), attitude towards technology have the potential to enhance learning outcomes and should be considered as a determinant of learning. Cretchley et al. (1999) also suggest that attitude is a good variable to evaluate a pedagogical design's value. Moreover, based on Barkatsas et al. (2009) findings, students with a better attitude towards educational technology tend to perform better at school than those who do not.

The second variable in the perceptual/attitudinal state is the perceived usefulness. This variable is defined as the degree to which users think that using a specific system will enhance their performance (Davis, 1989). Literature suggests a significant and positive relation with interactivity. For instance, a study led by Coursaris & Sung (2012) suggests that interactivity can significantly impact perceived usefulness in a mobile context. Teo et al. (2003) suggest the same relation in a web-site context. These authors hypothesized that the increase of the perceived usefulness is due to the system's efficacy and efficiency. Webster & Hackley (1997) suggest that perceived usefulness is also a variable that has the potential to enhance learning outcomes. Moreover, according to Davis (1989), a user that perceives a system as useful will tend to use it in a more advantageous way. Liaw & Huang (2013) suggests that perceived usefulness is an important variable because it increases the ability of users to find relevant information and enhances learning outcomes.

The third variable of the perceptual/attitudinal state is the perceived immersion, defined as the user's perception to be present and connected in a virtual environment and consider it as a reality (Steuer, 1992). Immersion and interactivity are two closely related concepts according to several researchers and journalists because they have a lot of common elements in their applications such as the presence of a rich media or environment (Bouko, 2014). Steuer (1992) suggested that interactivity is highly correlated with immersion. Indeed, one of the technical conditions that contribute to a higher perceived immersion is the presence of interactivity (Steuer, 1992).

Another study made by Fortin & Dholakia (2005) confirms this link in a web-advertisement context. Indeed, the feeling of immersion was significantly and positively affected by the presence of interactivity. Moreover, in an augmented reality

context, the results of a study conducted by Yim et al. (2017) also suggest that a media with interactive features influences significantly consumer's feeling of immersion.

Furthermore, immersion is linked to the desire to learn (Lambropoulos & Mystakidis, 2012). Empirical evidence has been brought by Hoffman & Novak (1996) suggesting that immersion has an impact on learning. Serino et al. (2018) also suggest that the feeling of immersion has a positive effect on the episodic memory. Finally, research conducted by Pallud (2017) suggests that there is a significant mediation between interactivity, immersion and perceived learning. These results can be explained by the richness media theory explaining that the more a media is considered rich and interactive by his users, the more he will tend to be actively engaged in the experience (Webster & Hackley, 1997). Thereby, we hypothesize the following;

H3: In an immersive context, the perception and attitudes of the learner mediates the effect of interactivity on learning performance

Based on these 3 hypotheses, our research model can be consulted in Figure 3.

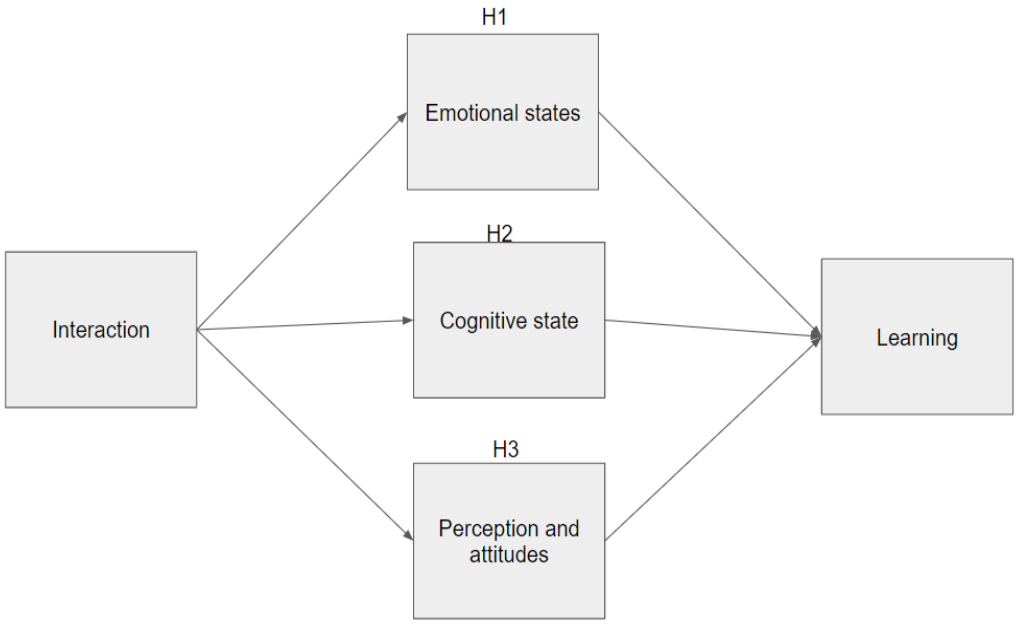



Figure 3: Research Model.

## 3.3 Methodology

### 3.3.1 Research Design

In this research, we investigate the effects of interactivity in two different pedagogical designs. Each design took place in a different dome and context and had their own control and experimental condition. In the control groups, participants had to watch the projection in a linear format, like a movie while in experimental conditions, interactivity was added so participants had more control on the projection. In the first pedagogical design (figure 4.), subjects had to watch the projection in a grouped context in the bigger dome and interactivity was operationalized with the presence of a human guide that has control on the projection. It was possible for participants to interact with her and make requests. We had 3 groups of 12 people for our control condition and 3 groups divided in a total of 32 people because of absentees for our experimental condition.

In the second pedagogical design, subjects had to watch the same projection in an individual context and in a smaller dome. Interactivity was operationalized with a controller that we gave to participants so they can manipulate the pace of the projection. 19 participants were recruited for the control condition and 15 for the experimental condition.

| **Pedagogical Design** | **Control groups** | **Interactive groups** |
|---|---|---|
| Grouped – Big Dome | 3 groups, n=36 | 3 groups, n=32 |
| Individual – Small dome | n=19 | n=15 |

Figure 4: Research Design.

### 3.3.2 Participants

The participants of this study were 102 voluntary individuals who were recruited to live an immersive experience. The recruitment took place on social media and with our institutional panel

of participants for scientific research. In order to participate in the experiment, the subjects needed to be at least 18 years old, not suffer from epilepsy,

not have any skin allergies or sensitivities, not have any diagnosed health problem, they must not need a pacemaker and they had to sign a consent form. The participants were compensated with the chance of winning a pair of tickets for an immersive projection at the SAT with a value of approximately $60 CAD. This research received a certification from our institutional ethics review board (Project #2020-3464). The sample was composed of 55 women, 45 men and 2 that preferred not to answer. Most of them were between 18 and 34 years old (53 participants were between 18 and 24 years old and 35 participants were between 25 and 34 years old) and most of them were students and/or full-time workers that completed an undergraduate degree at university. Also, most of them already been in the city of Paris, already tried immersive technology but never been to the dome of the Society of Arts and Technology.

### 3.3.3 Experimental stimuli

The experiment took place in two immersive domes located and developed at the Society for Arts & Technology [SAT] in Montreal. The first dome used for the grouped context is 18 metres wide at the horizon. It covers a 210° field of view with a maximum resolution of 4096x4096 pixels projected by eight 1920x1080 video-projectors, mostly hidden behind the projection screen. Sound-wise this dome features 157 speakers spanned behind the screen and controlled by clusters, for a total of 31 audio channels. The second and smaller dome used for the individual context is 3 metres wide at the horizon. It covers a 230° field of view. Its maximum displayable resolution of 3072x3072 is projected by four 1920x1080 video-projectors. The audio part consists of 24 speakers located around the projection surface, controlled individually.

We projected in these immersive environments a 3D historical modelization of a neighbourhood in the city of Paris before the French Revolution at the end of the 18th century as we can visualize in Figure 5. This model came from the Bretez Project (Puget et al., 2019) which studies the sensorialities (hearing, smell, etc.) from the point of view of people from the past. Its goal is to accurately reproduce the historical soundscape of the modern period. The format of this projection was a virtual guided

city tour that lasted approximately 8 minutes. Our history specialist wrote and registered a narrative speech, this was added along the projection in order to match with the tour. It aims to give more details and information about the historical context, and to give the impression of a guided tour.

Figure 5 :A reconstitution of a Parisian neighbourhood in the 18th century – Bretez Project

In the experimental condition in the grouped context, there was a human guide who had the control of the map with a virtual reality controller device, namely the HTC Vive controller. The guide could move freely around the virtual city, but the same path as the control condition was taken.

For the experimental condition in the individual context, the participants also used the HTC Vive controller but with simplified controls. Compared to the grouped context, this controller allowed the participants to only advance the flow of the projection like a play button. With that functionality, it was possible to stop and look around specific spots as long as the participants wanted to. However, the projection was taking the same path as the different conditions and the parts of the narration was starting to play automatically when the subjects reached specific points in the tour. Participants were asked to stop moving during the narrative moments.

### 3.3.4 Instruments & Apparatus

We used psychophysiological tools to measure the implicit arousal (EDA and ECG) of participants with a portable device for technical reasons. It was necessary because the participants were moving during the projections and weren't in front of a computer. We measured these physiological activities with a BITalino (r)evolution Freestyle Kit (PLUX wireless biosignals S.A) (Batista et al., 2019) that was placed in a 3D-printed box for more convenience. This device was placed on the belt of our measured subjects. There were two sensors for the EDA that were placed on the palm of the non-dominant hand and three sensors for the ECG where two of them were placed below each clavicle and the last one on the left rib (See Figure 6). In the individual conditions, everyone was measured by this tool (100% of all participants), however, in the collective conditions, only 3 participants per group were measured (26% of all participants). These participants were selected randomly before the beginning of the experiment. A physiological baseline of 60 seconds was accomplished before the start of the projections in order to compare the state of the subjects in a relaxed state versus their state during the experiment (Braithwaite et al., 2013). We filmed an overview of the dome during the projections with a Canon Rebel T7i camera for the collective conditions and with a GoPro 4 for the individual conditions.

Figure 6: The BITalino device.

In order to synchronize each step of the experiment with our EDA & ECG recordings and to keep track of our data, we used a synchronization technique developed by Léger et al. (2019). A sync box was manually sending Bluetooth Low Energy (BLE) signals to the BITalino device and to the light boxes placed in the dome. The signals were counting numbers starting from one that were displayed in the light boxes and filmed by the camera. The same numbers were also recorded on the EDA & ECG raw data file.

