

Université de Montréal

**Modélisation et maintien de l'engagement dans un
environnement du jeu vidéo émotionnel**

par

Samira Bouslimi

Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle

Faculté des Arts et des Sciences

Mémoire présenté à la Faculté des Arts et des Sciences
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise (M.Sc.)
en Informatique

Mars, 2017

© Samira Bouslimi, 2017

Résumé

Les études récentes sur les Interactions Homme-Machine ont intégré la dimension émotionnelle dans l'évaluation de l'expérience de l'utilisateur. En effet, un nouveau courant de recherche est apparu à savoir l'*informatique affective*, qui a donné lieu à une nouvelle génération de jeux vidéo capables d'interagir avec l'utilisateur en prenant en considération ses émotions, appelée jeux vidéo affectifs. L'objectif principal de ces jeux est de garder le joueur engagé durant la session du jeu. Pour y arriver, le jeu vidéo doit mesurer et réguler l'état émotionnel du joueur en ajustant ses différents composants. Malgré le nombre important des recherches qui visent à améliorer le processus de détection émotionnelle, toutes les mesures utilisées jusqu'à présent ont montré certaines limites à cause de la complexité d'interprétation du concept émotionnel.

Dans le présent travail, nous proposons de mesurer et soutenir l'engagement mental du joueur dans un environnement de jeu vidéo. Nous avons d'abord développé une première version de jeu vidéo et nous avons conduit une première étude expérimentale pour mesurer l'engagement mental du joueur à partir d'un index d'engagement mental extrait des données de l'activité cérébrale du joueur et plus précisément l'électroencéphalographie (EEG). Nous avons ensuite développé une deuxième version de jeu vidéo capable de capter l'état d'engagement mental (engagé, désengagé) du joueur et de déclencher un ensemble de stratégies d'engagement. Finalement, nous avons réalisé une deuxième étude expérimentale pour vérifier la capacité de ces stratégies à corriger l'état de manque d'engagement (désengagement) à augmenter et à maintenir le niveau d'engagement du joueur durant le jeu.

Mots-clés : jeux vidéo, engagement mental, émotions, électroencéphalographie, stratégies d'engagement.

Abstract

Recent studies in human-machine interactions have integrated the emotional dimension into the evaluation of the user's experience. Indeed, a new current research has emerged, namely *affective computing*, which has given rise to a new generation of video games capable of interacting with the user taking into consideration his emotions, called affective video games. The main objective of the games is to keep the player engaged during the game session. To achieve this, the video game must measure and regulate the player's emotional state by adjusting its different components accordingly. Although the large number of researches that aim to improve emotional detection processes, all the measures used up to now have shown some limitations, because of the complexity of the emotional concept interpretation.

In this work, we add to these studies by formally proposing to measure and support the player's mental engagement in a video game environment. First, we developed a first version of video game and we conducted a first experimental study to measure the player's mental engagement from a mental engagement index extracted from the player's brain activity data, and more precisely Electroencephalography (EEG). Second, we developed a second version of video game capable of capturing the player's mental engagement state (engaged, disengaged) and triggering a set of engagement strategy. Finally, we carried out a second experimental study to verify the ability of these strategies to correct the engagement lack state (disengagement) and to increase and maintain the player engagement level during the game.

Keywords: video games, mental engagement, emotions, electroencephalography, engagement strategy.

Table des matières

Résumé	i
Abstract.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures	vii
Liste des abréviations	ix
Remerciements.....	xi
Chapitre 1. Introduction	1
1.1 Contexte général.....	1
1.2 Problématique	3
1.3 Objectifs de recherche	4
1.4 Organisation du mémoire.....	5
Chapitre 2. États de l’art.....	7
2.1 Introduction.....	7
2.2 Jeux vidéo et intelligence artificielle	7
2.2.1 Définition du jeu vidéo	7
2.2.2 Historique.....	8
2.2.3 L’industrie du jeu vidéo	14
2.2.4 Intelligence artificielle	15
2.2.5 Agent intelligent	17
2.2.6 Conclusion.....	21
2.3 Le phénomène émotionnel dans les jeux vidéo.....	21
2.3.1 Définition du concept de l’émotion	22
2.3.2 Approches de modélisation des émotions	23
2.3.3 Les mesures des émotions dans les jeux vidéo.....	25
2.3.4 Conclusion.....	34

2.4 Étude de la notion d'engagement dans les jeux vidéo	34
2.4.1 La notion d'engagement mental	34
2.4.2 La modélisation d'engagement dans les jeux vidéo	36
2.4.3 Calcul de l'index d'engagement mental.....	39
2.4.4 Stratégies d'engagement dans les jeux vidéo	41
2.5 Conclusion	42
Chapitre 3. Modélisation de l'engagement mental dans un jeu vidéo	43
3.1 Introduction.....	43
3.2 Développement et description du jeu vidéo DangerIslandV1	43
3.2.1 Plateforme de développement	43
3.2.2 Scénario.....	44
3.2.3 Jeu vidéo de rôle	44
3.2.4 Interface du jeu vidéo.....	45
3.2.5 Environnement du jeu vidéo.....	46
3.2.6 Les agents.....	47
3.3 Expérience 1 : Mesure et évaluation de l'engagement mental dans un jeu vidéo.....	49
3.3.1 Méthodologie.....	49
3.3.2 Traitements des données EEG.....	51
3.3.3 Collection et traitement des données du questionnaire	52
3.3.4 Résultats expérimentaux	53
3.3.5 Discussion	57
3.3.6 Conclusion.....	58
Chapitre 4. Étude des stratégies d'engagement dans un jeu vidéo	60
4.1 Introduction.....	60
4.2 Le jeu vidéo DangerIslandV2	61
4.3 Stratégies d'engagement	61
4.4 Expérience 2 : Étude des stratégies d'engagement dans le jeu vidéo DangerIslandV2 ...	64
4.4.1 Processus expérimental.....	64
4.4.2 Collection et traitement des données	64
4.5 Résultats expérimentaux	65

4.5.1	Corrélation entre la mesure d'engagement (EEG) et la mesure d'auto-évaluation ..	66
4.5.2	Évaluation des stratégies d'engagement dans le jeu vidéo DangerIslandV2	66
4.5.2	La relation entre l'état d'engagement mental et les émotions du joueur	71
4.6	Discussion	74
4.7	Conclusion	75
Chapitre 5. Conclusions		77
5.1	Contributions.....	77
5.2	Limites et recommandations	78
Bibliographie		80

Liste des tableaux

Tableau 3.1 – Description statistique des pourcentages de différents types d’émotions des joueurs.	54
Tableau 3.2 – Description statistique des pourcentages de différents types d’émotions selon le sexe et le type des joueurs (régulier, non-réguliers).	55
Tableau 3.3 – Description statistique des niveaux d’engagement des joueurs durant les sessions du jeu.....	56
Tableau 4. 1 – Les stratégies d’engagement dans le jeu vidéo DangerIslandV2.....	63
Tableau 4.2 – Résultat de SAS pour la corrélation entre la mesure d’engagement et le questionnaire.	66
Tableau 4.3 – Description statistique des pourcentages des émotions des joueurs féminins et masculins selon l’état d’engagement mental (engagé et désengagé).....	72
Tableau 4.4 – Description statistique des pourcentages des émotions des joueurs réguliers et non-réguliers selon l’ état d'engagement mental (engagés et désengagés).	73

Liste des figures

Figure 2.1 – Premier jeu vidéo tennis for two	9
Figure 2.2 – Le jeu vidéo Pong.....	10
Figure 2.3 – Le premier jeu vidéo 3D (3D Monster Maze)	11
Figure 2.4 – Le développement des consoles: [1] Fairchild Semiconductor (1976), [2] NES (1985) et [3] Xbox One (2013).....	13
Figure 2.5 – L’interaction d’agent intelligent avec son environnement	18
Figure 2.6 – Agent à réflexe simple (Russell & Norvig, 2009).....	19
Figure 2.7 – Agent conversant une trace de monde (Russell & Norvig, 2009).....	19
Figure 2.8 – Agent basé sur le but (Russell & Norvig, 2009).	20
Figure 2.9 – Agent basé sur une fonction d’utilité (Russell & Norvig, 2009)	20
Figure 2.10 – Les 6 classes d’émotions (Ekman & Friesen, 1975)	23
Figure 2.11 – Le modèle Circumplex (Feldman & Russell, 1998).....	25
Figure 2. 12 – Exemple de mesure subjective: Self-Assessment Manikinscale (SAM) (Bradley & Lang, 1994).....	27
Figure 2.13 – Mesure comportementale: Facial Action Coding System (FACS) : Exemples d’expressions faciales (Ekman & Friesen, 1984).	30
Figure 2.14 – Exemples de mesures physiologiques: [1] bracelet Q-Sensor ; [2] capteur de pression du volume sanguin.....	32
Figure 2.15 – Exemple de signal EEG	39
Figure 3. 1 – L’interface du jeu vidéo DangerIslandV1.....	46
Figure 3. 2 – L’environnement du jeu vidéo DangerIslandV1	47
Figure 3.4 – Les agents de jeu vidéo DangerIslandV1	48
Figure 3.5 – Emplacement des électrodes EEG.....	50
Figure 3.6 – Le casque EEG Emotiv Epoc.....	51
Figure 3.7 – Description de la distribution des différences entre l’index d’engagement et la mesure d’engagement des participants.....	57
Figure 4.1 – Un agent ennemi (stratégie d’engagement) dans le jeu vidéo	63
Figure 4.2 – Pourcentages des stratégies d’engagement déclenchées par le jeu vidéo.....	67
Figure 4.3 – Pourcentage des joueurs engagés par les stratégies d’engagement.....	67

Figure 4.4 – Variation des pourcentages des stratégies d’engagement suivant le type du joueur.	68
Figure 4.5 – Variation des pourcentages des stratégies d’engagement suivant le sexe du joueur.	68
Figure 4.6– L’évolution des stratégies d’engagement en fonction du temps.	69
Figure 4.7 – Variation du nombre de participants en fonction du temps et des stratégies d’engagement.....	70
Figure 4.8 – Moyenne de la mesure d’engagement selon les stratégies d’engagement.....	71

Liste des abréviations

BMIS : Brief Mood Inventory Scale
BVP : Blood Volume Pressure
CMS: Common Mode Sense
DRL : Driven Right Leg
EEG : ÉlectroEncéphaloGraphie
EMG : ÉlectroMyoGraphie
EQ : Engagment Questionnaire
EVG : Emotion Evoking Game
FACS : Facial Action Coding System
FPS : First Person Shooting
FUGA : Fun of Gaming
GAME : Geneva Appraisal Manipulation Environment
GEQ : Game Experience Questionnaire
GSR : Galvanic Skin Réponse
ICM : Interfaces Cerveau-Machine
NASA : National Aeronautics and Space Administration
NES : Nintendo Entertainment System
RPG : Role Playing Game
SAM : Self-Assessment Manikinscale
TFR : Transformée de Fourier Rapide
UES : User Engagement Scale

À mes chers parents, mon mari et toute ma famille

Remerciements

C'est un plaisir de remercier tous les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire. En premier lieu, je remercie grandement Monsieur Claude Frasson, mon directeur de recherche, pour sa confiance et ses conseils éclairés tout au long de ce mémoire.

Je voudrais remercier aussi, mes collègues Sahbi et Hamdi qui m'ont aidé durant la phase de développement du jeu vidéo.

Je remercie énormément mon mari Mounir pour sa patience, ses sacrifices et d'avoir s'occuper de nos filles pendant que j'étais absente. C'est grâce à son aide que j'ai pu finir ce travail.

Je tiens à remercier également, mes parents, mon frère et mes sœurs pour leur encouragement et leur soutien moral durant les moments difficiles.

Chapitre 1. Introduction

1.1 Contexte général

L'industrie du jeu vidéo est un domaine en grande expansion qui a connu une croissance importante en nombre de jeux développés et en complexité. Ce domaine a réussi en minimum de temps à attirer autant de femmes que d'hommes de différentes générations et les jeux vidéo sont plus présents dans les différentes plateformes telles que les ordinateurs, les appareils mobiles et les consoles de jeu.

La popularité des jeux vidéo est due à l'expérience interactive offerte par ce système qui n'ignore pas le rôle du joueur comme les autres types de médias. Mais, il fait de lui une partie de l'activité et il supporte ces actions (Salen & Zimmerman, 2004). Un jeu vidéo doit offrir une expérience physique et psychologique plaisante qui permette au joueur de s'attacher au monde du jeu et d'interagir avec les différents éléments de son environnement. En effet, le plaisir est la sensation la plus intrinsèque de l'expérience de jeu qui tire ces origines de la dimension émotionnelle.

En général, les émotions ont un rôle essentiel dans notre vie et elles font partie intégrante de différents détails de notre quotidien. Elles peuvent intervenir dans nos actions, orienter nos comportements et tracer notre façon de vivre et de communiquer dans la société. Les émotions fonctionnent aussi comme un système de guidage précieux qui mène l'être humain à une stabilité sociale et physique et lui permet de survivre au sein d'un groupe tout en créant des règles et des limites qui lui permettent de respecter l'autre, de protéger ses droits et d'accomplir ses devoirs. La variété, le changement, ainsi que l'intensité de l'émotion ont une influence directe sur l'attitude de l'être humain. Par exemple, les émotions négatives comme la peine, la souffrance ou la douleur peuvent nous orienter vers des comportements impropres comme la violence et l'agression. Damasio (1994) et Isen (2000) décrivent ce type d'émotion comme désagréable pour les êtres humains à cause de l'influence négative sur ses performances. En revanche, les émotions positives telles que la joie, l'espoir et la fierté nous

guident vers des pensées positives et des idées motivantes qui nous permettent de vivre dans un état de plaisir prolongé.