### 3.3.5 Procedure

After greeting the participants, the research team gave them instructions about the procedure of the experiment and a consent form to sign. Afterwards, the measured subjects in the grouped conditions were revealed. Three subjects were selected to wear the physiological boxes. Then, the subject(s) were taken to the small or the big dome depending on the study. The research team installed and calibrated the BITalinos kits to the measured participant(s). Then, additional instructions were given before the beginning of the projection. In the case of the experimental grouped condition, we explained the role of the guide and we invited the participants to interact with her if they wanted to. In the case of the individual experimental condition, we explained to the participants how to operate the controller. After these instructions, we asked the subjects if they have any questions and we indicated to them that the projection will start in the next minute.

In the grouped conditions, the participants were standing and were free to look and move around the dome. In individual conditions the participant had to stay seated on a desktop chair, however, they were free to rotate and move like they wanted to. Once the projection ended, we removed the measurement tools and invited the subject(s) to move in another room to fill the questionnaires with their personal cellphone with a provided link. Once the questions were all answered, the participants were free to go.

### 3.3.6 Measurements

We measured a few variables to assess the states that we find in the Domagk et al. (2010) model. For the emotional states, we used physiological data (EDA & ECG) to measure implicit arousal with the tools mentioned in the previous section (Batista et al., 2019). For the electrodermal activity, we measured the tonic changes in skin conductance and the average duration of the peaks. For the cardiac activity, we simply measured the beats per minute (BPM). It is important to note that this data only indicates the intensity of an emotion experienced by the participants. It can be misinterpreted if we don't know which emotion was felt by participants (Carpenter, 1993). Thereby, it is suggested by De Guinea (2014) to cross this data with self-reported scales in order to have a better view of the implicit experience. We followed his suggestion by adding self-reported measures to assess explicit emotional valence and explicit arousal for more precise results (Latulipe et al., 2011). We used the valence and arousal dimension of the Self-Assessed Manikin (SAM) Scale. Participants had to answer a 5-point Likert scale ranging from calm to excited for the arousal dimension and from happy to unhappy for the valence dimension (Bradley et al., 1992).

For the cognitive and perceptual/attitudinal states, we measured their respective variables with questionnaires with a 7-point Likert scale. Since there are no standardized questionnaires for immersive projections, we gathered questions from different scales and selected relevant ones for our context. For instance, we took elements from the scale of Parong et al. (2018) study, the DEEP usability questionnaire (Yang et al., 2012) and the SUS usability questionnaire (Brooke, 1996) to assess the cognitive load. For the perceived usefulness, we took elements from the Perceived Usefulness Scale developed by Davis (1989), Parong et al. (2018) questionnaire and the SUS questionnaire. To assess attitude towards the technology, we used elements from Kasimu & Nantomah (2019) scale, the SUS questionnaire and Parong et al. (2018) scale. Finally, we assessed perceived immersion with elements from the Witmer and Singer Presence questionnaire (Schwind et al., 2019) and Agarwal & Karahanna (2000) scale. The selected questions for each variable were translated into French and adapted for the context of an immersive projection.

We have computed the Cronbach's alpha for each of our quantitative scales. We obtained a result of 0.78 for perceived usefulness with every item on the scale, which is higher than the recommended threshold of 0.7. For the attitude towards technology, we had a Cronbach's alpha of 0.669. Since this scale was composed by only two items, we decided to make no changes with this variable. However, we had to remove three out of six items from the cognitive load scale which upgraded his Cronbach's alpha to 0.708 and we removed one item from the perceived immersion scale which upgraded the Cronbach's alpha to 0.748.

We measured learning with two variables: learning performance and perceived learning. Firstly, the learning performance was assessed through a multiple-choice knowledge test with visual, auditive and historical comprehension questions. This evaluation was created by our history specialist based on the sensorial information given by the projection and the content of the narration. Charland et al. (2015) method was used to conceive this test with a repartition of easy and hard questions. After the corrections of these evaluations, the grades were standardized to a percentage. Secondly, perceived learning was also measured through a questionnaire with a 7-point Likert scale based on elements taken from Pallud (2017) study, Parong et al. (2018) questionnaire and Alavi (1994) scale. The Cronbach's alpha for our perceived learning scale was 0.73.

### 3.3.7 Analysis

In our analysis, we used the Baron & Kenny (1986) method to validate our mediations hypotheses. We included our control variables in every statistical test. Our first step, using the SAS 9.4 statistical software, was to assess whether there was a direct effect between interactivity and our two learning variables, for each pedagogical design. According to this method, a mediation can't be considered valid without a direct effect. Thus, we computed linear regressions with a normal distribution, and we kept the significant results for further analyses. The second step was to assess if there was a significant effect between our dependant variable and variables that constitute the emotional, cognitive and perceptual/attitudinal states of our participants. Depending on

the variable, we computed linear regressions with either a normal or multinomial distribution. For our physiological data, we used linear regressions with a random intercept model and assuming a normal distribution. Significant variables were taken to the next step, where we assessed if there is a significant effect with our mediators and learning with linear regressions with a normal distribution.

Moreover, we have tested if the domes' size can have an impact on learning and the presence of interactivity as a manipulation check. A linear regression with the dome size as a potential moderator between our learning variables and the presence of interactivity was performed. Our results suggest that this moderator has no significant effect on perceived learning (β=-.9195, p=0.0562) and learning performance (β=.0445, p=0.3204). Thereby, the dome size does not seem to alter the results of our study.

## 3.4 Results

In Baron and Kenny's method, the first step was to assess if there is a direct link between the presence of interactivity and our two learning variables for each pedagogical design. Results can be consulted at Table 1.

**Table 1.** Effects of interactivity on learning

| Relation | Pedagogical design | β | t | p |
|---|---|---|---|---|
| Interactivity -->Learning Performance | Grouped | -0.01 | -0.22 | 0.830 |
| Interactivity --> Perceived Learning | Grouped | 0.03 | 0.09 | 0.926 |
| Interactivity --> Learning Performance | Individual | 0.01 | 0.22 | 0.828 |
| Interactivity --> Perceived Learning | Individual | 0.97 | 2.69 | 0.012** |

Method: Linear regression based on Baron & Kenny (1986) *p < .1, **p < .05

As shown by Table 1, the only significant result is the relation between interactivity and perceived learning in an individual context. Thus, these results suggest that interactivity positively influences perceived learning (β=0.97, p=0.012). The only possible mediations would necessarily be in an individual context with perceived

To conclude a mediation with our actual significant result, we must assess if there is a link between interactivity and our mediators. Our results can be consulted in Table 2 and Table 3.

**Table 2.** Effects of interactivity on mediators

| Variable | **β** | **t** | **p** |
|---|---|---|---|
| Auto-Assessed Valence | 1.11 | 1.56 | 0.131 |
| Auto-Assessed Arousal | 0.79 | 1.15 | 0.262 |
| Cognitive Load | -0.84 | -2.01 | 0.054* |
| Attitude towards tech. | 1.89 | 2.33 | 0.029** |
| Perceived Usefulness | 0.96 | 3.35 | 0.002** |
| Perceived Immersion | 0.89 | 2.61 | 0.014** |

Method: Linear regression based on Baron & Kenny (1986) *p < .1, **p < .05

**Table 3.** Effects of interactivity on mediators (physio)

| Variable | **β** | **t** | **p** |
|---|---|---|---|
| Phasic activity (EDA) | -0.81 | -1.13 | 0.258 |
| Beats Per Minute (ECG) | -3.71 | -1.03 | 0.301 |
| Average peaks duration (EDA) | -1.10 | -2.3 | 0.022** |

Method: Linear regression based on Baron & Kenny (1986) *p < .1, **p < .05

Our results suggest that interactivity in an individual context influences five variables. Firstly, interactivity negatively influences the average peak duration (β=-1.102, p=0.022), which is an indicator to implicit arousal. Interactivity also partially and negatively influences cognitive load (β=-0,843, p=0.054). Similarly, interactivity positively influences attitude towards technology (β=1.891, p=0.029), perceived usefulness (β=0.964, p=0.002) and perceived immersion (β=0.893, p=0.014). Thereby, H1 isn't supported for auto-assessed valence, auto-assessed arousal, phasic electrodermal activity and beats per minute in an individual context. Finally, the last step of the mediation process is to assess a link between the significant mediators'

variables and the independent variable, in this case, perceived learning. Results can be found on Table 4.

**Table 4.** Effects of mediators on perceived learning

| Variable | **β** | **t** | **p** |
|---|---|---|---|
| Average peaks duration (EDA) | -0.05 | -0.28 | 0.783 |
| Cognitive Load | -0.52 | -4.45 | <.001** |
| Attitude towards technology | 0.27 | 0.94 | 0.358 |
| Perceived Usefulness | 0.83 | 5.12 | <.001** |
| Perceived Immersion | 0.43 | 2.6 | 0.015** |

Method: Linear regression based on Baron & Kenny (1986) *p < .1, **p < .05

Our results suggest that three out of five variables are significant and affect our independent variable. The two non-significant variables are the average peak duration and the attitude towards technology. Thus, H1 is not validated in any context and with any variables and H3 is not validated for attitude towards technology in an individual context.

Indeed, cognitive load negatively influences perceived learning ($\beta$=-0.521, p<.001), perceived usefulness positively influences perceived learning ($\beta$=0.828, p<.001) and perceived immersion positively influences perceived learning ($\beta$=0.429, p<.015). Thus, our results provide evidence to support partial mediation between interactivity, cognitive state and perceived learning as hypothesized. Thus, H2 is partially validated in an individual context with perceived learning as an independent variable. Moreover, we can also support a mediation between interactivity, perceptual/attitudinal states and perceived learning. Thus, H3 is supported for perceived usefulness and perceived immersion in an individual context with perceived learning as an independent variable. Our final mediation model with our significant results can be consulted at Figure 7.

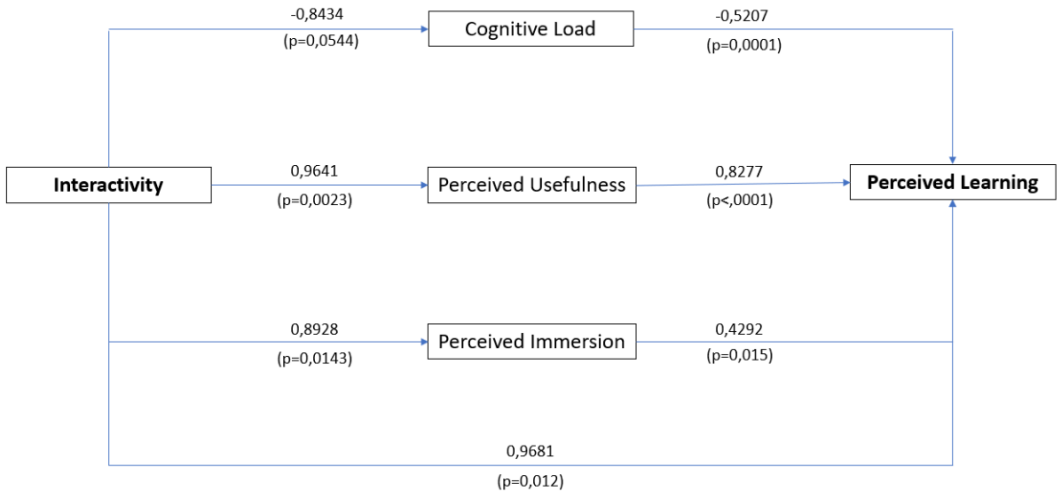



Figure 7 : Results: The mediation model

## 3.5 Discussion

The first contribution of this study was to bring empirical data to the effects of interactivity in two immersive contexts. As suggested by our results, nothing was significant in our grouped context. Liu & Shrum (2002) explained that there are a lot of different types and levels of intensity in interactivity and they all impact the outcomes differently. Thereby, we argue that in the experimental condition of our grouped context, the level of interactivity wasn't high enough and its type wasn't adapted to make an actual impact since it was operationalized by the presence of a human guide. However, the presence of interactivity didn't deteriorate the experience or learning outcomes in this context. In our individual condition, interactivity was a significant predictor for perceived learning and for at least one variable in each of our studied states such as implicit arousal, cognitive load, attitude towards technology, perceived usefulness and perceived immersion. Indeed, our research suggests that interactivity negatively influenced implicit arousal, which is the opposite of what was hypothesized and suggested by literature (Soto-Sanfiel et al., 2011). Moreover, we believe that our interactive system was easy-to-use enough to avoid diminishing effects on cognitive load, as theorized by Cyr et al. (2009). Thus, in our study, participants experienced a significantly lower cognitive load when they had the possibility to interact with the projection. It also showed that interactivity can affect attitude towards

technology as suggested by Wu (2005) and perceived usefulness as suggested by Coursaris & Sung (2012). Finally, this experiment brought empirical arguments that interactivity and immersion are highly correlated as suggested by Steuer (1992). Thereby, with these results we have a first conclusion in an individual context: the presence of interactivity in an immersive dome doesn't deteriorate learning performance but enhances the perception of learning. It also modifies emotional, cognitive and perceptual/attitudinal experience. Indeed, subjects who had the chance to interact with the projection were significantly less aroused, they had to mobilize less cognitive resources, they developed a better attitude towards the technology and perceived it as more useful and finally, they felt more immersed than those who didn't have the chance to interact.

The second contribution of our work is to partially validate the INTERACT model in an individual and immersive context. As mentioned before, five variables were significatively affected by interactivity, but only three of them were significant as mediators for learning. Indeed, our results suggest that the emotional dimension wasn't a significant mediator, but the cognitive dimension was a significant mediator as suggested by Ariely (2000). Moreover, this article brought empirical evidence that perceptual/attitudinal states should be included in Domagk's model to have a better understanding of interactivity and its effects on users and learning. Indeed, our study confirmed a mediation between interactivity, attitude and perceived usefulness towards learning as suggested by Webster & Hackley (1997) and with perceived immersion towards learning as suggested by Pallud (2017). Finally, our study suggests that the INTERACT framework can be applied in immersive contexts without its emotional dimension and with the adding of a perceptual/attitudinal dimension.

These results can have interesting implications for immersive technologies' manufacturers, creators, as well as for pedagogical designers and professors. Indeed, manufacturers can adapt their product designs by adding a specific type of interactivity depending on their customer's needs and resources. Since our data suggest that interactivity in a context of immersion enhances user experience, new technologies can be created and/or adapted. Moreover, our results are interesting for pedagogical designers because they will have a better idea about the relationship among immersive

technologies and their potential in education. Thus, they would be informed and possibly able to adapt a scholar cursus by adding the utilization of immersive technologies with interactive features. Effectively, our research suggests that interactivity in an immersive context doesn't deteriorate learning and provide a better experience, so it would be interesting for teachers to choose this type of tool for their classrooms to add value to their methods.

## 3.6 Conclusion

### 3.6.1 Limits

Even though our article brought empirical evidence that another dimension should be included in the INTERACT framework, we didn't take the integrality of its dimensions in our research model due to a lack of resources. Indeed, we didn't study our subject's behavioral and metacognitive activities, nor their motivational processes. Also, we could have measured cognitive state with more than just one variable. All these missing dimensions and variables could have played a mediating or moderating role with our studied states and influence our results.

Moreover, for the research needs, we didn't operationalize interactivity in the same way for our grouped and individual conditions. The first problem regarding this flaw is that interactivity is a multidimensional concept with different levels of intensity and its effects on the user's experience can be different depending on its design and characteristics (Liu & Shrum, 2002). Second, we didn't isolate the same variable in our two studied contexts since the type of interactivity and the number of simultaneous participants were different which impact the meaning of our results.

Also, as mentioned in our methodology, there are no standardized questionnaires about interactive experiences in an immersive context. Thus, we had to create our own scales for most of our variables. Using unstandardized questionnaires can affect the validity of our results, since there is a possibility that our variables weren't well measured. Also, we could have measured learning outcomes by comparing the results of a pre-test versus the results of a post-test to have a better idea if the subject had improvements.

Another limit of this study is that in our individual context, we had a hypothesis that was partially supported because of a p-value of 0.054. In this context, the sample size was inferior to the grouped context and asymmetrical (n=19 vs. n=15). These results may have been significant with a larger sample size.

To go further, it is hard to generalize the results of this study. Indeed, our sample could have been more heterogeneous. It's participants were mainly graduated and young which makes our results not generalizable to other segments of the population. Finally, our sample was exclusively Canadian residents, thereby we couldn't generalize our results for other parts of the world. Moreover, we used a specific historical projection for this study and we assessed principally factual recall. Therefore, it would be hard to generalize our results to other fields and other learning objectives such as comprehension, elaboration, etc.

### 3.6.2 Future Research

As mentioned in our limits, we didn't use every dimension of Domagk's model and it would be a good idea to conduct extra research with unused dimensions such as the behavioral, metacognitive and motivational activity. It would also be interesting to look for extra dimensions for this framework in order to improve it.

Furthermore, this study is cross-sectional and has no longitudinal aspects. This is an important factor for research in education since we don't know if the users of immersive domes would memorize the presented notions longer than a regular media such as a classroom. Thereby, we should conduct longitudinal studies to see the evolution of the user's knowledge, learning and attitudes across time. In addition, it would also be interesting to study if the length of the projection can have an impact on learning since the participants of the study watched it for only 8 minutes. We would like to know if experiencing a projection for a longer amount of time can enhance learning quality. Moreover, as the technology is recent, frequent users of immersive domes are rare. It would be interesting to assess if the frequency of using these technologies also have a longitudinal impact on learning and user's experience. It is important to note that we must develop standardized scales to be able to assess our measures with a better validity before conducting these studies.

Moreover, a pedagogical design is composed of several attributes that can affect learning outcomes (Balasubramanian et al., 2014) which makes the presence of the technology by itself not enough to guarantee learning outcomes (Hannafin, 2009). Thus, it's important to conduct research to find the best practices and there are a lot of research opportunities with this fact. Effectively, it would be possible to study the effects of interactivity in different pedagogical designs, varying its levels and types. For instance, in the experimental condition of our individual context, subjects had a controller with only one functionality. It would be interesting to conduct similar studies with more functionalities and different levels of user control in different contexts.

Finally, immersive technologies for learning and traditional classrooms remain two different approaches. Thereby, conducting comparative research to investigate the role of these technologies and their actual potential can be relevant and help to understand how they can be employed efficiently in conjunction. The goal is to assess if they can completely replace our actual methods or if they should be used as a complementary tool. These research should also aim at several pedagogical fields in addition to history such as medicine, engineering, literature, etc.

## References


Agarwal, R., & Karahanna, E. (2000). Time flies when you're having fun: Cognitive absorption and beliefs about information technology usage. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, *24*(4), 665–694. https://doi.org/10.2307/3250951

Alavi, M. (1994). Computer-mediated collaborative learning: An empirical evaluation. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, *18*(2), 159–174. https://doi.org/10.2307/249763

Alba, J. W., & Hutchinson, J. W. (1987). Dimensions of Consumer Expertise. *Journal of Consumer Research*, *13*(4), 411. https://doi.org/10.1086/209080

Ariely, D. (2000). Information Control in Buying Behvaiour. *JOURNAL OF CONSUMER RESEARCH, Inc.* •, *27*(September 2000). http://web.mit.edu/ariely/www/MIT/Papers/interactivity.pdf

Balasubramanian, K., Jaykumar, V., & Fukey, L. N. (2014). A Study on "Student Preference towards the Use of Edmodo as a Learning Platform to Create Responsible Learning Environment." *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *144*, 416–422. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.311

Barkatsas, A. (Tasos), Kasimatis, K., & Gialamas, V. (2009). Learning secondary mathematics with technology: Exploring the complex interrelationship between students' attitudes, engagement, gender and achievement. *Computers and Education*, *52*(3), 562–570. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.11.001

Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The Moderator-Mediator Variable Distinction in Social Psychological Research. Conceptual, Strategic, and Statistical Considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, *51*(6), 1173–1182. https://doi.org/10.1037/0022-3514.51.6.1173

Batista, D., da Silva, H. P., Fred, A., Moreira, C., Reis, M., & Ferreira, H. A. (2019). Benchmarking of the BITalino biomedical toolkit against an established gold standard. *Healthcare Technology Letters*, *6*(2), 32–36. https://doi.org/10.1049/htl.2018.5037

Baumeister, R. F., Alquist, J. L., & Vohs, K. D. (2015). Illusions of Learning: Irrelevant Emotions Inflate Judgments of Learning. *Journal of Behavioral Decision Making*, *28*(2), 149–158. https://doi.org/10.1002/bdm.1836

Bless, H., Clore, G. L., Schwarz, N., Golisano, V., Rabe, C., & Wolk, M. (1996). *Mood and the Use of Scripts : Does a Happy Mood Really Lead to Mindlessness ? 71*(4), 665–679.