Ainsi, les émotions interviennent dans le processus de raisonnement, de mémorisation de différentes actions pour qu'on soit capable de prendre une meilleure décision. Cette hypothèse est approuvée par des études neurologiques réalisées par Damasio (1994), qui a montré que les patients qui souffrent des lésions au niveau des tissus de lobes préfrontaux ne pouvaient ni avoir des émotions ni prendre la moindre décision. Donc, la manière de penser d'un être humain dépend de sa façon de raisonner ainsi que de ses émotions.

Dans le domaine de l'informatique, depuis longtemps, certains chercheurs ont souligné que les systèmes informatiques devraient être caractérisés par une dimension émotionnelle (Minsky, 1988; Sloman & Croucher, 1981). Par conséquent, la prise en considération de l'émotion a donné naissance à une nouvelle forme d'intelligence à savoir l'intelligence émotionnelle, qui est définie comme la capacité d'exprimer, de percevoir, de diriger et de connaître ses émotions et celle d'autrui (Mayer & Salovey, 1997).

Le concept d'intelligence émotionnelle a attiré l'attention de plusieurs chercheurs et il a permis l'émergence d'un nouveau courant de recherche à savoir l'informatique affective (Picard, 1997). Ce courant dérive de l'interaction Homme-Machine et il s'intéresse à améliorer les capacités des systèmes informatiques avec des différentes caractéristiques de l'intelligence émotionnelle afin d'intégrer des nouvelles performances aux ordinateurs, qui leur permettent d'interagir avec l'utilisateur en prenant en considération ses émotions (Picard, 1997). En effet, l'informatique affective vise à élargir l'intelligence émotionnelle humaine aux machines dans le but de créer des meilleures interactions entre l'utilisateur et la machine, d'améliorer la qualité de réponse ainsi que diminuer la différence d'intelligence qui existait depuis longtemps entre la machine et l'être humain. Picard (1997) dans son livre *informatique affective* a abordé deux thèmes de recherches importants: le premier est la reconnaissance des émotions et le deuxième est l'expression des émotions. Le premier thème de recherche vise à doter les machines de nouvelles technologies qui permettent d'identifier et d'évaluer l'état émotionnel de l'utilisateur. Le deuxième thème de recherche consiste à modéliser les processus émotionnels dans les systèmes informatiques, de telle sorte que les machines soient capables

de répondre aux émotions de l'utilisateur par un ensemble des réactions émotionnelles adéquates (Picard, 1997).

Le domaine de l'informatique affective a marqué des changements importants dans les interactions Homme-Machine et il a créé une révolution technologique dans différents domaines dont notamment le domaine du jeu vidéo.

Suite à cette révolution, un nouveau type de jeu vidéo commence apparaître, à savoir les jeux vidéo affectifs (Gilleade & Allanson, 2003; Gilleade & Dix, 2004; Sakurazawa et al., 2004; Sykes & Brown, 2003). Ces jeux vidéo sont capables de mesurer et de réguler l'état émotionnel du joueur en ajustant ses différents composants afin de le garder engagé durant la session du jeu (Gilleade et al., 2005).

1.2 Problématique

Un des objectifs essentiels d'un jeu vidéo affectif est de garder le joueur engagé durant le jeu. Pour réaliser cela, il faut mesurer ses émotions. Ce courant de recherche a attiré un grand nombre des chercheurs qui ont utilisé différentes mesures pour mesurer les états affectifs des joueurs. Parmi lesquelles, nous citons les questionnaires d'auto-évaluation qui permettent au joueur d'évaluer lui-même son expérience émotionnelle (de Kort et al., 2007; Drachen et al., 2010; IJsselsteijn, Poels, et al., 2008; IJsselsteijn, van den Hoogen, et al., 2008; Poels et al., 2007). Aussi, les chercheurs se sont basés sur des indices comportementaux tels que les expressions faciales (Kaiser et al., 1998; Wang & Marsella, 2006). D'autres approches se sont également appuyées sur des senseurs physiques capables de capter des aspects physiologiques pour indiquer l'état émotionnel du joueur (Dawson et al., 2000; Ravaja et al., 2005; Wu et al., 2010).

Malgré, le nombre important de recherches qui visent à améliorer le processus de détection émotionnelle dans les jeux vidéo, toutes les mesures utilisées jusqu'à présent ont montré certaines limites, à cause de la difficulté de déterminer les facteurs principaux qui peuvent provoquer l'émotion. En effet, ce phénomène dépend de différents éléments tels que : la personnalité, l'objectif et les préférences du joueur (Conati, 2002). Dans ce mémoire, pour

remédier à la complexité du processus de détection émotionnel afin de garder l'engagement du joueur durant le jeu. Nous mettons l'accent sur les états mentaux du joueur. Ainsi, dans le domaine du jeu vidéo la majorité des études de recherches se sont basées sur des mesures subjectives (Bianchi-Berthouze, 2010; Brockmyer et al., 2009) ou comportementales (Bianchi-Berthouze, 2010, 2013) pour mesurer l'engagement mental du joueur. Très peu des travaux menés dans ce courant de recherche se sont appuyés sur des mesures physiologiques. Pour combler ce manque, nous proposons de mesurer l'engagement mental du joueur à partir d'un indice d'engagement extrait de l'activité cérébrale de l'apprenant à partir d'électroencéphalographie (EEG).

Bien que l'importance de la notion d'engagement mentale et son influence sur l'expérience du joueur dans les jeux de rôle «*Role Playing Game*» (RPG). Il n'existe pas beaucoup d'études pour soutenir l'engagement du joueur durant son expérience du jeu. La question des stratégies d'engagement a été surtout abordée dans les jeux éducatifs pour corriger les émotions défavorables des apprenants afin de garder leur engagement durant le processus d'apprentissage (Deater-Deckard et al., 2013; Khedher & Frasson, 2015). Dans ce mémoire, nous proposons de développer un jeu vidéo de rôle capable de capter l'état d'engagement mental du joueur (engagé, désengagé) et de déclencher un ensemble de stratégies d'engagement pour maintenir son engagement durant une session du jeu.

1.3 Objectifs de recherche

Le présent mémoire vise à mesurer et soutenir l'engagement mental du joueur dans un environnement de jeu vidéo. De façon plus précise durant ce mémoire nous souhaitons réaliser ces deux objectifs:

- i. Mesurer l'engagement mental du joueur à partir d'un indice d'engagement extrait de l'activité cérébrale de l'apprenant et plus précisément l'électroencéphalographie (EEG).
- ii. Soutenir l'engagement du joueur durant le jeu vidéo en proposant un ensemble de stratégies d'engagement.

Pour accomplir le premier objectif, nous avons développé la première version du jeu vidéo DangerIslandV1 et nous avons réalisé une première étude expérimentale. Durant laquelle, nous avons d'abord mesuré les émotions du joueur durant le jeu vidéo dangerIslandV1 en se basant sur une méthode d'auto-évaluation qui permet aux joueurs de déterminer leurs états émotionnels sans interrompre l'expérience de jeu. Nous avons réalisé aussi une étude statistique pour déterminer la différence entre les expériences émotionnelles suivant le sexe et les types des joueurs (régulier, non-régulier). Nous avons également mesuré l'engagement mental du joueur à partir d'un index d'engagement mental extrait de l'activité cérébrale du joueur et plus précisément l'électroencéphalographie (EEG). Cet index a été développé à la « *National Aeronautics and Space Administration* » (NASA) (Pope et al., 1995). Nous allons vérifier si cet index peut évaluer l'état d'engagement mental des joueurs. Aussi, nous allons analyser la relation qui pourrait exister entre l'index d'engagement et l'état affectif du joueur.

Pour réaliser notre deuxième objectif, une deuxième étude expérimentale a été faite. Durant cette expérience, nous proposons un ensemble de stratégies d'engagements et nous allons vérifier leurs capacités à corriger le manque d'engagement (désengagement), à augmenter et à maintenir le niveau d'engagement du joueur durant le jeu vidéo. Ainsi, nous nous intéressons à analyser la relation qui existe entre l'état d'engagement mental (engagé, désengagé) et les émotions du joueur. Pour accomplir ce deuxième objectif, nous avons développé une deuxième version du jeu vidéo DangerIslandV2 capable de capter l'état de manque d'engagement du joueur (désengagement) et de déclencher un ensemble de stratégies en conséquence.

1.4 Organisation du mémoire

Dans le chapitre suivant de ce mémoire, nous commençons par présenter un survol sur l'historique des jeux vidéo. Nous exposons aussi, un aperçu sur l'industrie du jeu vidéo et nous décrivons le concept d'intelligence artificielle et particulièrement les agents intelligents. Nous étudions également, le phénomène émotionnel et les différentes approches de modélisation et de détection des émotions dans les jeux vidéo. Par la suite, nous exposons la notion d'engagement mental. Ainsi que, les différentes approches utilisées pour le modéliser. Nous

décrivons également la technique utilisée pour extraire l'index d'engagement à partir de l'activité cérébrale et plus précisément l'électroencéphalographie (EEG). À la fin de ce chapitre, nous présentons les études des stratégies d'engagement dans les jeux vidéo.

Dans le chapitre 3, nous décrivons la phase de conception et de développement du jeu vidéo DangerIslandV1. Par la suite, nous présentons les différentes étapes de notre étude expérimentale. Nous exposons ainsi les résultats obtenus par cette étude. Nous finissons ce chapitre par une discussion de ces résultats.

Dans le chapitre 4, nous décrivons le jeu vidéo DangerIslandV2. Nous présentons également les différentes stratégies d'engagement incorporées dans le jeu vidéo. À la fin de ce chapitre, nous décrivons les étapes de notre deuxième étude expérimentale et nous exposons et discutons les résultats trouvés.

Enfin, dans la conclusion de ce mémoire, nous résumons les contributions et les limites de nos recherches et nous proposons des idées pour les travaux futurs afin d'améliorer le processus modélisation et de soutien de l'engagement mental du joueur dans les jeux vidéo.

Chapitre 2. États de l'art

2.1 Introduction

Ce chapitre est réservé à l'analyse de la littérature. Nous commençons par présenter un bref historique sur les jeux vidéo. Nous exposons également, un aperçu sur l'industrie du jeu vidéo. et nous décrivons le concept d'intelligence artificielle et particulièrement les agents intelligents. À partir de la deuxième section, nous nous intéressons au phénomène émotionnel et nous examinons les différentes approches de modélisation et de détection des émotions dans les jeux vidéo. Dans la section 3 de ce chapitre, nous exposons la notion d'engagement mental. Ainsi que, les différentes approches utilisées pour le modéliser. Aussi, nous décrivons la technique utilisée pour extraire l'index d'engagement à partir de l'activité cérébrale et plus précisément l'électroencéphalographie. Nous finissons ce chapitre par présenter les études des stratégies d'engagement dans les jeux vidéo.

2.2 Jeux vidéo et intelligence artificielle

2.2.1 Définition du jeu vidéo

Un jeu vidéo est une activité basée sur un ensemble de règles et caractérisée par un objectif et une fin. De plus, un jeu vidéo est un système interactif qui transporte le joueur au milieu de l'activité qui lui permet d'interagir avec les différents éléments de son environnement (Salen & Zimmerman, 2004). Ce système supporte ainsi les actions du joueur et lui fait partie de l'activité.

L'interactivité est un critère important qui fait la différence entre les jeux vidéo et les autres types de médias qui ignorent le récepteur et lui donnent toujours un rôle passif. Par contre, un jeu vidéo garantit au joueur une expérience interactive diégétique qui lui offre le sentiment d'être présent dans le monde du jeu. Pendant cette expérience, les interactions du joueur avec les différents composants de son environnement et ses réactions envers les

événements et les défis peuvent déclencher différents types de son, tels que les dialogues, les effets sonores et les sons d'ambiances.

Le son présente un élément important d'interactivité dans le jeu vidéo qui garde le joueur engagé et ajoute du réalisme et de l'ambiance dans le jeu. En effet, les actions du joueur qui lui permet de progresser dans le jeu peuvent provoquer un changement dans l'environnement du jeu, ce qui implique de nouveaux effets d'éclairage, d'images et de couleurs. Le changement du contenu visuel aide beaucoup le joueur à maintenir son intérêt à jouer.

Un autre élément important qui améliore l'interactivité dans les jeux vidéo à savoir l'aspect non linéaire, qui procure au joueur la capacité de jouer le jeu de différentes façons, ce qui empêche les séquences répétitives et les tâches ennuyeuses. Cet aspect non linéaire aide le joueur à découvrir de nouveaux éléments dans le jeu chaque session du jeu, de telle façon que le joueur garde toujours l'envi de jouer le même jeu pour plusieurs fois, ce qui augmente sa durée de vie.

2.2.2 Historique

Afin de comprendre et de suivre l'évolution des jeux vidéo, on présentera dans cette section un historique sur les jeux vidéo ainsi que les dates importantes qui ont marqué la croissance de l'industrie du jeu vidéo sur le côté technique et matériel.