Bouko, C. (2014). Interactivity and immersion in a media-based performance. *PARTICIP@ TIONS*, *11*(1), 254-269.

Bradley, M. M., Greenwald, M. K., Petry, M. C., & Lang, P. J. (1992). Remembering Pictures: Pleasure and Arousal in Memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*(2), 379–390. https://doi.org/10.1037/0278-7393.18.2.379

Braithwaite, J. J., Watson, D. G., Jones, R., & Rowe, M. (2013). A guide for analysing electrodermal activity (EDA) & skin conductance responses (SCRs) for psychological experiments. *Psychophysiology*, *49*(1), 1017-1034.

Broadbent, D. E. (1971). Decision and stress.

Buchtová, M., Klement, D., Brom, C., & Levc, D. (2015). *Computers in Human Behavior Playing educational micro-games at high schools : Individually or collectively ? 48*, 682–694. https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.02.025

Cahill, L., & McGaugh, J. L. (1998). Mechanisms of emotional arousal and lasting declarative memory. *Trends in Neurosciences*, *21*(7), 294–299. https://doi.org/10.1016/S0166-2236(97)01214-9

Cairncross, S., & Mannion, M. (2001). Interactive multimedia and learning: Realizing the benefits. *Innovations in Education and Teaching International*, *38*(2), 156–164. https://doi.org/10.1080/14703290110035428

Charland, P., Léger, P. M., Cronan, T. P., & Robert, J. (2015). Developing and assessing ERP competencies: Basic and complex knowledge. *Journal of Computer Information Systems*, *56*(1), 31–39. https://doi.org/10.1080/08874417.2015.11645798

Chirico, A., Cipresso, P., Yaden, D. B., Biassoni, F., Riva, G., & Gaggioli, A. (2017). Effectiveness of Immersive Videos in Inducing Awe: An Experimental Study. *Scientific Reports*, *7*(1), 1–11. https://doi.org/10.1038/s41598-017-01242-0

Christopoulos, D., Apostolellis, P., & Onasiadis, A. (2009, September). Educational virtual environments for digital dome display systems with audience participation. In *Proceedings of the 13th Panhellenic Conference in Informatics-Workshop in Education* (pp. 265-275).

Coursaris, C. K., & Sung, J. (2012). Antecedents and consequents of a mobile website's interactivity. *New Media and Society*, *14*(7), 1128–1146. https://doi.org/10.1177/1461444812439552

Cretchley, P., Harman, C., Ellerton, N., & Fogarty, G. (1999). *Computation, Exploration, Visualisation: Reaction to MATLAB in First-Year Mathematics*.

Cyr, D., Head, M., & Ivanov, A. (2009). Perceived interactivity leading to e-loyalty: Development of a model for cognitive-affective user responses. *International Journal of Human Computer Studies*, *67*(10), 850–869. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2009.07.004

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, *13*(3), 319–339. https://doi.org/10.2307/249008

Davis, M., & Chapel, S. (1997). *Future Directions in Visual Display Systems Visual Display as Human Why Doesn ' t Everyone Desktop Immersion : Larger Monitors ?*

De Guinea, A. O., Titah, R., & Léger, P. M. (2014). Explicit and implicit antecedents of users' behavioral beliefs in information systems: A neuropsychological investigation. *Journal of Management Information Systems*, *30*(4), 179-210.

Domagk, S., Schwartz, R. N., & Plass, J. L. (2010). Interactivity in multimedia learning: An integrated model. *Computers in Human Behavior*, *26*(5), 1024–1033. https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.03.003

Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2016). *The museum experience revisited*. Routledge.

Fortin, D. R., & Dholakia, R. R. (2005). Interactivity and vividness effects on social presence and involvement with a web-based advertisement. *Journal of Business Research*, *58*(3 SPEC. ISS.), 387–396. https://doi.org/10.1016/S0148-2963(03)00106-1

Frank, J. A., & Kapila, V. (2017). Computers & Education Mixed-reality learning environments : Integrating mobile interfaces with laboratory test-beds. *Computers & Education*, *110*, 88–104. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.02.009

Gist, M. E., & Mitchell, T. R. (1992). Self-Efficacy : A Theoretical Analysis of Its Determinants and Malleability Author ( s ): Marilyn E . Gist and Terence R . Mitchell Source : The Academy of Management Review , Vol . 17 , No . 2 ( Apr

., 1992 ), pp . 183-211 Published by : Academy of Manag. *Academy of Management Review*, *17*(2), 183–211.

Goddard, W., Muscat, A., Manning, J., & Holopainen, J. (2016, October). Interactive dome experiences: Designing astrosurf. In Proceedings of the 20th International Academic Mindtrek Conference (pp. 393-402).

Hannafin, M. J. (2009). Interaction Strategies and Emerging Instructional Technologies: Psychological Perspectives. *Canadian Journal of Learning and Technology / La Revue Canadienne de l'apprentissage et de La Technologie*, *18*(3). https://doi.org/10.21432/t2gk6g

Hoffman, D. L., & Novak, T. P. (1996). Marketing in Hypermedia Computer-Mediated Environments: Conceptual Foundations. *Journal of Marketing*, *60*(3), 50–68. https://doi.org/10.1177/002224299606000304

International Data Corporation. 2018. Worldwide Spending on Augmented and Virtual Reality Expected to Surpass $20 Billion in 2019, According to IDC. [ONLINE] Available at:

https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44511118. [Accessed 30 May 2020].

Izard, C. E. (1977). 1977 Human emotions. New York, Plenum.

Jacobson, V., Smetters, D. K., Briggs, N. H., Thornton, J. D., Plass, M. F., & Braynard, R. L. (2009). *Categories and Subject Descriptors*. 1–12.

Jarodzka, H., Janssen, N., Kirschner, P. A., Erkens, G., de Jong, T., Mayer, R. E., Moreno, R., Leppink, J., Paas, F. G. W. C., van Gog, T., van der Vleuten, C. P. M., van Merriënboer, J. J. G., Educational, S., Review, P., Mayer, R. E., Moreno, R., Schmeck, A., Opfermann, M., van Gog, T., … September, N. (2010). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Instructional Science*, *22*(2), 43–52. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801

John Brooke. (1996). SUS - A quick and dirty usability scale. *Usability Evaluation in Industry*, 189–194.

Johnson, G. J., Bruner, G. C., & Kumar, A. (2006). Interactivity and its facets Revisited: Theory and empirical test. *Journal of Advertising*, *35*(4), 35–52. https://doi.org/10.2753/JOA0091-3367350403

Kalyuga, S. (2007). *Enhancing Instructional Efficiency of Interactive E-learning Environments : A Cognitive Load Perspective*. 387–399. https://doi.org/10.1007/s10648-007-9051-6

Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (2001). Learner experience and efficiency of instructional guidance. *International Journal of Phytoremediation*, *21*(1), 5–23. https://doi.org/10.1080/01443410124681

Kasimu, O., & Nantomah, I. (2019). Development and Validation of an Instrument to Measure Attitudes towards the Use of Computer in Learning Mathematics.

*American Journal of Educational Research*, *7*(1), 104–108. https://doi.org/10.12691/education-7-1-16

Ke, F., Lee, S., & Xu, X. (2016). Computers in Human Behavior Teaching training in a mixed-reality integrated learning environment. *Computers in Human Behavior*, *62*, 212–220. https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.03.094

Keller, J. M. (2020). *Development and Use of the ARCS Model of Instructional Design*. *10*(3), 2–10.

Kennedy, G. (2004). Promoting cognition in multimedia interactivity research. *Journal of Interactive Learning Research*, *15*(1), 43-61.

Kiousis, S. (2002). Interactivity: A concept explication. *New Media and Society*, *4*(3), 355–383. https://doi.org/10.1177/146144480200400303

Kleinmuntz, D. N., & Schkade, D. A. (1993). Information displays and decision processes. *Psychological Science*, *4*(4), 221–227. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1993.tb00265.x

Kovács, P. T., Murray, N., Rozinaj, G., Sulema, Y., & Rybárová, R. (2015). Application of immersive technologies for education: State of the art. *Proceedings of 2015 International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning, IMCL 2015*, *November*, 283–288. https://doi.org/10.1109/IMCTL.2015.7359604

Kowal, J., & Fortier, M. S. (1999). Motivational determinants of flow: Contributions from self-determination theory. *Journal of Social Psychology*, *139*(3), 355–368. https://doi.org/10.1080/00224549909598391

Lambropoulos, N., & Mystakidis, S. (2012). Aprender experiência + dentro 3D imersivos mundos. *Ciência Da Computação e ... de 2012 -. Ieeexplore Ieee . Org*, 857–862. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6354452

Lampton, D. R., Kolasinski, E. M., Knerr, B. W., Bliss, J. P., Bailey, J. H., & Witmer, B. G. (1994). *SIDE EFFECTS AND AFTEREFFECTS OF IMMERSION IN VIRTUAL ENVIRONMENTS*. 1992–1995.

Lantz, E. (2007). *A Survey of Large-Scale Immersive Displays*. *1*(212).

Latchem, C. (1993). *Interactive Multimedia: Practice and Promise*. Kogan Page, 120 Pentonville Road, London, England N1 9JN..

Latulipe, C., Carroll, E. A., & Lottridge, D. (2011, May). Love, hate, arousal and engagement: exploring audience responses to performing arts. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1845-1854).

Lawless, K. A., & Brown, S. W. (1997). Multimedia learning environments: Issues of learner control and navigation. *Instructional Science*, *25*(2), 117–131. https://doi.org/10.1023/A:1002919531780

Léger, P. M., Courtemanche, F., Fredette, M., & Sénécal, S. (2019). A cloud-based lab management and analytics software for triangulated human-centered research. In *Information Systems and Neuroscience* (pp. 93-99). Springer, Cham.

Lepper, M. R. (1985). Microcomputers in Education. Motivational and Social Issues. *American Psychologist*, *40*(1), 1–18. https://doi.org/10.1037/0003-066X.40.1.1

Liaw, S. S., & Huang, H. M. (2013). Perceived satisfaction, perceived usefulness and interactive learning environments as predictors to self-regulation in e-learning environments. *Computers and Education*, *60*(1), 14–24. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.07.015

Lim, Y. K., Lee, S. S., & Lee, K. Y. (2009). Interactivity attributes: A new way of thinking and describing interactivity. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 105–108. https://doi.org/10.1145/1518701.1518719

Lin, A., Gregor, S., & Huang, J. (2008). The Hedonic Experience of Enjoyment and Its Relationship to Informal Learning: A Study of Museum Websites. *Icis*, *9*(7), 47–55. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3991/ijet.v9i7.3734

Lin, A., Gregor, S., & Huang, J. (2008). The Hedonic Experience of Enjoyment and Its Relationship to Informal Learning: A Study of Museum Websites. *Icis*, *9*(7), 47–55. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3991/ijet.v9i7.3734

Liu, Y., & Shrum, L. J. (2002). What is interactivity and is it always such a good thing? implications of definition, person, and situation for the influence of interactivity on advertising effectiveness. *Journal of Advertising*, *31*(4), 53–64. https://doi.org/10.1080/00913367.2002.10673685

Llinares, C., Higuera-trujillo, J. L., & Juan, L. (2017). *Psychological and physiological human responses to simulated and real environments : A comparison between Photographs , 360 Panoramas , and Virtual Reality n*. *65*, 398–409. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.05.006

Lucht, M., & Heidig, S. (2013). *Applying HOPSCOTCH as an exer-learning game in English lessons : two exploratory studies*. 767–792. https://doi.org/10.1007/s11423-013-9308-3

McNamara, N., & Kirakowski, J. (2005). Defining usability: Quality of use or quality of experience? *IEEE International Professional Communication Conference*, 200–204. https://doi.org/10.1109/IPCC.2005.1494178

Moreno, R., & Mayer, R. (2007). *Interactive Multimodal Learning Environments*. 309–326. https://doi.org/10.1007/s10648-007-9047-2

Pallud, J. (2017). Impact of interactive technologies on stimulating learning experiences in a museum. *Information and Management*, *54*(4), 465–478. https://doi.org/10.1016/j.im.2016.10.004

Parong, J., Barbara, S., Mayer, R., & Barbara, S. (2018). *Learning Science in Immersive Virtual Reality Journal of Educational Psychology*. *January*. https://doi.org/10.1037/edu0000241

Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., Perry, R. P., Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., Perry, R. P., & Perry, R. P. (2010). *Academic Emotions in Students ' Self-Regulated Learning and Achievement : A Program of Qualitative and Quantitative Research Academic Emotions in Students ' Self-Regulated Learning and Achievement : A Program of Qualitative and Quantitative Research*. *1520*. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3702

Plass, J. L., Homer, B. D., & Kinzer, C. K. (2014). *Playful Learning : An Integrated Design Framework Playful Learning : An Integrated Design Framework*. 1–30.

Pollock, E., Chandler, P., & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, *12*(1), 61–86. https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00016-0

Pribeanu, C., Balog, A., & Iordache, D. D. (2017). *Measuring the perceived quality of an AR-based learning application : a multidimensional model*. *4820*. https://doi.org/10.1080/10494820.2016.1143375

Puget, J., Pardoen, M., Bouillot, N., Durand, E., Seta, M., & Bastien, P. (2019, March). Rapid Prototyping of Immersive Video for Popularization of Historical Knowledge. In *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction* (pp. 197-203).

Rosenberg, M. J. (1960). A Structural Theory of Attitude Dynamics. *Public Opinion Quarterly*, *24*(2, Special Issue: Attitude Change), 319. https://doi.org/10.1086/266951

Schwan, S., & Riempp, R. (2004). *The cognitive benefits of interactive videos : learning to tie nautical knots*. *14*, 293–305. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.005

Schwind, V., Knierim, P., Haas, N., & Henze, N. (2019). Using presence questionnaires in virtual reality. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 1–16. https://doi.org/10.1145/3290605.3300590

Serino, S., Repetto, C., & Elliott, E. M. (2018). *New Trends in Episodic Memory Assessment : Immersive 360 ◦ Ecological Videos*. *9*(October), 1–6. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01878

Shaw, J., & Lantz, E. (1998). Dome theaters: Spheres of influence. *TiLE Proceedings*, 59-65.

Song, H. S., Pusic, M., Nick, M. W., Sarpel, U., Plass, J. L., & Kalet, A. L. (2014). Computers & Education The cognitive impact of interactive design features for learning complex materials in medical education. *Computers & Education*, *71*, 198–205. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.017

Soto Sanfiel, M. T., Aymerich Franch, L., Ribes Guardia, F. X., & Martinez Fernandez, J. R. (2011). Influence of interactivity on emotions and enjoyment during consumption of audiovisual fictions. *International Journal of Arts and Technology*, *4*(1), 111-129.

Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*, *42*(4), 73–93. https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x

Suh, A., & Prophet, J. (2018). Computers in Human Behavior The state of immersive technology research : A literature analysis. *Computers in Human Behavior*, *86*, 77–90. https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.04.019

Sumners, C., Reiff, P., & Weber, W. (2008). Learning in an immersive digital theater. *Advances in Space Research*, *42*(11), 1848–1854. https://doi.org/10.1016/j.asr.2008.06.018

Teo, H. H., Oh, L. Bin, Liu, C., & Wei, K. K. (2003). An empirical study of the effects of interactivity on web user attitude. *International Journal of Human Computer Studies*, *58*(3), 281–305. https://doi.org/10.1016/S1071-5819(03)00008-9

Vrugt, A., & Oort, F. J. (2008). *Metacognition , achievement goals , study strategies and academic achievement : pathways to achievement*. 123–146. https://doi.org/10.1007/s11409-008-9022-4

Webster, J., & Hackley, P. (1997). Teaching effectiveness in technology-mediated distance learning. *Academy of Management Journal*, *40*(6), 1282–1309. https://doi.org/10.2307/257034

Widing, R. E., & Talarzyk, W. W. (1993). Electronic information systems for consumers: an evaluation of computer-assisted formats in multiple decision environments. *Journal of Marketing Research*, 30(2), 125-141.

Wu, G. (2005). The Mediating Role of Perceived Interactivity in the Effect of Actual Interactivity on Attitude Toward the Website. *Journal of Interactive Advertising*, *5*(2), 29–39. https://doi.org/10.1080/15252019.2005.10722099

Yang, T., Linder, J., & Bolchini, D. (2012). DEEP: Design-oriented evaluation of perceived usability. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *28*(5), 308–346. https://doi.org/10.1080/10447318.2011.586320

Yim, M. Y. C., Chu, S. C., & Sauer, P. L. (2017). Is augmented reality technology an effective tool for e-commerce? An interactivity and vividness perspective. *Journal of Interactive Marketing*, *39*, 89-103.

Yu, K. C. (2005). *Digital Full-Domes : The Future of Virtual Astronomy Education*. *34*(3).

# Chapitre 4 : Conclusion du mémoire

## 4.1 Résumé des résultats

L'objectif de ce mémoire était de tenter de mieux comprendre le rôle et les effets de l'interactivité dans un contexte de visionnage de projection audiovisuelle dans un dôme immersif. La littérature dans ce domaine est très limitée (Goddart et al., 2016), car l'ajout de fonctionnalités interactives dans ce type de technologie est une toute nouvelle pratique (Apostolellis & Daradoumis, 2010). Les résultats de notre recherche vont permettre d'enrichir la connaissance à ce sujet et identifier les meilleures pratiques pédagogiques afin d'implanter efficacement les dômes immersifs dans un cursus scolaire. Par une recherche expérimentale, nous avons testé l'influence que l'ajout d'interactivité pourrait avoir sur l'apprentissage et sur les dimensions identifiées par le modèle de Domagk et al. (2010) telles que les émotions, la cognition et les perceptions/attitudes. Ainsi, ce mémoire tente de répondre à la question de recherche suivante: à quel point l'interactivité impacte l'apprentissage dans un contexte d'immersion et quels sont les mécanismes qui médient cet effet?

Les résultats de notre article suggèrent que dans un contexte collectif, l'ajout d'interactivité opérationnalisé sous la forme d'une guide humaine n'apporte aucune valeur supplémentaire ni à l'expérience de l'apprenant ni aux résultats d'apprentissage par rapport au format linéaire et narratif. Cependant, la présence d'interactivité ne détériore pas ces variables. De ce fait, il serait possible d'implanter ces deux types de formats dans un cursus scolaire puisqu'ils engendrent les mêmes effets.

D'un autre côté, nos résultats pour le contexte individuel sont plus intéressants et significatifs. En effet, notre article suggère que l'ajout d'interactivité opérationnalisée sous la forme d'une manette permettant de contrôler le rythme de la projection influence positivement la perception d'avoir appris des notions. La présence d'interactivité dans un contexte individuel bonifie également l'expérience de l'apprenant en ayant un impact positif sur l'immersion perçue, l'attitude envers la technologie et l'utilité perçue ainsi qu'un impact négatif sur la charge cognitive et sur l'activation émotionnelle mesurée via la durée moyenne des pics de l'EDA. Ainsi,

lorsqu'on ajoute de l'interactivité dans une projection exposée via un dôme immersif en contexte individuel, l'expérience de l'apprenant est impactée significativement de la façon suivante : il a la perception de mieux apprendre, se sent plus en immersion, développe une meilleure attitude face à cette technologie, perçoit que le média est plus utile à son apprentissage, ressent une plus faible activation émotionnelle et doit mobiliser moins de ressources cognitives pour suivre la projection. De ce fait, il est préférable d'implanter un format de dôme comportant des fonctionnalités interactives lorsque le participant est seul dans le dôme, car cela favorise l'apprentissage et l'expérience de l'apprenant par rapport au format linéaire. En plus de cela, nos résultats en contexte individuel suggèrent la présence de trois médiateurs issus de deux des dimensions du modèle INTERACT de Domagk et al. (2010). Il s'agit de la charge cognitive de la dimension cognitive et l'immersion perçue ainsi que l'utilité perçue de la dimension perceptuelle/attitudinale. L'interactivité influence négativement la charge cognitive qui influence en retour positivement l'apprentissage perçu, ce qui suggère la pertinence de la dimension cognitive dans un contexte d'immersion. Également, la présence de l'interactivité influence positivement l'immersion perçue ainsi que l'utilité perçue, qui influencent à leur tour positivement l'apprentissage perçu. De ce fait, la dimension perceptuelle/attitudinale qu'on a suggéré d'ajouter dans le modèle INTERACT s'avère pertinente dans notre cadre d'étude.