2.2.2.1 Les premiers jeux vidéo

En 1950 Willy Higinbotham, un physicien de laboratoire national de Brookhaven situé à New York a inventé le premier jeu au monde appelé « *tennis for two* » (Figure 2.1), afin de divertir les visiteurs et les physiciens de laboratoire pendant les pauses. Ce premier jeu a été créé sur un ordinateur analogique avec un oscilloscope et il se joue à deux. Chaque joueur disposait d'un boîtier équipé d'une molette pour choisir l'angle et d'un bouton pour frapper la balle. L'écran de l'oscilloscope affichait une ligne horizontale représentant le terrain, une ligne verticale représentant le filet, ainsi que la trajectoire de la balle.

Les jeux vidéo qui ont été inventés à la fin des années 50 et le début des années 60 n'ont pas été commercialisés et ont été tous développés aux laboratoires de « *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) » et à l'Université de Cambridge et ils ont été utilisés par les étudiants et les scientifiques.

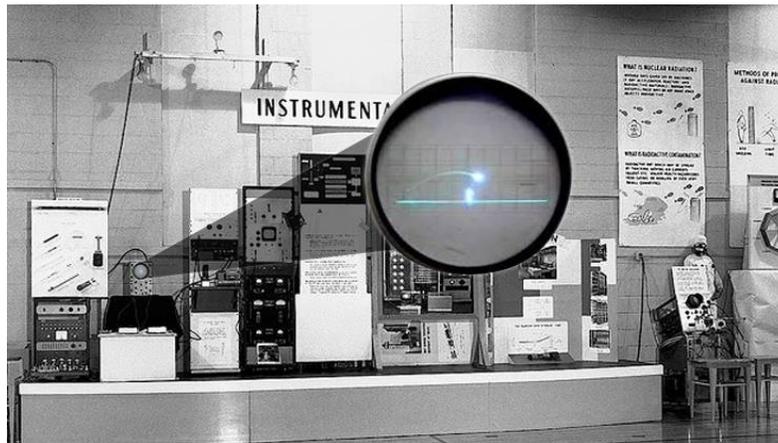


Figure 2.1 – Premier jeu vidéo tennis for two¹

2.2.2.2 l'époque d'arcade

Cette époque a débuté en 1962 avec le jeu vidéo « *Space War* » qui a été inventé aussi dans les laboratoires du « *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) » par Steve Russel et ses étudiants.

En 1971, « *Galaxy Game* » est une version reprogrammée de « *Space War* » a été inventé par Nolan Bushnell. Il est considéré comme le premier jeu vidéo d'arcade commercialisée. Ce type du jeu n'a pas connu un grand succès. Nolan Bushnell a continué le travail en 1972, il a fondé sa propre Société « *Atari* » et il a réussi à développer et à commercialiser le jeu vidéo « *Pong* » (Figure 2.2) qui a connu un grand succès et a marqué l'évolution de l'industrie du jeu vidéo.

¹ <http://computingforever.com/2014/09/12/first-video-game-grand-theft-auto-online/>



Figure 2.2 – Le jeu vidéo Pong²

En **1978**, « *Space Invader* » a été développé par « *Taito* » et a été considéré comme le premier jeu qui gardait le score du joueur en mémoire.

En **1980**, la compagnie « *Namco* » a inventé le jeu d'arcade le plus connu « *Pac-Man* ».

En **1981**, l'invention du premier jeu 3D « *3D Monster Maze* » qui met le joueur en défi d'on sortir de labyrinthe sans se faire manger par un monstre (Figure 2.3).

En **1984**, Alexei Pajitnov a développé le célèbre jeu vidéo « *Tetris* » qui a marqué un grand succès dans le domaine du jeu vidéo. Pendant ce jeu, le joueur déplace différentes formes pour former des lignes complètes

² <https://en.wikipedia.org/wiki/Pong>



Figure 2.3 – Le premier jeu vidéo 3D (3D Monster Maze) ³

2.2.2.4 L'ère des consoles

Le début des consoles

Cette époque a commencé au début des années 70 avec l'invention de la première console du salon au monde nommé « *Odissey* » qui a été distribué par la compagnie « *Magnavo* ».

En 1976, « *Fairchild Semiconductor* » a produit la première console du jeu basé sur un système de cartouche (Figure 2.4 [1]).

En 1977, la compagnie Atari invente sa console « *Pong* » pour les foyers. Dans la même année, Atari a réussi à conquérir le marché avec une nouvelle console du jeu puissant nommée « *Vidéo Computer System (VCS)* », qui a été renommée par la suite « *Atari 2600* ».

La révolution des consoles

Pour se démarquer de la concurrence et attirer le maximum de clientèle, les compagnies du jeu vidéo ont ajouté des améliorations générales sur les consoles au niveau des graphismes, des capacités des processeurs, taille de mémoire et des supports de stockage. Ces nouvelles capacités

³ <http://www.caiman.us/scripts/fw/fl053.html>

permettaient de mettre au point des nouvelles consoles plus performantes et des jeux plus complexes qui répondaient aux demandes des usagers assez différentes et diversifiées.

En **1978**, l'invention de « *Magnavox Odyssey 2* » qui était équipée d'un processeur principal Intel 8048 cadencé à 1,79 MHz, de 256 bits de mémoire vive et 1 Ko de ROM.

En **1979** apparaît la première console du jeu vidéo portable nommée la « *Microvision* » par la compagnie «*Milton Bradley (MB)*». Il a été basé de cartouches et équipé d'un écran LCD.

En **1980**, la Mattel Intellelevision invente « *Intellivision* », une console très performante avec des meilleures qualités de graphisme et un processeur de 16 bits.

En **1982**, l'année a été marquée par l'apparition de la console « *Vectrex* » sur le marché. Ce type de console a donné naissance aux jeux vidéo vectoriels.

La révolution des consoles a continué à l'exception de krach qui a marqué la période entre **1982-1984**. Le grand retour était en **1985** avec l'invention de « *Nintendo Entertainment System (NES)* » par la compagnie Nintendo (Figure 2.4 [2]).

En **1986**, la compagnie Saga lance la console « *Master System* » qui a été dotée d'une bonne configuration a surpassé techniquement la « NES » de Nintendo. Cette année a été marquée aussi par l'apparition de console « *Atari 7800* » par Atari. Mais malgré ces nouvelles performances, ce dernier n'a pas connu un grand succès comparé avec la « NES » et la « *Master System* » qui sortait dans la même période.

En **1989**, le Saga a fait sortir la console « *Megadrive* » qui connaît un court succès à cause de l'invention de « *Super NES* » par Nintendo en **1991**.

Les nouvelles consoles

Le développement de l'architecture des ordinateurs et leurs différents composants a permis l'avènement des nouvelles générations de console avec des meilleures performances et des nouvelles technologies. Cette nouvelle génération a commencé dans les années 90, le marché a

connu une grande concurrence et a été dominé par « *Saturn* » de Sega, « *Play Station* » de Sony et « *Nintendo 64* » de Nintendo. Les technologies modernes qui formaient la base de l'architecture de ces consoles (CD-ROM, graphisme 3D, microprocesseur 64/128 bits, etc.) ont permis l'apparition des jeux 3D. Cette révolution technologique dans le domaine du jeu vidéo a continué surtout avec l'augmentation de la clientèle de ce marché qui a réalisé d'importants chiffres économiques.

La production des consoles progressait pendant les années **2000** et ont été marquées par la « *Wii* » de Nintendo, le « *Xbox 360* » de Microsoft et le « *Playstation 3* » de Sony.

De nos jours les consoles les plus connues sur le marché sont: la « *Wii U* » de Nintendo, la « *PlayStation Vita* », « *PlayStation 3* », « *PlayStation 4* » de Sony et « *Xbox One* » de Microsoft (Figure 2.4 [3]).

Donc, on peut conclure que l'industrie du jeu vidéo est un domaine très dynamique. Les experts de ce domaine ont réussi à attirer un nombre très important de clients avec des nouvelles technologies et des jeux performants tout en intégrant des nouveaux moyens dans le but de captiver l'attention des utilisateurs.



Figure 2.4 – Le développement des consoles: [1] Fairchild Semiconductor (1976)⁴, [2] NES (1985)⁵ et [3] Xbox One (2013)⁶

⁴ https://fr.wikipedia.org/wiki/Fairchild_Channel_F

⁵ https://fr.wikipedia.org/wiki/Nintendo_Entertainment_System

⁶ http://lego-dimensions.wikia.com/wiki/Xbox_One

2.2.3 L'industrie du jeu vidéo

L'industrie du jeu vidéo est toujours en progression depuis son apparition à l'exception de l'année 1983 qui a connu la seule crise de cette industrie. Elle a réalisé un grand succès et elle a attiré autant de femmes que d'hommes de différents âges. Au Canada l'industrie du jeu vidéo forme une composante fondamentale de l'économie et vu la croissance du nombre d'utilisateurs, cette industrie a été marquée par l'apparition d'un nombre très important de studios et d'entreprises spécialisées dans la création du jeu vidéo, dont notamment, « Ubisoft » qui est considérée parmi les meilleures entreprises dans le monde dans ce domaine. L'industrie du jeu vidéo a connu aussi une grande concurrence. Les spécialistes dans ce domaine, et pour réserver leurs places dans cet environnement assez compétitif, ont essayé de développer différents types de support et de plateforme (ordinateurs, téléphones intelligents et console).

La conception d'un jeu vidéo est fondée sur des éléments fondamentaux à savoir l'histoire, l'image, le scénario, le son, les récompenses, les défis, etc. Ces éléments ont une influence directe sur l'expérience du joueur. Dans l'industrie du jeu vidéo, la conception du jeu se base sur deux tests principaux à savoir le test d'utilisabilité et le test de jouabilité.

i). Le test d'utilisabilité

Il vise à évaluer l'interface utilisateur, qui est composée de menu de contrôle, dans le but d'assurer une interface du jeu facile à comprendre et à manipuler. Le test d'utilisabilité sert à identifier les problèmes qui peuvent affecter la qualité du jeu et qui sont principalement la difficulté de contrôler le jeu ainsi que la compréhension du menu. Le but de ce test est donc de garantir des conditions du jeu convenable et une expérience inoubliable qui permettent aux joueurs de s'immerger dans le jeu et de garder le plaisir de jouer.

ii). Le test de jouabilité

Il exprime la façon avec laquelle un joueur peut interagir avec les différents éléments de l'environnement et sa manière de réagir envers les défis et les autres personnages du jeu. Le test de jouabilité englobe aussi le scénario et les règles du jeu. Dans le domaine du jeu vidéo le test de jouabilité est utilisé pour éviter les tâches répétitives et ennuyeuses ainsi que les

pénalités injustes afin d'assurer une expérience de jeu plein d'immersion, de garder le joueur engagé dans le jeu et lui garantir le fun.

En fait, la conception d'un jeu vidéo est basée sur des éléments principaux tels que le son, la qualité d'image, le scénario, etc. Ces éléments se réunissent ensemble pour rendre le jeu une activité amusante et immersive qui attire le joueur et lui offre le plaisir, qui est défini comme l'expérience la plus intrinsèque de cette activité (Salen & Zimmerman, 2004). Un jeu vidéo doit offrir une expérience émotionnelle, physique et psychologique plaisante qui permette au joueur de s'attacher au monde du jeu et d'interagir avec les différents éléments de son environnement.

2.2.4 Intelligence artificielle

2.2.4.1 Historique

L'intelligence artificielle est un concept qui consiste à élargir l'intelligence humaine aux machines et de concevoir des systèmes informatiques dotés de capacités intellectuelles ressemblant à celle de l'être humain. Il vise aussi « à automatiser les activités qui sont associées au raisonnement humain comme la prise de décision, la résolution des problèmes, l'apprentissage... » (Bellman, 1978). Ce concept permet l'invention des nouveaux systèmes informatiques capables d'apprendre et de réagir de façon autonome dans le but d'améliorer ses performances.

Les origines de l'intelligence artificielle reviennent à l'année **1950** où Alan Turing a proposé le test de Turing dans son article. Les machines savent-elles penser? Ce test consiste à poser un certain nombre de questions par un questionnaire dans le but de savoir si les réponses proviennent d'une personne ou d'un ordinateur. Dans ce Turing, Alan a été intéressé à définir l'intelligence de la machine par rapport à celle de l'être humain (Russel & Norvig, 2010).

Dans le domaine du jeu vidéo, les premiers programmes d'intelligence artificielle ont été créés avec l'utilisation de la machine « *Ferranti Mark* » pour les jeux d'échecs et de dames en 1951. Ces intelligences artificielles ont été évoluées jusqu'à l'année 1997 qui a marqué la victoire du programme « *Deep Blue* » d'*IBM* sur le champion d'échec Gary Kasparov.

Le progrès de l'intelligence artificielle a continué au fil des années et il a été accompagné par le développement de l'architecture des ordinateurs et l'invention des

nouveaux jeux vidéo qui ont formé le meilleur environnement pour l'application de cette technologie.

En général, les jeux vidéo développés entre les années 1960 et les années 1970 n'ont pas intégré de l'intelligence artificielle. Cette technologie est devenue très populaire à la fin des années 1970 qui ont marqué le développement et l'évolution des jeux vidéo d'arcades.

En 1975, Atari a commercialisé le jeu d'arcade « *Pong* » qui a connu un grand succès et il a utilisé une simple technologie d'intelligence artificielle basée sur la reconnaissance de position. Les recherches dans le domaine de l'intelligence artificielle ont continué pour intégrer des nouvelles technologies dans les jeux vidéo afin d'attirer différents types de clientèles. Les années 1990 ont vu l'utilisation de nouvelles technologies d'intelligences artificielles telle que la recherche de chemin qui a été intégrée dans le jeu « *Backgammon* » développé par Atari. Pendant ce jeu l'ordinateur doit prendre une simple décision concernant sa façon de déplacement en se basant sur la position courante de carte (Mott, 2009).

L'intelligence artificielle est devenue au fil des années un important élément du jeu vidéo qui améliore l'expérience du joueur et l'offre la possibilité d'interagir avec des personnages ressemblent à des humains. Cela a permis l'apparition des nouveaux jeux vidéo qui garantissent une immersion profonde et des meilleures interactions avec les différents éléments de l'environnement du joueur. Les compagnies du jeu vidéo ont continué à intégrer des nouvelles technologies d'intelligences artificielles plus sophistiquées telles que l'apprentissage automatique qui a été utilisé dans le jeu vidéo « *Creatures* » en 1998. Pendant ce jeu, les personnages apprennent des comportements différents dans le but de survivre et d'interagir avec les différents éléments de leurs environnements. L'année 2001 a marqué aussi l'apparition du jeu vidéo FPS (First Person Shooting) « *Combat Evolved (Halo)* », qui a été basé sur les arbres de comportement (Behaviour Tree) comme une technologie d'intelligence artificielle.

De nos jours, l'intelligence artificielle est devenue un des facteurs principaux des jeux vidéo les plus populaires, qui améliore l'environnement du jeu avec des meilleures interactions et qui permet aux joueurs de tester une expérience immersive et différente.

2.2.4.2 Application dans les jeux vidéo

Dans les jeux vidéo, l'intelligence artificielle est utilisée de différentes manières dans le but de créer des environnements de jeu capables d'engager le joueur émotionnellement et de lui offrir l'envie de continuer à jouer. Une des applications les plus importantes de l'intelligence artificielle dans les jeux vidéo est le contrôle du personnage joueur et non joueur pour ressembler à des êtres humains. Ainsi, l'intelligence artificielle a doté les personnages des jeux vidéo avec des capacités qui leur permettent de prendre des décisions simples ou complexes en prenant en considération les différents éléments de leurs environnements ainsi que le comportement du joueur.

L'intelligence artificielle est aussi appliquée dans les jeux vidéo pour assurer la recherche de chemin « *path finding* » qui est lié au déplacement des différents personnages du jeu vidéo de point de départ au point d'arrivée. Le principe de recherche consiste à trouver le chemin le plus court sans se mettre en collision ni avec les éléments de l'environnement de jeu ni avec les autres personnages de jeu (Yue & de-Byl, 2006).

2.2.5 Agent intelligent

Un agent est une entité physique ou virtuelle autonome, capable d'agir dans un environnement et d'atteindre ses objectifs en prenant en considération ses ressources et ses capacités et en communiquant avec les autres agents (Ferber & Perrot, 1995; Wooldridge, 1999). Donc un agent intelligent est doté de trois caractéristiques importantes :

- **Autonomie** : un agent est indépendant de l'utilisateur et des autres agents et il peut prendre les initiatives et agir dans son environnement en tenant compte de ses buts, ses ressources et ces compétences.
- **La capacité de Communication** : un agent intelligent est capable de communiquer avec les autres agents pour échanger de l'information et pour trouver des solutions pour des problèmes plus ou moins complexes.

- **La capacité d’agir** : l’agent intelligent est capable de s’adapter, de raisonner et d’agir dans son environnement. Ainsi, les actions de l’agent intelligent peuvent l’aider à apprendre, influencer les autres agents et changer son environnement.

En général, il existe plusieurs façons pour concevoir un agent intelligent, tout dépend de la complexité et du but de l’application, mais un agent intelligent peut être toujours défini comme une entité intelligente qui perçoit son environnement par ces senseurs et agit sur son environnement avec ces effecteurs (Russell & Norvig, 2009) (Figure 2.5).

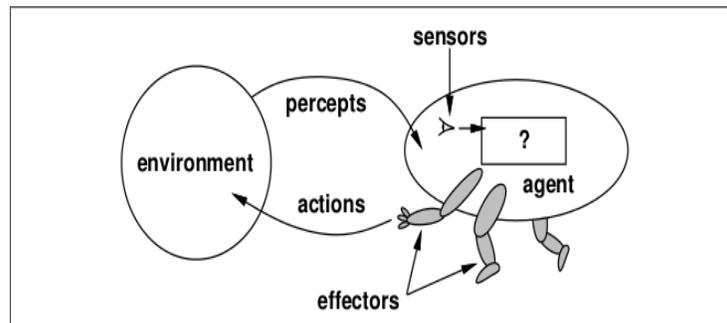


Figure 2.5 – L’interaction d’agent intelligent avec son environnement

Il existe des différents types d’agents intelligents selon sa manière de perception et de raisonnement de son environnement, son architecture et sa façon d’interagir avec les différents éléments de son environnement pour atteindre les buts plus ou moins complexes. Russell & Norvig (2009) ont fait la différence entre 4 types d’agents intelligents:

- **Agent réactif**: les agents à capacités réactives n’ont pas de représentation explicite de leurs environnements. Ils choisissent leurs actions en se basant sur leurs perceptions courantes. Ces agents fonctionnent selon le modèle condition-action « si condition alors action » et d’une manière très rapide, tel que l’agent ne fait que de trouver la règle qui correspond à ses perceptions et il déclenche l’action qui correspond à cette règle. La figure suivante décrit l’architecture d’un agent à réflexe simple.

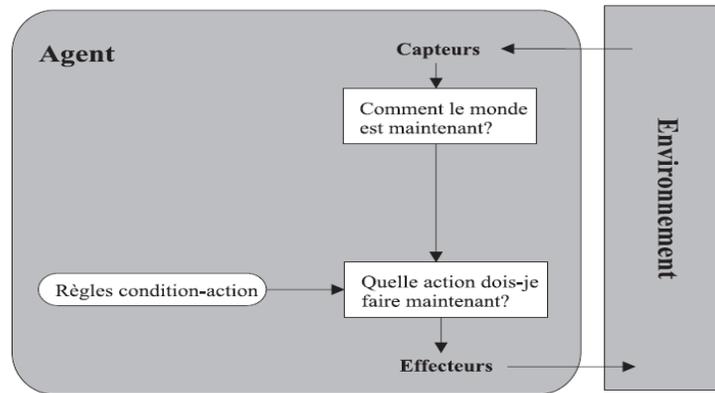


Figure 2.6 – Agent à réflexe simple (Russell & Norvig, 2009).

- **Agent gardant une trace du monde:** il a amélioré la manière dont un agent à réflexe simple évalue son environnement pour offrir une vue complète du monde qui l’entoure. L’agent utilise des informations internes et ces perceptions courantes pour choisir ses actions (Figure 2.7).

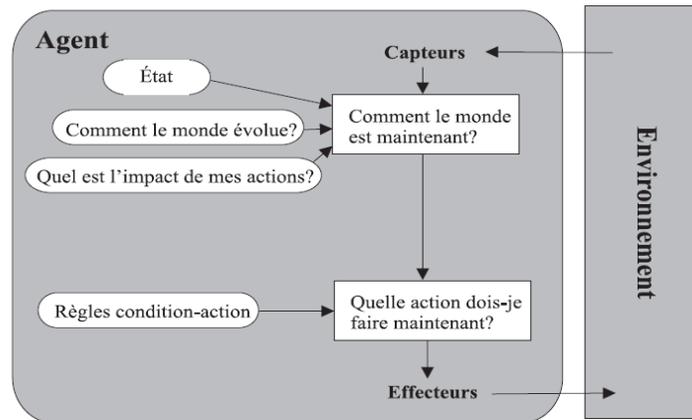


Figure 2.7 – Agent conservant une trace de monde (Russell & Norvig, 2009).

- **Agent basé sur le but** (Goal-based agent): Ce type d’agent choisit ses actions en se basant sur les informations qui décrivent l’état actuel de son environnement ainsi, ces buts qui sont considérés comme des situations désirables pour l’agent (Figure 2. 8).

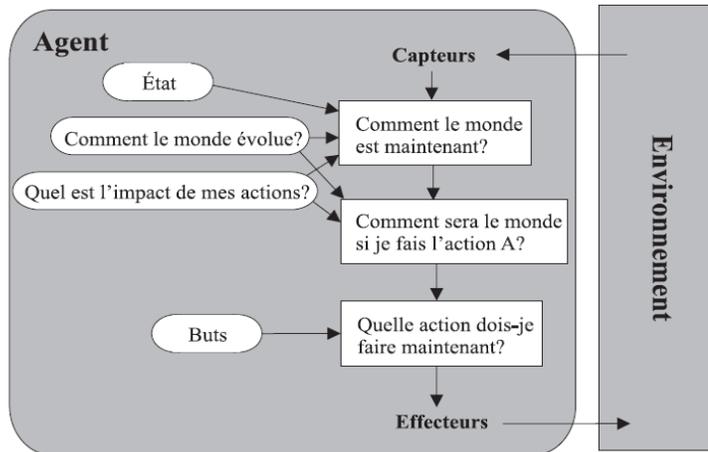


Figure 2.8 – Agent basé sur le but (Russell & Norvig, 2009).

- **Agent basé sur une fonction d'utilité** (utility-based agent): il utilise une fonction plus sophistiquée pour évaluer son état et déterminer son degré de satisfaction. Cette fonction permet d'accorder une valeur numérique à chaque état. Généralement, l'état qui a la plus grande valeur est considéré comme plus désirable pour l'agent (Figure 2.9).

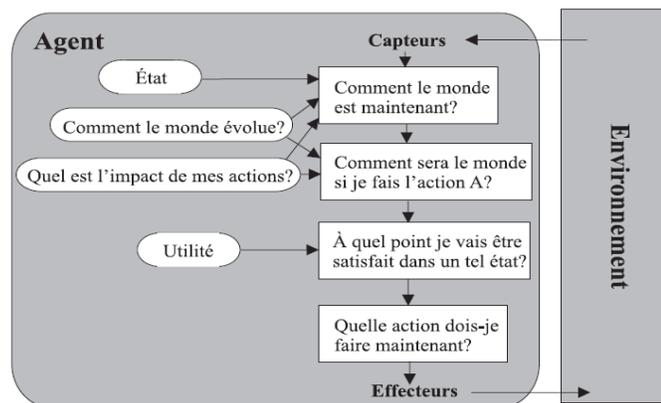


Figure 2.9 – Agent basé sur une fonction d'utilité (Russell & Norvig, 2009)

Au cours de ce mémoire, la notion d'agent intelligent se présentera sous forme de personnages (ennemis) qui seront contrôlés par le jeu. Ces personnages doivent réagir d'une manière très rapide suivant un ensemble des règles prédéfinies dans le jeu vidéo. En effet, durant cette étude nous avons choisi de travailler avec des agents réactifs qui seront aussi

utilisés comme des stratégies d'engagement qui apparaissent durant le jeu de façon dynamique en tenant compte de l'état d'engagement mental du joueur (engagé, désengagé) dans le but de le garder engagé durant la session du jeu.

2.2.6 Conclusion

Nous avons exposé dans cette section un bref historique sur les jeux vidéo afin d'illustrer l'évolution technique et matérielle qui a conduit au développement des jeux vidéo 3D. Nous avons présenté également un aperçu sur l'industrie du jeu vidéo et nous avons étudié le concept d'intelligence artificielle et particulièrement les agents intelligents.

Jusqu'à ces dernières années, les travaux de recherche dans les jeux vidéo ont négligé les émotions du joueur dans l'évaluation de l'expérience de jeu. Cette vision a été changée avec l'apparition de l'approche de l'informatique affective « *affective computing* » (Picard, 1997) qui a amélioré le fonctionnement des systèmes interactifs en intégrant la dimension émotionnelle. Par conséquent, une nouvelle génération du jeu vidéo commence à apparaître appelée les jeux vidéo affectifs. Ils sont capables de mesurer et de réguler l'état émotionnel du joueur en ajustant ses différents composants afin de le garder engagé dans le jeu (Gilleade & Allanson, 2003; Gilleade et al., 2005). Dans la section suivante, nous étudions le phénomène émotionnel. Nous décrivons aussi les différentes approches et techniques de modélisation des émotions.

2.3 Le phénomène émotionnel dans les jeux vidéo

Le facteur émotionnel est un aspect important dans les jeux vidéo. Le concept de l'émotion est difficile à définir. En effet, il n'existe pas jusqu'à présent de consensus clair pour identifier et déterminer les origines de ce concept complexe qui soulève plusieurs questions: qu'est-ce qu'une émotion ? Comment peut-on représenter une émotion? Quels sont les moyens utilisés pour mesurer une émotion ?

Nous répondons à ces questions dans cette section: on va présenter une définition détaillée du phénomène émotionnel, les différentes approches de présentations des émotions, ainsi que les moyens de détection de l'émotion.

2.3.1 Définition du concept de l'émotion

Même si on parle des émotions et nous relient la majorité de nos réactions et nos actions à ce concept, ce dernier est difficile à définir et à identifier, car il ne s'agit pas de quelque chose touchable.

L'émotion est un concept qui couvre plusieurs phénomènes. En littérature, il n'existe pas un accord sur l'origine et la définition d'une émotion (Kleinginna J & Kleinginna, 1981). En philosophie et psychologie, le concept émotionnel pose une grande interrogation chez les chercheurs. En effet, les émotions sont le résultat d'une situation ou une évaluation d'un état particulier. L'expression d'une émotion déclenche chez l'être humain différents processus et des changements physiologiques tels que des variations de pression sanguine, de rythme cardiaque ou de transpiration (James, 1992) et des sécrétions hormonales. L'interprétation d'une émotion dépend aussi des expressions faciales qui sont à l'origine des mouvements des muscles de visage. Donc, le phénomène émotionnel est un processus qui se déroule rapidement, centralisé sur un événement pertinent, qui constitue le facteur de déclenchement de ce phénomène et qui résulte une réponse émotionnelle.