## 4.2 Validation des hypothèses

Dans l'article de ce mémoire, afin de répondre à la question de recherche, nous avons posé les hypothèses suivantes :

***H1****: Dans un contexte immersif, l'état émotionnel des apprenants médie l'effet de l'interactivité sur l'apprentissage* – **Non Supporté**

***H2****: Dans un contexte immersif, l'état cognitif des apprenants médie l'effet de l'interactivité sur l'apprentissage*- **Supporté partiellement (p<0.1) (contexte individuel seulement)**

***H3*** : *Dans un contexte immersif, l'état perceptuel/attitudinal des apprenants médie l'effet de l'interactivité sur l'apprentissage* – **Supporté pour immersion perçue et utilité perçue (contexte individuel seulement)**

De ce fait, les dimensions cognitives et perceptuelles/attitudinales du modèle de Domagk et al. (2010) s'appliquent en contexte d'immersion, mais pas la dimension émotionnelle. Ce mémoire a réussi à apporter des indices empiriques quant à l'intégration de la dimension perceptuelle/attitudinale dans le modèle de Domagk et al. (2010). Cette contribution complète le modèle de l'auteur en plus de l'adapter dans un contexte d'immersion.

## 4.3 Conclusion

Un des objectifs de ce mémoire était d'apporter des connaissances supplémentaires sur l'utilisation de dômes immersifs et interactifs à des fins pédagogiques. La littérature dans ce domaine est très limitée et a rarement étudié les effets des fonctionnalités interactives sur les résultats d'apprentissage (Goddart et al., 2016). Les résultats de notre recherche suggèrent que l'ajout d'interactivité en contexte d'immersion individuel impacte significativement l'apprentissage et l'expérience émotionnelle, cognitive et perceptuelle/attitudinale de l'apprenant.

Notre étude peut être utile pour les designers pédagogiques qui souhaitent s'inspirer des meilleures pratiques pour concevoir un cursus scolaire efficient. Cependant, nos résultats doivent être interprétés et utilisés avec précaution si l'on vise une implantation de dôme immersif muni d'interactivité pour des fins d'apprentissage. Afin de pouvoir espérer aboutir aux mêmes résultats que notre étude, il est nécessaire de reproduire le plus fidèlement possible le contexte et les variables du design pédagogique que l'on a testé. Comme mentionné dans l'introduction du mémoire, la recherche sur les technologies à des fins pédagogiques n'est pas une chose simple. Par la nature équivoque de l'interactivité et des technologies éducatives, chaque changement mineur sur leurs compositions et sur le design pédagogique peut modifier l'environnement et le processus d'apprentissage (Moreno & Mayer, 2007). En effet, le design pédagogique contient plusieurs variables qui interagissent entre elles et qui sont susceptibles d'impacter les résultats d'apprentissage aux moindres modifications (Balasubramanian et al., 2014; Hannafin, 1989). Nos résultats sont également pertinents pour les manufacturiers de dômes qui s'interrogent sur la pertinence d'ajouter des fonctionnalités interactives sur leurs produits. Ces derniers seront conscients des

impacts que l'interactivité peut engendrer et dans quel contexte ils apparaissent. Cela leur donnera des indices importants quant aux décisions de conception de futurs produits.

Notre étude possède plusieurs limites, dont le manque de ressources pour pouvoir mesurer d'autres dimensions du cadre théorique mobilisé dans cette recherche. En effet, les dimensions comportementale, métacognitive et motivationnelle n'ont pas été étudiées. De futures études peuvent ajouter des mesures supplémentaires, par exemple, de l'observation de comportement, de l'oculométrie et des questionnaires concernant la motivation des apprenants. La méthodologie est également une grande limite. Le principal problème provient des questionnaires que nous avons utilisés. Étant donné qu'il n'existait aucun questionnaire standardisé par rapport à notre contexte, nous avons dû concevoir nos propres échelles, ce qui impacte négativement la validité de nos données. Dans le meilleur des mondes, il aurait fallu mettre en point des questionnaires standardisés et certifiés avant de démarrer cette recherche. Une autre limite est notre échantillon qui n'est pas très hétérogène. Cela nous empêche de pouvoir généraliser nos résultats à d'autres segments de la population. De plus, notre étude se déroule dans un environnement très précis, ce qui fait en sorte que nos conclusions s'appliquent peu dans d'autres contextes. De ce fait, ce mémoire est loin de pouvoir compléter la littérature de l'utilisation d'un dôme immersif avec des fonctionnalités interactives, et bon nombre de recherches futures avec différents paramètres doivent être entreprises afin de déceler des tendances.

En effet, de nombreuses opportunités de recherches futures s'offrent à nous. Premièrement, il serait intéressant d'investiguer les effets des autres types d'interactivité. Afin d'aboutir aux meilleures pratiques pédagogiques, beaucoup d'itérations devront être faites pour identifier les paramètres qui engendrent les résultats les plus efficients. Ensuite, comme mentionné dans la conclusion de notre article, les effets de l'interactivité dans notre contexte sont encore inconnus d'un point de vue longitudinal. On ignore si l'utilisation de dômes immersifs et interactifs à travers le temps bonifie l'apprentissage et l'expérience de l'apprenant par rapport à une salle de classe. Ainsi, des recherches futures pour mieux comprendre les effets de l'interactivité sur l'apprentissage à long terme devraient être entreprises. On ignore

également le réel rôle des dômes immersifs sur un cursus académique et à quelle fréquence et pour quelle raison ils devraient être utilisés. Cette connaissance est très importante afin de pouvoir exploiter convenablement les avantages de ces derniers. On se demande donc si l'utilisation de technologies immersives munies de fonctionnalités interactives ont le potentiel de remplacer complètement la salle de classe traditionnelle. De plus en plus de technologies à des fins éducatives voient le jour et sont implantés dans des cursus scolaires, et les dômes immersifs devraient en font partie. Selon les résultats des futures recherches et si ces technologies deviennent plus abordables, nous pourrions possiblement assister à l'avènement de classes qui se dérouleraient intégralement dans des dômes. Dans ces dernières, les étudiants pourraient être en immersion et interagir directement avec le matériel pédagogique. Cela pourrait représenter une incroyable opportunité pour les écoles de valoriser leurs cursus scolaires en mettant à disposition un riche contenu audiovisuel. Dans un format similaire, les étudiants seront au centre d'un processus éducatif actif et pourraient bénéficier d'un apprentissage qui comporte un véritable côté hédonique et ludique.

## Bibliographie du mémoire


Alavi, M. (1994). Computer-mediated collaborative learning: An empirical evaluation. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, *18*(2), 159–174. https://doi.org/10.2307/249763

Alba, J. W., & Hutchinson, J. W. (1987). Dimensions of Consumer Expertise. *Journal of Consumer Research*, *13*(4), 411. https://doi.org/10.1086/209080

Alsabawy, A. Y., Cater-Steel, A., & Soar, J. (2016). Determinants of perceived usefulness of e-learning systems. *Computers in Human Behavior*, *64*, 843–858. https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.07.065

Apostolellis, P., & Daradoumis, T. (2010, September). Audience interactivity as leverage for effective learning in gaming environments for dome theaters. In *European Conference on Technology Enhanced Learning* (pp. 451-456). Springer, Berlin, Heidelberg.

Ariely, D. (2000). Information Control in Buying Behvaiour. *JOURNAL OF CONSUMER RESEARCH, Inc.* •, *27*(September 2000). http://web.mit.edu/ariely/www/MIT/Papers/interactivity.pdf

Babin, G., Léger, P., Robert, J., & Bourdeau, S. (2011). *ERPsim BI : a Problem-based Learning approach in Teaching Business Analytics TEACHING BUSINESS ANALYTICS USING A PROBLEM-BASED LEARNING ( PBL ) APPROACH*. *2*(1), 1–7.

Balasubramanian, K., Jaykumar, V., & Fukey, L. N. (2014). A Study on "Student Preference towards the Use of Edmodo as a Learning Platform to Create Responsible Learning Environment." *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *144*, 416–422. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.311

Barkatsas, A. (Tasos), Kasimatis, K., & Gialamas, V. (2009). Learning secondary mathematics with technology: Exploring the complex interrelationship between students' attitudes, engagement, gender and achievement. *Computers and Education*, *52*(3), 562–570. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.11.001

Baumeister, R. F., Alquist, J. L., & Vohs, K. D. (2015). Illusions of Learning: Irrelevant Emotions Inflate Judgments of Learning. *Journal of Behavioral Decision Making*, *28*(2), 149–158. https://doi.org/10.1002/bdm.1836

Benko, H., & Wilson, A. D. (2010, November). Multi-point interactions with immersive omnidirectional visualizations in a dome. In *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces* (pp. 19-28).

Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objetives: the classification of educational goals: handbook I: cognitive domain* (No. 373.19 C734t). New York, US: D. Mckay.

Bloom, M. V., & Hanych, D. A. (2002). Skeptics and true believers hash it out. *Community College Week*, *4*(14), 1-8.

Bongard, S. (1995). Mental effort during active and passive coping: A dual-task analysis. *Psychophysiology*, *32*(3), 242–248. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1995.tb02960.x

Boucsein, W. (2012). *Electrodermal activity*. Springer Science & Business Media.

Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How people learn* (Vol. 11). Washington, DC: National academy press.

Broadbent, D. E. (1971). Decision and stress.

Brom, C., Levčík, D., Buchtová, M., & Klement, D. (2015). Playing educational micro-games at high schools: Individually or collectively? *Computers in Human Behavior*, *48*, 682–694. https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.02.025

Bruner, J. (1973). *The relevance of education*. WW Norton & Company.

Buckingham, D., & Scanlon, M. (2000, November). That is edutainment: media, pedagogy and the market place. In *International forum of researchers on young people and the media, Sydney*.

Cahill, L., & McGaugh, J. L. (1998). Mechanisms of emotional arousal and lasting declarative memory. *Trends in Neurosciences*, *21*(7), 294–299.

https://doi.org/10.1016/S0166-2236(97)01214-9

Cairncross, S., & Mannion, M. (2001). Interactive multimedia and learning: Realizing the benefits. *Innovations in Education and Teaching International*, *38*(2), 156–164. https://doi.org/10.1080/14703290110035428

Cho, C. H., & Leckenby, J. D. (1999, March). Interactivity as a measure of advertising effectiveness: Antecedents and consequences of interactivity in web advertising. In *Proceedings Of The Conference-American Academy of Advertising* (pp. 162-179). American Academy of Advertising.

Christopoulos, D., Apostolellis, P., & Onasiadis, A. (2009, September). Educational virtual environments for digital dome display systems with audience participation. In *Proceedings of the 13th Panhellenic Conference in Informatics-Workshop in Education* (pp. 265-275).