La complexité du concept émotionnel peut chapeauter plusieurs phénomènes tels que l'émotion, le sentiment et l'affect qui sont souvent employés de manière interchangeable, ce qui rend difficile à faire la différence entre ces phénomènes et nous mène à faire la distinction suivante:

- **Émotion:** une émotion est une séquence des réactions courtes compliquées et intenses dirigées vers un objet (Frijda, 1986). Ce phénomène se déclenche suite à l'interprétation d'un événement qui déterminera l'action et l'intensité de l'émotion.
- **Sentiment:** un sentiment est une tendance affective plus ou moins consciente, et qui ne déclenche pas réellement une action. Ce phénomène dure plus longtemps, mais il est caractérisé par une intensité moins importante (Perron, 2005).
- **Affect:** l'affect c'est un concept plus abstrait que l'émotion. Il est lié à la partie inconsciente des émotions et il présente la manière de préparation à l'action suite à un événement particulier (Shouse, 2005).

2.3.2 Approches de modélisation des émotions

Plusieurs approches ont été utilisées pour étudier la modélisation des émotions telles que: l'approche discrète et l'approche continue.

2.3.2.1 L'approche discrète ou catégorielle

L'approche catégorielle est basée sur un nombre bien déterminé d'émotions à savoir: les émotions basiques qui sont universelles et qui correspondent à des expressions corporelles particulières (Ekman, 1986). Dans son approche, il a proposé 6 émotions de types différents à savoir la joie, la colère, la surprise, la peur, le dégoût et la tristesse (Figure 2.10). Dans ses travaux, il a étudié ces émotions à partir de l'interprétation et l'analyse des expressions faciales, et il a dû constater que chacune de ces émotions est liée à un mouvement particulier de différents muscles de visage. (Ekman, 1982, 2004; Ekman & Friesen, 1978; 1975; 2003).



Figure 2.10 – Les 6 classes d'émotions (Ekman & Friesen, 1975)

En 1988, Ortony et ses collègues ont proposé un nouveau modèle à savoir le modèle OCC basé sur le processus d'évaluation cognitive. Ce modèle est constitué de 22 classes d'émotions. Ces dernières sont regroupées également en classe, de telle façon que chaque classe contient les émotions qui sont déclenchées par des situations similaires. De plus, le modèle propose une émotion opposée à chaque émotion. Ce modèle identifie l'émotion

comme une conséquence de l'évaluation (positive ou négative) d'un évènement, d'un objet ou de l'action d'un agent et il ne traite pas l'émotion à partir des expressions faciales, mais à partir de la situation qui l'a provoqué.

2.3.2.2 L'approche continue ou dimensionnelle

Contrairement, à l'approche catégorielle, l'approche continue se base sur un nombre infini d'émotions représenté dans un espace fondé sur un ensemble de dimension (Figure 2.11) (Feldman B & Russell, 1998). Dans ce courant de recherche, on peut distinguer trois dimensions principales de représentation de l'émotion: la valence, l'activation (Greenwald et al., 1989; Lang et al., 1993; Russell, 1980, 2003) et la dominance (Mehrabian & Russell, 1974).

- i. **La valence:** cette dimension permet de faire la distinction entre les émotions agréables et désagréables de l'expérience.
- ii. **L'activation:** Elle définit l'intensité de l'énergie ressentie ou le niveau d'activation corporel déclenché par l'émotion.
- iii. **La dominance:** cette dimension détermine la capacité de contrôle de la situation qui déclenche le phénomène émotionnel.

L'intérêt des auteurs pour l'approche continue s'explique par la grande liberté de représentation des émotions. Par contre, cette approche présente certaines limites qui ne permettent pas de donner un sens clair aux émotions et la difficulté de faire la distinction entre certaines émotions ce qui conduit à une grande ambiguïté.

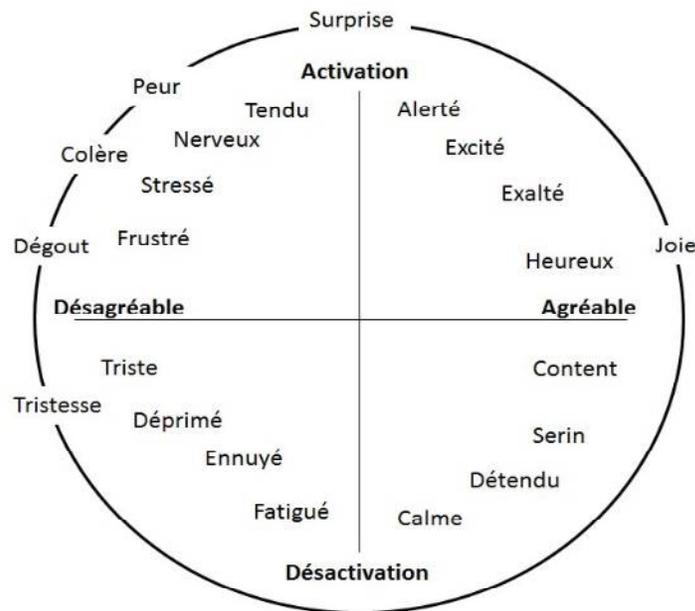


Figure 2.11 – Le modèle Circumplex (Feldman & Russell, 1998)

2.3.3 Les mesures des émotions dans les jeux vidéo

L'émotion est considérée comme un facteur important dans la vie de l'être humain qui influence son comportement et détermine ses actions. Dans l'industrie du jeu vidéo, l'émotion est un facteur essentiel dans la conception des jeux vidéo à cause de son influence directe sur les décisions du joueur, son comportement et la qualité de son expérience du jeu. En effet, l'émotion est un phénomène court et complexe, qui couvre des réactions physiologiques (les variations de pression sanguine, de rythme cardiaque ou de transpirations) et des réactions comportementales et expressives (les expressions faciales, mouvement corporel, etc.).

Le déroulement du phénomène émotionnel dépend de la situation, de la personnalité du joueur ainsi de différents composants de son environnement. Pour mieux connaître, s'adapter et modéliser les émotions, il est nécessaire de pouvoir les mesurer.

Dans les jeux vidéo, on peut faire la différence entre trois catégories principales des mesures de détections des émotions: les mesures subjectives, les mesures comportementales et

les mesures physiologiques. Dans la section suivante, nous présentons les différents moyens de mesure de l'émotion dans les jeux vidéo.

2.3.3.1 les mesures subjectives

Elles sont considérées comme une auto-évaluation de l'expérience émotionnelle du sujet, en lui permettant d'exprimer ce qu'il ressent durant l'expérience du jeu. Il existe plusieurs types de mesures subjectives qui permettent au joueur d'évaluer son expérience émotionnelle telles que les questionnaires, les entretiens et les fichiers journaux.

Les questionnaires permettent de mesurer les émotions discrètes du sujet à l'aide de phrases, d'adjectifs ou de labels émotionnels. Les questionnaires se basent sur le jugement du sujet qui doit évaluer, à l'aide d'une échelle, le degré de son émotion ressenti au cours de son expérience émotionnelle.

Différents types de questionnaires ont été définis dans la littérature (Bradley & Lang, 1994; Izard, 1993; Mayer & Gaschke, 1988; Mehrabian & Russell, 1974). « *Differential Émotions Squale* » est un questionnaire proposé par (Izard, 1993). Il est basé sur l'approche discrète pour évaluer l'émotion et il est composé de 30 adjectifs correspondant à 10 états émotionnels. Chacune de ces émotions doit être évaluée sur une échelle de 5 points. Il existe d'autres questionnaires qui sont basés sur l'approche dimensionnelle. Le sujet doit évaluer son émotion en se basant sur les trois dimensions suivantes: la valence (agréables /désagréable), l'activation (calme/excitation) et la dominance (non contrôle /contrôle). Dans ce courant de recherche, on trouve le questionnaire « Brief Mood Inventory Scale (BMIS) » proposé par Mayer et Gaschke (1988) et qui est basé sur 16 adjectifs. Le sujet doit juger son état émotionnel en se basant sur une échelle de 4 points. Dans ce domaine on doit aussi noter le questionnaire « Self-Assessment Manikinscale (SAM) » (Bradley & Lang, 1994). Cette mesure est considérée parmi les meilleures mesures qui permet au sujet de mieux juger son émotion. Elle est caractérisée par une échelle graphique, contrairement aux mesures qui sont basées sur des échelles verbales. Ainsi, cette mesure identifie chaque dimension par 9 degrés (5 degrés principaux et 4 degrés intermédiaires) (Figure 2.12).

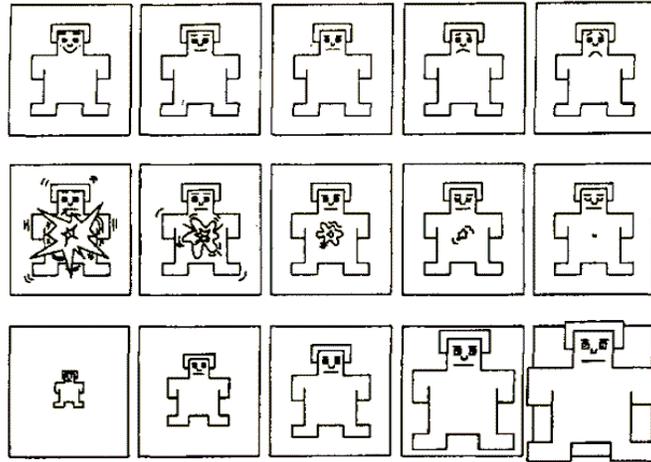


Figure 2. 12 – Exemple de mesure subjective: Self-Assessment Manikinscale (SAM) (Bradley & Lang, 1994).

Le SAM est une mesure qui a connu un grand succès à cause de ses résultats précis, contrairement aux autres mesures qui sont basées sur des échelles verbales, qui ont présenté certaines limites à cause de la difficulté de préciser l'état émotionnel du sujet.

Dans le domaine du jeu vidéo, les questionnaires sont fréquemment utilisés pour évaluer les différents détails de l'expérience émotionnelle du joueur durant le jeu. Le « *Game Experience Questionnaire (GEQ)* » est un des questionnaires les plus utilisés dans ce domaine (de Kort et al., 2007; Drachen et al., 2010; IJsselsteijn, Poels, et al., 2008; IJsselsteijn, van den Hoogen, et al., 2008; Poels et al., 2007). Cette mesure est considérée comme un moyen efficace pour évaluer l'expérience du joueur durant un jeu vidéo digital. Le GEQ est formé de 14 items, le joueur doit juger son état émotionnel et son expérience du jeu en se basant sur une échelle de 0-4. Cette mesure d'auto-évaluation permet de faire la différence entre 7 dimensions différentes de l'expérience du joueur immersion (sensorielle et imaginative), flux (flow), compétence, tension, Défi, émotion positive et émotion négative.

L'entretien est une autre mesure subjective qui a été utilisée par plusieurs chercheurs pour mesurer l'émotion, mais pas comme une méthode centrale. Elle a été toujours accompagnée par d'autres mesures. L'entretien a été utilisé plutôt pour obtenir la rétroaction de l'utilisateur sur les différentes conditions de l'expérience émotionnelle et les autres mesures

utilisées pour évaluer l'émotion. Cette mesure se base sur la trace de l'activité pour faciliter le rappel et l'explication des événements déjà vécus par le sujet. Ce point de vue a été approuvé par l'approche adoptée par (Bentley et al., 2005) qui a ajouté un nouveau technique de type auto-confrontation. Cette approche a montré que l'utilisation d'une vidéo qui filme l'activité du sujet au moment de l'entretien aide le sujet à se rappeler de ses pensées.

Les mesures d'auto-évaluation (les questionnaires et les entretiens) ont formé la base de plusieurs travaux à cause de la simplicité de leur utilisation et la rapidité de collecter les informations. Par contre, ce type de mesure montre différents inconvénients qui peuvent nuire aux résultats. Le format, le contexte et les items de questionnaire tous ces éléments peuvent influencer les réponses du sujet (Slater, 1999). Aussi, questionner le joueur à la fin du jeu ça risque de nuire ses réponses s'il ne se rappelle pas de toutes les informations (Berta et al., 2013; Chiang et al., 2008).

Les fichiers journaux « *log file* » se sont aussi considérés comme des mesures d'auto-évaluation des émotions. Elles peuvent être définies comme une technique de traçage et d'enregistrement automatisé du déroulement des actions et des processus dans un environnement informatique (jeu vidéo, application web, réseau informatique, etc.). Les enregistrements seront conservés dans des fichiers textes classés par ordre chronologique. L'analyse des données enregistrées dans les fichiers journaux peut offrir des informations sur l'expérience affective du joueur durant le jeu vidéo. Trepte et Reinecke (2011), ont utilisé les données de ces fichiers pour construire un modèle permet de prédire le plaisir du jeu en se basant sur l'expérience personnelle du joueur et ses performances. Parmi les avantages d'utilisation des fichiers journaux est la possibilité d'enregistrer une grande quantité d'information et d'une façon très organisée et claire. En effet dans le domaine du jeu vidéo ce genre de fichier a été utilisé pour enregistrer les données d'autres mesures physiologiques (Nacke et al., 2008). Les fichiers journaux évitent les inconvénients précédents des questionnaires et des entretiens et ils permettent d'enregistrer les données d'une façon automatique et continue.

Durant ce mémoire, nous avons utilisé une méthode d'auto-évaluation (questionnaire) qui permet au joueur de déterminer son état affectif sans interrompre son expérience du jeu. Toutes les réponses du joueur seront enregistrées dans des fichiers journaux.

2.3.3.2 Les mesures comportementales

Ces mesures évaluent les émotions des joueurs en se basant sur divers indices tels que : les expressions faciales, le mouvement du corps, la voix et l'interactivité du joueur avec les différents éléments de son environnement.

Parmi les approches les plus connues dans ce domaine, on trouve l'approche proposée par Ekman et Friesen (1984), qui permet de développer un système à savoir « *Facial Action Coding System (FACS)* » (Figure 2.13). Ce système a permis de coder une expression faciale en se basant sur 46 unités d'action. Chaque unité d'action correspond au mouvement d'un ou plusieurs muscles. Donc, ce système a pris en considération tout le visage et il permet l'analyse des différentes expressions faciales. Dans le domaine du jeu vidéo, beaucoup des travaux sont basés sur la technique de l'analyse des expressions faciales pour déterminer l'émotion du joueur pendant une session du jeu. Kaiser et al. (1998), dans leur approche ont utilisé le FACS pour permettre à l'observateur humain d'identifier ces expressions faciales dans le jeu vidéo « *Geneva Appraisal Manipulation Environment (GAME)* ». Dans ce courant de recherche, on doit aussi citer l'approche de Wang et Marsella (2006). Ils sont basés sur la technique de l'analyse des expressions faciales pour identifier l'émotion de l'ennui et de la colère dans le jeu vidéo « *Emotion Evoking Game (EVG)* ».

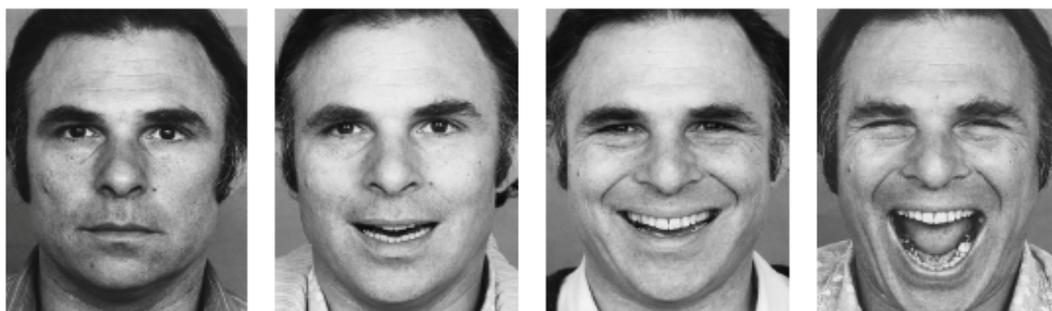


Figure 2.13 – Mesure comportementale: Facial Action Coding System (FACS) : Exemples d'expressions faciales (Ekman & Friesen, 1984).

L'électromyographie (EMG), est une autre mesure connue dans plusieurs travaux (Hazlett & Benedek, 2007). Cette mesure permet d'enregistrer les mouvements des muscles faciaux. Plus précisément, elle donne la possibilité de mesurer de façon directe la tension des muscles du visage par l'enregistrement du courant électrique qui conduit chaque mouvement musculaire (Tassinari & Cacioppo, 2000). Cette technique a été utilisée pour déterminer le type de la réaction émotionnelle (valence positive ou valence négative) (Hazlett, 2006; Lang et al., 1993).

D'autres approches sont basées sur l'enregistrement vidéo pour analyser les expressions faciales du joueur durant une session du jeu. Zaman et Shrimpton-Smith (2006) dans leur approche ont proposé *Face Reader* comme une mesure d'émotions basée sur l'analyse des expressions faciales. Cet instrument donne la possibilité de comprendre l'émotion exprimée par un utilisateur en se basant sur un enregistrement vidéo.

En dépit de nombre important de recherches qui sont basées sur l'analyse des expressions faciales pour reconnaître les émotions. Cette technique a montré certaines limites. D'abord, beaucoup de recherches ont montré que l'être humain est capable de contrôler ses expressions. Donc, l'absence de l'expression faciale pour certaines personnes ne signifie pas l'absence d'émotion. Aussi, une personne peut montrer l'inverse de ce qu'il ressent (Gil, 2009).

Dans d'autres études de l'émotion, la voix est considérée comme un facteur important qui indique l'état émotionnel du joueur (Picard, 1997). Johnstone et al. (2005), sont basés sur

l'enregistrement de la voix du joueur pendant une session du jeu pour déterminer l'intensité de l'émotion (activation). Pendant leur étude, ils ont créé un jeu vidéo. Chaque événement du jeu a été accompagné par un son (agréable ou désagréable). Après chaque événement le joueur sera encouragé à lire des phrases et des lettres affichées sur l'écran. Par la suite, la voix du joueur est enregistrée pour l'analyser. Le mouvement de corps est également considéré comme un indice

2.3.3.3 Les mesures physiologiques

Plusieurs études montrent qu'il existe des aspects physiologiques qui accompagnent et influencent une émotion, telles que la fréquence cardiaque, la respiration, l'activité cérébrale, la pression sanguine, la dilatation de la pupille, etc.

Parmi les aspects physiologiques les plus utilisés pour détecter l'état émotionnel du joueur durant le jeu, on peut citer la réponse galvanique de la peau « *Galvanic Skin Réponse (GSR)* » qui traduit l'activité électrodermale de la peau. Cet indice représente le résultat de la mesure du potentiel électrique entre deux zones cutanées liées au changement de l'activité des glandes sudoripares. Cette activité se mesure à l'aide des capteurs existents sous forme de bracelet tel que *Q-Sensor* de Affectiva (Figure 2.14 [1]). Des travaux expérimentaux antérieurs ont montré que cette activité est en relation avec l'intensité de l'émotion (activation) (Dawson et al., 2000; Lang, 1995) et elle donne des bons résultats avec les émotions les plus activatrices comme la peur et la colère.

Un autre indice physiologique qui peut donner une indication sur l'état émotionnel est la fréquence cardiaque. Cet indice se mesure à partir d'un électrocardiogramme ou un capteur de pression du volume sanguin « *Blood Volume Pressure (BVP)* » (Figure 2.14 [2]). La fréquence cardiaque dépend de la valence de l'émotion (positive ou négative), c'est-à-dire une émotion négative résulte d'une décélération de l'activité cardiaque plus qu'une émotion positive. Par contre, une émotion positive donne une accélération de l'activité cardiaque plus importante qu'une émotion négative (Ravaja et al., 2005).

Outre que l'activité cardiaque et la réponse galvanique de la peau, l'activité cérébrale est également utilisée pour renseigner sur les états affectifs des joueurs dans les jeux vidéo. En effet,

cet indice se mesure à l'aide d'une technique connue sous le nom d'électroencéphalographie (EEG) qui consiste à positionner des électrodes sur la crâne du sujet pour capturer un signal électrique appelé un potentiel évoqué. Ce signal correspond à l'activité électrique du cerveau suite à une stimulation. Dans le domaine du jeu vidéo, cette mesure a été utilisée pour évaluer l'expérience du joueur durant le jeu (Wu et al., 2010; Wu et al., 2013). Ainsi, plusieurs études ont été marquées dans ce domaine parmi lesquelles on peut citer l'approche adoptée par Nacke et al. (2010), qui ont utilisé l'EEG comme une mesure principale durant leur étude pour évaluer la réponse émotionnelle du joueur durant le jeu suite à ces interactions avec les différents éléments de son environnement.



[1]



[2]

Figure 2.14 – Exemples de mesures physiologiques: [1]⁷ bracelet Q-Sensor ; [2]⁸ capteur de pression du volume sanguin.

En général, l'utilisation des mesures physiologiques pour évaluer l'état émotionnel du joueur dans les jeux vidéo ajoute beaucoup de précision et a des meilleurs résultats dans ce domaine. La popularité de ces mesures due à leurs capacités de s'enregistrer automatiquement et de façon continue. En plus, à leur indépendance par rapport aux réponses des joueurs. Aussi

⁷ <http://michaelrucker.com/digital-health-tag/wearable-tech/>

⁸ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Oxymètre>

ces techniques sont capables de détecter les plus petits détails qui aident à avoir des meilleurs résultats et à bien étudier l'état affectif du joueur durant le jeu vidéo (Kivikangas et al., 2011).

Dans le domaine du jeu vidéo, la majorité des recherches de détection de l'émotion ont combiné les mesures physiologiques avec d'autres mesures subjectives et comportementales (Chanel et al., 2011; Drachen et al., 2010; FUGA, 2006; Mandryk, 2008; L. E. Nacke & Lindley, 2010; Ravaja et al., 2006; Tijs et al., 2008). Le but principal de la combinaison de ces mesures est de bien évaluer l'état émotionnel du joueur durant le jeu. Ce processus d'évaluation reste une tâche difficile et compliquée à cause de la difficulté de déterminer les facteurs principaux qui peuvent provoquer l'émotion. En effet, ce phénomène émotionnel dépend de différents éléments tels que : la personnalité, l'objectif et les préférences du joueur (Conati, 2002).

La plupart des approches dans ce courant de recherche ont montré que la combinaison des mesures physiologiques avec des mesures subjectives a permis une meilleure évaluation de l'expérience affective du joueur durant le jeu. Prenons l'exemple du projet « *Fun of gaming* (FuGa) » (2006) qui a utilisé l'électromyographie, la réponse galvanique de la peau, l'activité cérébrale, les mouvements des yeux, les mouvements de corps et les indicateurs de comportement pour évaluer l'état affectif du joueur durant le jeu. Chanel et al. (2011) dans leur approche multimodale ont utilisé la réponse galvanique de la peau, EEG et la fréquence cardiaque pour détecter l'émotion du joueur. Dans certaines approches la combinaison des mesures physiologiques et les mesures subjectives ont donné des résultats corrélés. Prenons l'exemple de l'approche adoptée par Mandryk et al. (2006) qui consiste à évaluer l'expérience du joueur en se basant sur 5 éléments principaux de l'expérience du joueur tels que: le plaisir, l'excitation, la frustration, le défi et l'ennui. Pendant cette recherche Mandryk et al. ont combiné les mesures physiologiques avec des mesures subjectives (auto-évaluation). Mais les résultats statistiques de cette étude montrent une absence de corrélation entre les données des mesures physiologiques et les mesures subjectives. Dans le même contexte Nacke et Lindley (2010), dans leur approche n'ont pas trouvé de corrélation en combinant les mesures objectives (l'électromyographie et la réponse galvanique de la peau) avec les mesures subjectives (questionnaire). D'autres approches ont montré une corrélation entre les données

des mesures objectives et subjectives (Mandryk et al., 2006). Prenons l'exemple de l'approche adoptée par Martinez et al. (2009) qui consiste à évaluer l'expérience affective du joueur avec l'utilisation des indices physiologiques (la réponse galvanique de la peau, l'activité cardiaque et la pression sanguine) et des mesures subjectives (questionnaire). Cette étude a montré une corrélation entre les mesures d'auto-évaluation et l'activité cardiaque.

2.3.4 Conclusion

Dans cette section nous avons présenté le phénomène émotionnel et les différentes approches et mesures pour l'a modélisé.

Malgré l'importance de la reconnaissance des émotions du joueur durant la session du jeu, cela reste insuffisant pour reconnaître son comportement et s'adapter à son état pour lui offrir une expérience de jeu immersive. Dans un jeu vidéo, l'état mental du joueur (engagement) a une grande influence sur son expérience du jeu.

Dans la section suivante, nous présentons la notion d'engagement mental et nous exposons la méthode que nous allons utiliser pour extraire l'index d'engagement à partir de l'activité cérébrale avec l'utilisation de l'électroencéphalographie (EEG).

2.4 Étude de la notion d'engagement dans les jeux vidéo

2.4.1 La notion d'engagement mental

En général, l'engagement mental (l'attention) est défini comme la capacité d'un individu à se concentrer sur une activité particulière. Pendant la réalisation de cette activité, il faut maintenir un haut niveau d'attention pour éviter les effets négatifs des facteurs externes (Stamenović et al., 2005).

Au niveau des interactions Homme-Machine l'engagement est devenu un facteur important dans la conception, l'implémentation et l'évaluation des systèmes interactifs qui permet à l'utilisateur de s'attacher émotionnellement et physiquement à l'application et de garder l'envie d'interagir avec la machine (Jacques, 1996; Jones, 1998). Dans le domaine des

interactions Homme-Machine O'Brien (2010) a défini un modèle d'engagement basé sur six attributs à savoir: l'esthétique, l'émotion, l'environnement, l'attention (concentration), le challenge (défi), le contrôle, rétroaction, motivation, nouveauté et l'intérêt. Ces attributs ont une influence sur l'expérience de l'utilisateur qui est un élément important dans l'évaluation des interactions Homme-Machine (O'Brien & Toms, 2010).

Dans le domaine du jeu vidéo, la notion d'engagement mental a été utilisée pour évaluer l'expérience du joueur. Ainsi, cette notion a été souvent liée à d'autres concepts tels que l'immersion, le flux et la présence (Brown & Cairns, 2004; Csikszentmihalyi & Csikszentmihaly, 1991).