Christopoulos, G. I., Uy, M. A., & Yap, W. J. (2019). The Body and the Brain: Measuring Skin Conductance Responses to Understand the Emotional Experience. *Organizational Research Methods*, *22*(1), 394–420. https://doi.org/10.1177/1094428116681073

Coursaris, C. K., & Sung, J. (2012). Antecedents and consequents of a mobile website's interactivity. *New Media and Society*, *14*(7), 1128–1146. https://doi.org/10.1177/1461444812439552

Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (2016). Levels of processing: A framework for memory research. *Memory, Attention, and Aging: Selected Works of Fergus I. M. Craik*, *684*, 54–70. https://doi.org/10.4324/9781315440446

Cretchley, P., Harman, C., Ellerton, N., & Fogarty, G. (1999). *Computation, Exploration, Visualisation: Reaction to MATLAB in First-Year Mathematics*.

Cui, N., Wang, T., & Xu, S. (2010). The Influence of Social Presence on Consumers' Perceptions of the Interactivity of Web Sites. *Journal of Interactive Advertising*, *11*(1), 36–49. https://doi.org/10.1080/15252019.2010.10722176

Cuny, C., Fornerino, M., & Helme-Guizon, A. (2015). Can music improve e-behavioral intentions by enhancing consumers' immersion and experience?. *Information & Management*, *52*(8), 1025-1034.

Cyr, D., Head, M., & Ivanov, A. (2009). Perceived interactivity leading to e-loyalty: Development of a model for cognitive-affective user responses. *International Journal of Human Computer Studies*, *67*(10), 850–869. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2009.07.004

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, *13*(3), 319–339. https://doi.org/10.2307/249008

Davis, M., & Chapel, S. (1997). *Future Directions in Visual Display Systems Visual Display as Human Why Doesn ' t Everyone Desktop Immersion : Larger Monitors ?*

Dellaert, B. G. C., & Kahn, B. E. (1999). How tolerable is delay?: Consumers'

evaluations of internet web sites after waiting. *Journal of Interactive Marketing*, *13*(1), 41–54. https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6653(199924)13:1<41::AID-DIR4>3.0.CO;2-S

Dingeldey, F., Schiewe, M., Gerhardt, J., Ahlers, K. I., & Haulsen, I. (2010). Interactive 3D Stereoscopic Dome with Automatic Calibration. In *Eurographics (Areas Papers)* (pp. 9-16).

Domagk, S., Schwartz, R. N., & Plass, J. L. (2010). Interactivity in multimedia learning: An integrated model. *Computers in Human Behavior*, *26*(5), 1024–1033. https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.03.003

Downes, E. J., & McMillan, S. J. (2000). Defining interactivity: A qualitative identification of key dimensions. *New media & society*, *2*(2), 157-179.

Ducoffe, R. H. (1996). Advertising value and advertising on the web-Blog@ management. *Journal of advertising research*, *36*(5), 21-32.

Durlak, J. T. (1987). A Typology for Interactive Media. Communication Yearbook, 10, ML McLaughlin, ed.

Éthier, J., Hadaya, P., Talbot, J., & Cadieux, J. (2006). B2C web site quality and emotions during online shopping episodes: An empirical study. *Information and Management*, *43*(5), 627–639. https://doi.org/10.1016/j.im.2006.03.004

Evans, M. A., & Rick, J. (2014). Supporting learning with interactive surfaces and spaces. In *Handbook of research on educational communications and technology* (pp. 689-701). Springer, New York, NY.

Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2016). *The museum experience revisited*. Routledge.

Fasih, T. (2008). Linking Education Policy to Labor Market Outcomes. In *Linking Education Policy to Labor Market Outcomes*. https://doi.org/10.1596/978-0-8213-7509-9

Forrest, E. J. (1996). *Relational Control*. *22*(3), 399–421.

Fortin, D. R., & Dholakia, R. R. (2005). Interactivity and vividness effects on social presence and involvement with a web-based advertisement. *Journal of Business Research*, *58*(3 SPEC. ISS.), 387–396. https://doi.org/10.1016/S0148-2963(03)00106-1

Frank, J. A., & Kapila, V. (2017). Computers & Education Mixed-reality learning environments : Integrating mobile interfaces with laboratory test-beds. *Computers & Education*, *110*, 88–104. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.02.009

Geethanjali, B., Adalarasu, K., Hemapraba, A., Kumar, S. P., & Rajasekeran, R. (2017). Emotion analysis using SAM (self-assessment manikin) scale. *Biomedical Research*.

Gibson, J. J. (1966). The senses considered as perceptual systems.

Gibson, J. J. (2019). A Theory of Direct Visual Perception. *Vision and Mind*.

https://doi.org/10.7551/mitpress/7111.003.0007

Goddard, W., Muscat, A., Manning, J., & Holopainen, J. (2016, October). Interactive dome experiences: Designing astrosurf. In Proceedings of the 20th International

Academic Mindtrek Conference (pp. 393-402).

Gray, S. H. (1987). The effect of sequence control on computer assisted learning. *Journal of Computer-Based Instruction*.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, *66*(1), 64–74. https://doi.org/10.1119/1.18809

Hall, T., & Bannon, L. (2005). Designing ubiquitous computing to enhance children's interaction in museums. *Proceedings of: Interaction Design and Children 2005, IDC 2005*, 62–69. https://doi.org/10.1145/1109540.1109549

Hannafin, M. J. (2009). Interaction Strategies and Emerging Instructional Technologies: Psychological Perspectives. *Canadian Journal of Learning and Technology / La Revue Canadienne de l'apprentissage et de La Technologie*, *18*(3). https://doi.org/10.21432/t2gk6g

Heeter, C. (2000). Interactivity in the Context of Designed Experiences. *Journal of Interactive Advertising*, *1*(1), 3–14. https://doi.org/10.1080/15252019.2000.10722040

Hoffman, D. L., & Novak, T. P. (1996). Marketing in Hypermedia Computer-Mediated Environments: Conceptual Foundations. *Journal of Marketing*, *60*(3), 50–68. https://doi.org/10.1177/002224299606000304

Horn, M. S., Solovey, E. T., Crouser, R. J., & Jacob, R. J. K. (2009). Comparing the use of tangible and graphical programming languages for informal science education. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 975–984. https://doi.org/10.1145/1518701.1518851

Huang, Y. M., Liang, T. H., Su, Y. N., & Chen, N. S. (2012). Empowering personalized learning with an interactive e-book learning system for elementary school students. *Educational Technology Research and Development*, *60*(4), 703–722. https://doi.org/10.1007/s11423-012-9237-6

IGI Global. 2020a. What is Pedagogical Design. [ONLINE] Available at: https://www.igi-global.com/dictionary/the-uptake-and-use-of-digital-technologies-and-professional-development/22149. [Accessed 12 May 2020].

IGI Global. 2020b. What is Emotional Valence. [ONLINE] Available at: https://www.igi-global.com/dictionary/improve-the-flipped-classroom-with-universal-design-for-learning/58433. [Accessed 15 April 2020].

II, R. E. W., & Talarzyk, W. W. (1993). Electronic Information Systems for Consumers: An Evaluation of Computer-Assisted Formats in Multiple Decision Environments. *Journal of Marketing Research*, *30*(2), 125. https://doi.org/10.2307/3172823

Ionescu, D. D., Ionescu, A. M., & Jaba, E. (2013). The investments in education and quality of life. *Journal of Knowledge Management, Economics and Information*

*Technology Special*, *December*, 141–158.

Izard, C. E. (1977). 1977 Human emotions. New York, Plenum.

Jacobson, V., Smetters, D. K., Briggs, N. H., Thornton, J. D., Plass, M. F., & Braynard, R.

L. (2009). *Categories and Subject Descriptors*. 1–12.

James, W. (1890). The principles of psychology, vol. 2. ny, us: Henry holt and company.

Jarodzka, H., Janssen, N., Kirschner, P. A., Erkens, G., de Jong, T., Mayer, R. E., Moreno, R., Leppink, J., Paas, F. G. W. C., van Gog, T., van der Vleuten, C. P. M., van Merriënboer, J. J. G., Educational, S., Review, P., Mayer, R. E., Moreno, R., Schmeck, A., Opfermann, M., van Gog, T., … September, N. (2010). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Instructional Science*, *22*(2), 43–52. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801

Jensen, J. F. (1998). Interactivity. *Nordicom Review, Nordic research on media and comunication review*, *19*(2), 191.

Johnson, G. J., Bruner, G. C., & Kumar, A. (2006). Interactivity and its facets Revisited: Theory and empirical test. *Journal of Advertising*, *35*(4), 35–52. https://doi.org/10.2753/JOA0091-3367350403

Kalyuga, S. (2007). *Enhancing Instructional Efficiency of Interactive E-learning Environments : A Cognitive Load Perspective*. 387–399. https://doi.org/10.1007/s10648-007-9051-6

Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (2001). Learner experience and efficiency of instructional guidance. *International Journal of Phytoremediation*, *21*(1), 5–23. https://doi.org/10.1080/01443410124681

Kennedy, G. (2004). Promoting cognition in multimedia interactivity research. *Journal of Interactive Learning Research*, *15*(1), 43-61.

Kiousis, S. (2002). Interactivity: A concept explication. *New Media and Society*, *4*(3), 355–383. https://doi.org/10.1177/146144480200400303

Klayman, J. (1988). Cue discovery in probabilistic environments: Uncertainty and experimentation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *14*(2), 317.

Kleinmuntz, D. N., & Schkade, D. A. (1993). Information displays and decision processes. *Psychological Science*, *4*(4), 221–227. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1993.tb00265.x

Knörzer, L., Brünken, R., & Park, B. (2016). Facilitators or suppressors: Effects of experimentally induced emotions on multimedia learning. *Learning and Instruction*, *44*, 97–107. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.04.002

Ko, H., Cho, C. H., & Roberts, M. S. (2005). Internet uses and gratifications: A structural equation model of interactive advertising. *Journal of Advertising*,

*34*(2), 57–70. https://doi.org/10.1080/00913367.2005.10639191

Kovács, P. T., Murray, N., Rozinaj, G., Sulema, Y., & Rybárová, R. (2015). Application of immersive technologies for education: State of the art. *Proceedings of 2015 International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning, IMCL 2015, November*, 283–288.

https://doi.org/10.1109/IMCTL.2015.7359604

Kuhn, D., & Ho, V. (1980). Self-directed activity and cognitive development. *Journal of Applied Developmental Psychology, 1*(2), 119-133.

Lahey, G. F. (1976). Learner Control of Lesson Strategy: A Model for PLATO IV System Lessons. Technical Report, November 1973 to June 1975. Final Report.