La notion d'immersion est souvent présentée dans la conception des jeux vidéo dans l'industrie du jeu. L'immersion est un critère important et un objectif ultime des scénarios des jeux. L'engagement est considéré comme le premier niveau de l'expérience immersive. Pendant cette phase le joueur doit interagir volontairement avec le jeu aussi, il doit apprendre le menu du contrôle et la façon de maîtriser le jeu et cela dépend de la complexité du jeu (E. Brown & Cairns, 2004). Le concept d'engagement est aussi considéré comme un composant du modèle d'immersion « *SCI-modele* » d'Ermi et Mäyrä (2005). Ce modèle identifie trois types d'immersions l'immersion fictionnelle, l'immersion challenge-based (basé sur les défis) et l'immersion sensorielle qui décrit l'état d'engagement émotionnel du joueur envers son avatar et le monde du jeu.

L'engagement mental a été aussi pris en considération pour décrire l'expérience de joie pendant un jeu vidéo. Csikszentmihalyi et Csikszentmihaly (1991) ont nommé l'état maximal de joie flux qui est l'état d'engagement mental d'une personne pendant une activité particulière. Csikszentmihalyi & Csikszentmihaly (1991) dans leur livre ont mis l'accent sur l'importance de faire l'équilibre entre les capacités de la personne et ses tâches à accomplir. Pendant un jeu vidéo si le niveau du défi du jeu dépasse les compétences du joueur cela pourrait le frustrer et l'empêcher de continuer à jouer. Par contre, un niveau du défi bas qui ne correspond pas aux capacités du joueur entrainera l'ennui. Par conséquent, il faut changer le niveau du jeu selon les compétences du joueur pour garantir une expérience de jeu immersive.

L'engagement a été souvent considéré comme un facteur essentiel de l'expérience de jeu qui satisfait les besoins du joueur et l'offre la sensation d'être entouré par une réalité différente de son environnement immédiat. Pendant cette expérience le joueur se transporte de son monde réel et s'absorbe par l'histoire du jeu. Brown et Cairns (2004), dans leur approche Brown & Cairns ont nommé cet état d'immersion totale la présence, pendant laquelle le joueur est entièrement immergé dans le jeu. À ce niveau d'immersion, le joueur s'engage visuellement, additivement et intellectuellement dans le monde du jeu et il coupe avec son monde réel.

L'engagement mental a été lié à d'autres concepts comme la motivation. Rigby et Ryan (2011), ont proposé un modèle de motivation dans les jeux numériques qui exige la satisfaction des besoins psychologiques (comme : la compétence, l'autonomie et les relations avec les autres) comme un facteur essentiel pour soutenir et motiver l'engagement du joueur pendant une session du jeu.

En général, un bon jeu vidéo doit capter l'attention et les sens du joueur pour qu'il soit totalement impliqué dans le monde du jeu. Aussi, une bonne expérience de jeu devrait apporter du fun, de la joie et du plaisir au joueur. Ces trois concepts sont étroitement liés à la notion d'engagement (Costello & Edmonds, 2009; IJsselsteijn, van den Hoogen, et al., 2008; Klimmt, 2003; Koster, 2004). Donc pendant le jeu le joueur doit se concentrer sur les tâches à accomplir pour garder le désir de continuer à jouer (S. Brown & Vaughan, 2009) et avoir une expérience de jeu immersive.

L'état émotionnel du joueur a aussi un effet sur son état d'engagement durant le jeu. Les émotions positives telles que la joie, la curiosité, l'excitation, etc. Supportent l'engagement du joueur. Par contre, les émotions négatives comme: l'ennui et la frustration désengagent le joueur et l'empêchent de continuer à jouer (S. Brown & Vaughan, 2009).

2.4.2 La modélisation d'engagement dans les jeux vidéo

Dans le domaine du jeu vidéo, plusieurs approches sont basées sur l'analyse du comportement du joueur pour mesurer l'engagement. En général, ses approches s'appuient sur la posture et

les mouvements du corps pour capturer la présence et l'absence d'engagement durant une session du jeu (Bianchi-Berthouze, 2010; Bianchi-Berthouze et al., 2007; Lindley et al., 2008; Nijhar et al., 2011). En effet, des nouvelles technologies ont été développées pour améliorer les interactions Homme-Machine et permet le joueur de bien Contrôler le jeu avec des mouvements naturels pour lui offrir une expérience du jeu réel et plein d'immersion (Bianchi-Berthouze et al., 2007). Par exemple : Wii Motion Plus, Kinect et PlayStation Move.

Dans ce courant de recherche, l'analyse des mouvements du corps se fait généralement à l'aide des caméras (vidéo) et des systèmes de capture de mouvement afin de capter l'engagement du joueur. Ainsi, ce courant de recherche montre que la notion d'engagement dépend du niveau et de la taxonomie du mouvement.

Bianchi-Berthouze et al. (2007) ont adopté une approche qui capte les mouvements des joueurs durant un jeu vidéo de sport. Quatorze joueurs ont été engagés pour jouer un jeu sportif. L'analyse des données de l'expérience a montré que les mouvements du corps augmentent le degré d'engagement. Ainsi, cette recherche montre l'influence des mouvements sur l'expérience affective du joueur qui a des effets sur son niveau d'engagement. Aussi ce courant de recherche a trouvé une relation entre le degré de réalisme des mouvements et le niveau d'engagement en distinguant deux types de mouvement : le premier type regroupe des mouvements qui sont très contrôlés par le joueur et elles permettent d'avancer et d'avoir des bons scores durant le jeu; et le deuxième type de mouvement vise à prendre le rôle du personnage (athlète) et faire partie du jeu (Bianchi-Berthouze et al., 2007; Nijhar et al., 2011).

Bianchi-Berthouze et al. (2013) ont construit un modèle d'engagement basé sur cinq taxonomies du mouvement:

- i. Les mouvements du corps de contrôle « *Task-Control Body Movements* »: le joueur et l'interface du jeu sont responsables à ce genre du mouvement qui vise à contrôler et à avancer dans le jeu.
- ii. Les mouvements du corps facilitateur « *Task-Facilitating Body Movements* »: ces mouvements facilitent le contrôle du jeu par le joueur.

- iii. Les mouvements du corps liés à un rôle « *Role-Related Body Movements* »: ce type de mouvement est lié au rôle du joueur dans le scénario et il le permet de s'intégrer dans le monde du jeu.
- iv. Les expressions affectives « *Affective Expressions* »: ces mouvements montrent l'état affectif du joueur durant la session du jeu. En général, ils ne sont pas reconnus par l'interface du jeu et ils ont un effet important sur l'expérience du joueur.
- v. Les expressions de comportement social « *Expressions of Social Behaviour* »: ces expressions supportent les interactions entre les joueurs durant la session du jeu. En général, ils ne sont pas reconnus par le contrôleur du jeu.

Dans leur approche Bianchi-Berthouze et al. (2013) ont montré la relation entre ces cinq taxonomies de mouvements et leur effet sur la qualité et le niveau d'engagement du joueur durant le jeu.

Dans le même domaine de recherche, d'autres travaux sont basés sur des mesures subjectives comme les questionnaires pour mesurer l'engagement dans les jeux vidéo (Brockmyer et al., 2009; Mayes & Cotton, 2001; Wiebe et al., 2014).

Le travail adopté par Wiebe et ces collègues (2014) a concerné l'« User Engagement Scale (UES) » (O'Brien & Toms, 2008, 2010; O'Brien & Toms, 2013) pour mesurer l'engagement dans les jeux vidéo. Le questionnaire est formé de 30 items et il est basé sur une échelle de 6 points et une sous-échelle de 6 points qui ont été changés pour s'adapter au jeu vidéo.

D'autres recherches sont basés dans leurs travaux sur des mesures subjectives pour mesurer l'engagement du joueur dans les jeux vidéo. Mayes et Cotton (2001) ont introduit un questionnaire d'engagement « *Engagment Questionnaire (EQ)* » qui se base sur 6 dimensions (l'intérêt, l'authenticité, la curiosité, la participation et la fidélité) pour évaluer l'expérience générale du jeu et mesurer l'engagement.

Dans ce courant de recherche, le GEQ est considéré comme un des questionnaires les plus utilisés pour mesurer l'engagement (Brockmyer et al., 2009). Ce questionnaire est formé de 19 items. Le joueur se base sur une échelle de 0 à 5 points pour juger son expérience du jeu.

Cette recherche a montré quatre niveaux d'engagement (immersion simple, présence, flux et absorption psychologique).

Les questionnaires et les mesures comportementales ne sont pas toujours efficaces pour mesurer l'état d'engagement du joueur. En effet, d'autres approches sont basées sur la mesure physiologique EEG pour extraire l'engagement mental des joueurs à partir de leurs activités cérébrales d'une manière automatique et continue dans le temps (Fairclough et al., 2013; Khedher & Frasson, 2015). Durant ce travail, nous nous basons sur cette approche physiologique pour mesurer et évaluer l'état d'engagement du joueur dans un jeu vidéo de rôle.

2.4.3 Calcul de l'index d'engagement mental

2.4.3.1 L'électroencéphalographie

Le cerveau humain est formé d'un nombre gigantesque de cellules nerveuses appelées neurones, reliées entre elles par des connexions synaptiques (Changeux, 2002). La stimulation de ces neurones due à une activité cérébrale (transmission ou traitement des informations) provoque une charge électrique appelée *influx nerveux*.

L'utilisation de L'électroencéphalographie (EEG) comme mesure de l'activité cérébrale date à l'année 1920 par le physiologiste allemand Hans Berger. Pour mesurer l'activité cérébrale, il faut placer des électrodes sur le scalp humain pour mesurer le potentiel électrique du cerveau.

Le signal EEG obtenu d'une électrode se calcule en hertz (Hz). La figure suivante présente un exemple de signal EEG mesuré pendant une seconde.

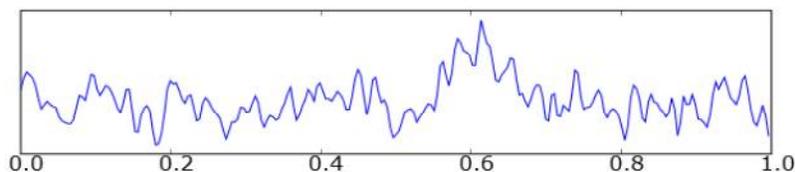


Figure 2.15 – Exemple de signal EEG

D'une façon générale, il existe deux méthodes pour faire l'interprétation des signaux EEG: la méthode de potentiels évoqués et la méthode des ondes cérébrales.

- **La méthode de potentiels évoqués:** permet d'analyser les changements de morphologie du signal EEG dans le temps suite à des stimulus extérieurs. Dans cette ligne de recherche, on doit citer l'approche adoptée par Donchin et al. (2000) dans le développement des Interfaces Cerveau-Machine (ICM) de type « *p 300 speller* ».
- **La méthode des ondes cérébrales:** consiste à regrouper les signaux EEG en un ensemble de plages de fréquences telles que: delta (1-4 Hz), theta (4-8 Hz), alpha (8-13 Hz) et bêta (13-22 Hz). L'interprétation du signal EEG se détermine à partir de la prédominance de certaines plages de fréquences par rapport aux autres. Par exemple, pendant l'état du sommeil profond, les ondes delta sont dominantes. Par contre, les ondes bêta se présentent plus au cours d'activité consciente. Alors que les ondes thêta répondent plus aux activités mentales associées à la créativité et à la concentration et les ondes alpha sont accordées à la relaxation et le repos (Demos, 2005).

2.4.3.2 Le calcul et l'évaluation de l'index d'engagement mental à partir des signaux EEG

L'utilisation des signaux EEG dans la modélisation de l'engagement mental date à l'année 1995 dans le domaine de pilotage d'avion. Le but principal était de créer des systèmes capables d'exécuter automatiquement un ensemble de tâches pour aider le pilote à contrôler l'avion sans que ce dernier perde son engagement durant l'activité (Freeman et al., 1999; Freeman et al., 2000; Pope et al., 1995).

L'ensemble de recherches réalisées à la « *National Aeronautics and Space Administration* » (NASA) par Pope et al. (1995) ont réussi à extraire un index d'engagement mental avec l'utilisation du ratio des trois plages de fréquences θ (4-8 Hz), α (8-13 Hz) et β (13-22 Hz) (Pope et al., 1995) .

$$Eng_Index = \frac{\beta}{\theta + \alpha}$$

Les plages de fréquences θ , α et β utilisées correspondent à la somme des plages de fréquences de chaque région cérébrale mesurée.

Pour faire l'interprétation de l'index d'engagement obtenu, on mentionne la *méthode absolue* adoptée par l'approche de Levenson (1988) qui consiste à établir une valeur de référence pour évaluer les données physiologiques captées par les senseurs. Pour évaluer l'index d'engagement, on calcule la moyenne de valeur de l'index pendant une période de 5 minutes (Freeman et al., 2000). Pour établir ce seuil, il faut garder le sujet dans l'état le plus neutre possible. Par la suite, si la moyenne des index d'engagement pendant une activité est inférieure à ce seuil, alors l'état d'engagement est considéré comme négatif sinon l'état d'engagement est considéré comme positif.

2.4.4 Stratégies d'engagement dans les jeux vidéo

Un des objectifs principaux des jeux vidéo est de garder le désir de jouer le jeu pour un maximum du temps. Pour cela il faut garder l'attention du joueur durant le jeu (Schoenau-Fog, 2011). En effet il est très important qu'un jeu vidéo soit capable de capter le manque d'engagement (désengagement) des joueurs et de réagir en conséquence. Dans cette section nous allons présenter les principales études de recherche des stratégies d'engagement dans les jeux vidéo.