Lampton, D. R., Kolasinski, E. M., Knerr, B. W., Bliss, J. P., Bailey, J. H., & Witmer, B. G. (1994). *SIDE EFFECTS AND AFTEREFFECTS OF IMMERSION IN VIRTUAL ENVIRONMENTS*. 1992–1995.

LANTZ, E. 1997. Future directions in visual display systems. *Computer Graphics*, ACM Press / ACM SIGGRAPH, 31, 2, 38-45.

Lawless, K. A., & Brown, S. W. (1997). *Multimedia learning environments : Issues of learner control and navigation*. 117–131.

Legendre, R. (2005). Dictionnaire de l'éducation (3e éd.). *Montréal, Canada: Guérin*.

Lepper, M. R. (1985). Microcomputers in Education. Motivational and Social Issues. *American Psychologist*, *40*(1), 1–18. https://doi.org/10.1037/0003-066X.40.1.1

Liaw, S. S., & Huang, H. M. (2013). Perceived satisfaction, perceived usefulness and interactive learning environments as predictors to self-regulation in e-learning environments. *Computers and Education*, *60*(1), 14–24. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.07.015

Lim, Y. K., Lee, S. S., & Lee, K. Y. (2009). Interactivity attributes: A new way of thinking and describing interactivity. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 105–108. https://doi.org/10.1145/1518701.1518719

Lin, A., Gregor, S., & Huang, J. (2008). The Hedonic Experience of Enjoyment and Its Relationship to Informal Learning: A Study of Museum Websites. *Icis*, *9*(7), 47–55. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3991/ijet.v9i7.3734

Liu, Y., & Shrum, L. J. (2002). What is interactivity and is it always such a good thing? implications of definition, person, and situation for the influence of interactivity on advertising effectiveness. *Journal of Advertising*, *31*(4), 53–64. https://doi.org/10.1080/00913367.2002.10673685

Loomis, J. M. (1992). Distal attribution and presence. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, *1*(1), 113-119.

Lucht, M., & Heidig, S. (2013). *Applying HOPSCOTCH as an exer-learning game in English lessons : two exploratory studies*. 767–792. https://doi.org/10.1007/s11423-013-9308-3

Masrom, M. (2007). Technology acceptance model and E-learning. *12th International Conference on Education, May*, 21–24.

Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational psychologist*, *38*(1), 43-52.

McNamara, N., & Kirakowski, J. (2005). Defining usability: Quality of use or quality

of experience? *IEEE International Professional Communication Conference*, 200–204. https://doi.org/10.1109/IPCC.2005.1494178

Moreno, R., & Mayer, R. (2007). *Interactive Multimodal Learning Environments*. 309–326. https://doi.org/10.1007/s10648-007-9047-2

Moreno, R., & Valdez, A. (2005). Cognitive load and learning effects of having stufile: *Educational Technology Research and Development*, *53*(3), 35–45. https://doi.org/10.1007/BF02504796

Nakamura, J., & Csikszentmihalyi, M. (2014). The concept of flow. In *Flow and the foundations of positive psychology* (pp. 239-263). Springer, Dordrecht.

Oliver, R., & Herrington, J. (2003). Exploring Technology-Mediated Learning from a Pedagogical Perspective. *Interactive Learning Environments*, *11*(2), 111–126. https://doi.org/10.1076/ilee.11.2.111.14136

Oreopoulos, P. (2007). Do dropouts drop out too soon? Wealth, health and happiness from compulsory schooling. *Journal of Public Economics*, *91*(11–12), 2213–2229. https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2007.02.002

Paivio, A. (1990). *Mental representations: A dual coding approach* (Vol. 9). Oxford University Press.

Pallud, J. (2017). Impact of interactive technologies on stimulating learning experiences in a museum. *Information and Management*, *54*(4), 465–478. https://doi.org/10.1016/j.im.2016.10.004

Parong, J., Barbara, S., Mayer, R., & Barbara, S. (2018). *Learning Science in Immersive Virtual Reality Journal of Educational Psychology*. *January*. https://doi.org/10.1037/edu0000241

Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002). Academic emotions in students' self-regulated learning and achievement: A program of qualitative and quantitative research. *Educational psychologist*, *37*(2), 91-105.

Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., Perry, R. P., Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., Perry, R. P., & Perry, R. P. (2010). *Academic Emotions in Students ' Self-Regulated Learning and Achievement : A Program of Qualitative and Quantitative Research Academic Emotions in Students ' Self-Regulated Learning and Achievement : A Program of Qualitative and Quantitative Research*. *1520*. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3702

Perloff, R. M. (1993). The Dynamics of Persuasion. Lawrence

Perraton, H. D. (2000). Open and distance learning in the developing world. *Psychology Press*.

Petty, R. E., Cacioppo, J. T., & Schumann, D. (1983). Central and Peripheral Routes to Advertising Effectiveness: The Moderating Role of Involvement. *Journal of Consumer Research*, *10*(2), 135. https://doi.org/10.1086/208954

Plass, J. L., Homer, B. D., & Kinzer, C. K. (2015). Foundations of Game-Based Learning. *Educational Psychologist*, *50*(4), 258–283.

https://doi.org/10.1080/00461520.2015.1122533

Pollock, E., Chandler, P., & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, *12*(1), 61–86. https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00016-0

Posner, M. I. (1978). *Chronometric explorations of mind*. Lawrence Erlbaum.

Powell, Bill et al., (1993) "Eyes on the Future", *Newsweek*, Mai 31.

Rafaeli, S. (1988). Interactivity: From new media to communication. In *Sage Annual Review of Communication Research: Advancing Communication Science* (Vol. 16, pp. 111–134). http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Interactivity:+From+New+Media+to+Communication#0%5Cnfile:///Users/Home/Dropbox/Masters Thesis/Articles/Interactivity/Rafeili_?.Interactivity.pdf

Richardson, B. L., Wuillemin, D. B., & MacKintosh, G. J. (1981). Can passive touch be better than active touch? A comparison of active and passive tactile maze learning. *British Journal of Psychology*, *72*(3), 353-362.

Ritchie, D. C., & Hoffman, B. (1997). Incorporating instructional design principles with the World Wide Web. *Web-based instruction*, 135-138.

Romiszowski, A. J. (2004). How's the e-learning baby? Factors leading to success or failure of an educational technology innovation. *Educational technology*, *44*(1), 5-27.

Rosenberg, M. J. (1960). A Structural Theory of Attitude Dynamics. *Public Opinion Quarterly*, *24*(2, Special Issue: Attitude Change), 319. https://doi.org/10.1086/266951

Salmon, G. (2009). The future for (second) life and learning. *British Journal of Educational Technology*, *40*(3), 526–538. https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.00967.x

Schutte, J. (1997). Virtual teaching in higher education:The new intellectual superhighway or just another traffic jam? *California State University, Northridge*. https://doi.org/10.1086/649921

Schwartz, R. N., & Plass, J. L. (2014). Click versus drag: User-performed tasks and the enactment effect in an interactive multimedia environment. *Computers in Human Behavior*, *33*, 242–255. https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.01.012

Serino, S., Repetto, C., & Elliott, E. M. (2018). *New Trends in Episodic Memory*

*Assessment : Immersive 360 ◦ Ecological Videos*. *9*(October), 1–6. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01878

Shaw, J., & Lantz, E. (1998). Dome theaters: Spheres of influence. *TiLE Proceedings*, 59-65.

Sheridan, T. B. (1992). Musings on telepresence and virtual presence. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, *1*(1), 120-126.

Sicilia, M., Ruiz, S., & Munuera, J. L. (2005). Effects of interactivity in a web site: The moderating effect of need for cognition. *Journal of Advertising*, *34*(3), 31–45. https://doi.org/10.1080/00913367.2005.10639202

Song, H. S., Pusic, M., Nick, M. W., Sarpel, U., Plass, J. L., & Kalet, A. L. (2014). Computers & Education The cognitive impact of interactive design features for learning complex materials in medical education. *Computers & Education*, *71*, 198–205. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.017

Soto Sanfiel, M. T., Aymerich Franch, L., Ribes Guardia, F. X., & Martinez Fernandez, J. R. (2011). Influence of interactivity on emotions and enjoyment during consumption of audiovisual fictions. *International Journal of Arts and Technology*, *4*(1), 111-129.

Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*, *42*(4), 73–93. https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x

Stiglitz, J. E., Sen, A., & Fitoussi, J.-P. (2009). *Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress*.

Suh, A., & Prophet, J. (2018). Computers in Human Behavior The state of immersive technology research : A literature analysis. *Computers in Human Behavior*, *86*, 77–90. https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.04.019

Sumners, C., Reiff, P., & Weber, W. (2008). Learning in an immersive digital theater. *Advances in Space Research*, *42*(11), 1848–1854. https://doi.org/10.1016/j.asr.2008.06.018

Szuprowicz, B. O. (1995). *Interactive communications: new technologies and future directions*. Computer Technology Research Corp..

Teo, H. H., Oh, L. Bin, Liu, C., & Wei, K. K. (2003). An empirical study of the effects of interactivity on web user attitude. *International Journal of Human Computer Studies*, *58*(3), 281–305. https://doi.org/10.1016/S1071-5819(03)00008-9

Vrugt, A., & Oort, F. J. (2008). *Metacognition , achievement goals , study strategies and academic achievement : pathways to achievement*. 123–146. https://doi.org/10.1007/s11409-008-9022-4

Wang, H. (2011). *Interactivity Design in E-Learning*. 1–28. https://doi.org/10.4018/978-1-61350-441-3.ch001

Webster, J., & Hackley, P. (1997). Teaching effectiveness in technology-mediated

distance learning. *Academy of Management Journal*, *40*(6), 1282–1309.

https://doi.org/10.2307/257034

Wise, K., & Reeves, B. (2007). The effect of user control on the cognitive and emotional processing of pictures. *Media Psychology*, *9*(3), 549–566.

https://doi.org/10.1080/15213260701283186

Wu, G. (1999). Perceived interactivity and attitude toward web sites. In *Proceedings of the conference-American Academy of Advertising* (pp. 254-262). American Academy of Advertising.

Wu, G. (2005). The mediating role of perceived interactivity in the effect of actual interactivity on attitude toward the website. *Journal of Interactive*

*advertising*, *5*(2), 29-39.

Yates, C. (2002, July). Mozambique out-of-school secondary education demonstration project. I EC: Cambridge, UK.

Yu, K. C. (2005). *Digital Full-Domes : The Future of Virtual Astronomy Education*. *34*(3).