Dans le domaine du jeu vidéo, la question des stratégies d'engagement n'a pas été très abordée dans tous les types des jeux vidéo. Mais ils ont été surtout utilisés dans les jeux éducatifs pour corriger les émotions défavorables des apprenants afin de garder leur engagement durant le processus d'apprentissage (Deater-Deckard et al., 2013; Khedher & Frasson, 2015). Dans ce courant de recherche, certaines approches sont basées sur des stratégies d'adaptation sous la forme des agents virtuels pour corriger les émotions des apprenants (D'Mello et al., 2012; Frasson et al., 2014).

Dans certains travaux faits, le changement du niveau de difficulté durant le jeu a été utilisé comme une stratégie pour garder l'engagement du joueur (Chanel et al., 2008; Rani et al., 2005). Chanel et al. (2008) ont utilisé des mesures physiologiques (la réponse galvanique

de la peau et EEG) pour mesurer les émotions et adapter le niveau de difficulté aux compétences du joueur. Les résultats de cette approche ont montré que le niveau d'engagement du joueur peut diminuer durant un jeu de Tetris si on garde le même niveau de défis. Ainsi, ils ont souligné l'importance de changer le niveau des difficultés dépendamment des émotions des joueurs.

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les travaux de recherche menés dans les trois domaines suivants: les jeux vidéo, les émotions et l'engagement mental.

Les émotions font une partie intégrante de l'expérience du jeu de joueur. En effet, plusieurs recherches ont abordé la question de mesure des émotions. Malgré l'importance de la reconnaissance des émotions du joueur durant la session du jeu, cela reste insuffisant pour reconnaître son comportement et s'adapter à son état pour améliorer son expérience du jeu et garder son attention. Par conséquent, il faudra mettre l'accent sur l'état d'engagement mental du joueur pour bien évaluer son expérience du jeu.

Dans le domaine du jeu vidéo, il n'existe pas beaucoup d'études pour mesurer et soutenir l'engagement mental du joueur dans les jeux vidéo de rôle. Ceci nous a encouragé à aborder cette question. Dans le chapitre suivant, nous proposons de mesurer l'engagement mental du joueur à partir de son activité cérébrale afin d'évaluer quantitativement son niveau d'attention durant son interaction avec un jeu vidéo de rôle.

Chapitre 3. Modélisation de l'engagement mental dans un jeu vidéo

3.1 Introduction

Comme on a déjà mentionné dans ce mémoire nous nous intéressons dans le premier objectif à mesurer l'engagement dans un environnement de jeu vidéo. Pour réaliser cet objectif, nous avons développé un jeu vidéo de rôle en 3D intitulé DangerIslandV1. Nous avons nous même réalisé entièrement ce jeu (conception, implémentation, expérimentation) en bonifiant parfois de conseil et d'aide de mon collègue Sahbi Benlamine. Nous avons réalisé également une étude expérimentale pour mesurer l'index d'engagement mental extrait de l'activité cérébrale du joueur et plus précisément l'électroencéphalographie (EEG). Cet index a été développé à la « *National Aeronautics and Space Administration* » (NASA) (Pope et al., 1995).

Dans cette étude expérimentale, nous évaluons d'abord les expériences émotionnelles des joueurs en se basant sur une méthode d'auto-évaluation qui permet aux joueurs de déterminer leurs états émotionnels sans interrompre les expériences du jeu. Ensuite, nous vérifions la capacité de l'index d'engagement à évaluer l'état d'engagement mental des joueurs durant le jeu. Nous analysons à la fin la relation qui pourrait exister entre l'index d'engagement et l'état affectif du joueur.

Dans la première section de ce chapitre, nous décrivons avec détail la phase de conception et de développement du jeu vidéo DangerIslandV1. Par la suite, nous présentons les différentes étapes de notre étude expérimentale. Nous exposons également les résultats obtenus par cette étude. Nous finissons ce chapitre par une discussion de ces résultats.

3.2 Développement et description du jeu vidéo DangerIslandV1

3.2.1 Plateforme de développement

Pour développer le jeu vidéo, on a choisi le moteur du jeu Unity3D développé par Unity Technologies. Unity est un moteur 3D/2D compatible avec différentes plateformes telles que :

Mac OSX, iOS, Android, Window, etc. Unity a été utilisé dans la création des jeux vidéo et des animations interactives comportant de l'audio et de la vidéo. Ce logiciel offre aussi une licence gratuite et il permet aussi d'acheter des licences pour IOS (IPhone, IPad, Android, Windows phone, Xbox 360, Playstation 3 et pour la Wii. Unity n'offre pas la possibilité de créer le contenu artistique du jeu (son et personnage). Mais il permet une importation des fichiers créés dans d'autres logiciels comme Blender, Maya, Photoshop, etc. Ainsi, Unity offre des ressources informatiques gratuites « *asset* » qui facilitent le développement des jeux vidéo. Et il permet l'accès à un certain nombre de fonctionnalités comme les effets de son, les «shaders », collision, etc. Unity a une grande popularité parce qu'il est facile à apprendre ainsi qu'il offre beaucoup des fonctions prédéfinies et d'options qui permettent de créer des jeux de bonne qualité en minimum de temps.

3.2.2 Scénario

Le choix de scénario est une étape importante dans la phase de conception qui précède la phase de développement de jeu vidéo et qui dépend des objectifs et du but de création du jeu. Dans notre travail nous avons essayé de choisir un scénario du jeu qui provoque les émotions du joueur, attire son attention et le garde engagé durant la session du jeu.

De façon générale, le scénario de notre jeu tourne autour d'un personnage principal Clara qui a survécu après une panne de son hélicoptère à cause d'un manque de carburant. Elle est coincée dans une île dangereuse. Clara doit trouver le carburant et revenir à l'hélicoptère pour se sauver. Le joueur sera face à différents ennemis tels que Zombi, animal sauvage (ours) et mitrailleuse automatique. Clara se servira d'une arme et elle suivra des différents indices pour réussir sa mission.

3.2.3 Jeu vidéo de rôle

Un jeu vidéo doit comporter du fun et du plaisir (Costello & Edmonds, 2009; IJsselsteijn et al., 2008), motiver le joueur pour avancer dans le jeu (Rigby & Ryan, 2011) et surtout il doit offrir une expérience de jeu immersive (Brown & Cairns, 2004). Tous ces concepts comme on a déjà montré dans le chapitre précédent sont étroitement liés au concept d'engagement et à

l'état affectif du joueur. En prenant en considération tous ces critères, nous avons choisi de développer un jeu vidéo de rôle « *Role Playing Game* (RPG) ».

Un jeu vidéo de rôle est un type de jeu pendant lequel le joueur représente un personnage qui évolue dans un environnement pour atteindre un objectif. Durant son aventure le personnage rencontre des situations et des défis plus ou moins complexes. En général, le personnage se sert des indices et des équipements (armes, clé, médicaments, etc.) pour évoluer dans son environnement et pour accumuler des points d'expérience.

3.2.4 Interface du jeu vidéo

Dans un jeu vidéo, l'interface et le menu de contrôle ont une influence sur l'expérience immersive du joueur ainsi que sur son état d'engagement (Brown & Cairns, 2004). Un menu de contrôle clair et efficace aide le joueur à bien manipuler le jeu et lui apporte le plaisir de continuer à jouer.

Pendant la phase de développement du jeu vidéo DangerIslandV1, nous avons essayé de créer une interface du jeu bien organisée, facile à comprendre et elle contenant les informations qui permettent au joueur de contrôler le jeu avec efficacité et satisfaction. Notre interface du jeu vidéo est composée des éléments suivants :

- **Menu de contrôle:** il explique les différentes commandes qui aident le joueur à bien manipuler le jeu.
- **Type du joueur :** une fenêtre offre au joueur la possibilité de déterminer s'il est un joueur régulier ou non avant de commencer sa session du jeu.
- **Temps :** c'est la durée de la session du jeu qui se détermine selon le type du joueur. Tel qu'un joueur régulier aura 10 minutes pour finir le jeu et un joueur non-régulier aura un temps de 15 minutes
- **Les points de l'expérience « Health »:** cette option aide le joueur à déterminer sa situation dans le jeu vidéo. Ce nombre de points augmente ou diminue selon l'évolution du joueur dans le jeu vidéo.

- **Histoire du jeu:** un message s'affiche sur l'interface du jeu pour expliquer le scénario aux joueurs avant de commencer la session du jeu.
- **Type d'émotion:** c'est une fenêtre sur l'interface du jeu qui permet au joueur durant le jeu vidéo de déterminer son émotion parmi 12 différentes émotions.
- **Bidon d'huile « oil can »:** une option qui permet de déterminer le nombre de bidons de carburant récupérés par le joueur durant le jeu vidéo.
- **« Lock cursor » :** un bouton qui permet d'arrêter et de reprendre le jeu à n'importe quel moment durant la session du jeu.

La figure suivante décrit l'interface du jeu vidéo DangerIslandV1.



Figure 3. 1 – L'interface du jeu vidéo DangerIslandV1

3.2.5 Environnement du jeu vidéo

Nous avons choisi une île comme environnement pour réaliser le scénario de notre jeu vidéo. L'environnement de DangerIslandV1 se caractérise par une nature agréable qui contient toutes sortes d'arbre, fleur, village, roche, montagne, chalet, etc. Ainsi, pour attirer l'attention du

joueur on a créé des endroits sombres et clairs. Aussi, on a ajouté des effets du son et d'éclairage pour améliorer l'expérience du joueur.

L'environnement du jeu est bien organisé et contient un ensemble d'indices pour aider le joueur à se déplacer facilement et de réaliser ses objectifs.

L'environnement de DangerIslandV1 est aussi interactif, les interactions des agents (personnages du jeu) avec les différents éléments de l'environnement peuvent déclencher des effets d'éclairage et de son. De plus, l'état de l'environnement est changeable et il dépend des actes des agents et de leurs façons de déplacement et d'apparitions. La figure suivante présentera l'environnement du jeu vidéo DangerIslandV1.



Figure 3. 2 – L'environnement du jeu vidéo DangerIslandV1

3.2.6 Les agents

Dans le jeu vidéo DangerIslandV1 il existe 4 agents. Le premier agent représente Clara le personnage principal de notre jeu vidéo qui est contrôlé par le joueur. L'agent Clara se déplace dans l'environnement du jeu en suivant un ensemble d'indices pour réussir sa mission. Les trois autres agents représentent les ennemis. Tels que: Zombi, animal sauvage (ours) et mitrailleuse automatique qui est considéré comme l'ennemi le plus dangereux à cause de sa

rapidité à tirer. Ces derniers se sont des agents réactifs fonctionnent selon un modèle stimuli/réponse. Les agents ennemis se déplacent de façon autonome dans l'environnement du jeu et ils attaquent l'agent Clara quand elle se rapproche d'eux pour l'empêcher de ramasser les bidons de carburant et de se sauver de l'île. Pour réaliser cela nous avons utilisé une fonction prédéfinie par le moteur du jeu Unity3D qui permet de mesurer la distance entre deux objets dans un repère 3D.

Dans le jeu vidéo DangerIslandV1 nous avons intégré *un système de fichiers journaux*. Tous les événements principaux qui se déroulent durant le jeu tels que les actions et les interactions entre agents (exemples: l'attaque de l'agent, la mort de l'agent, le début du jeu, etc.) seront enregistrées en temps réel dans ce système. La figure suivante décrira les agents (personnages) de jeu vidéo DangerIslandV1.



Figure 3.3 – Les agents de jeu vidéo DangerIslandV1

3.3 Expérience 1 : Mesure et évaluation de l'engagement mental dans un jeu vidéo

L'objectif de cette expérience est de mesurer et évaluer l'engagement mental du joueur durant le jeu vidéo DangerIslandV1.

Dans premier temps, nous avons mesuré les émotions du joueur durant le jeu vidéo DangerIslandV1 en se basant sur une méthode d'auto-évaluation qui permet aux joueurs de déterminer leurs états émotionnels sans interrompre les expériences du jeu. Ensuite nous avons réalisé une étude statistique pour déterminer la différence entre les expériences émotionnelles suivant le sexe et les types des joueurs (joueur régulier ou joueur non-régulier). Dans deuxième temps, nous avons utilisé un casque EEG Emotiv Epoc pour calculer l'index d'engagement mental extrait de l'activité cérébrale du joueur pour évaluer le changement de l'état d'engagement du joueur durant le jeu. Nous allons aussi analyser la relation qui peut exister entre cet index d'engagement et l'état affectif du joueur.

Dans la partie suivante, nous décrivons l'étude expérimentale et nous exposons les résultats obtenus. Une partie de ses résultats a été présentée dans (Benlamine et al., 2015).

3.3.1 Méthodologie

Afin d'accomplir nos objectifs de recherche, nous avons réalisé une expérience pendant laquelle un ensemble de participants ont interagi avec le jeu vidéo DangerIslandV1. Pendant cette étude expérimentale, nous avons utilisé l'EEG et la mesure d'auto-évaluation (questionnaire). Notre méthodologie commence par la collection des données d'EEG et du questionnaire. Par la suite, nous proposons de traiter les données brutes obtenues pour pouvoir extraire l'index d'engagement et mesurer les émotions des joueurs durant la session du jeu.

- **Description du matériel**

Durant notre étude expérimentale, nous avons utilisé le casque EEG Emotiv Eoc. Il est composé de 16 électrodes qui ont été enfilées sur la tête du participant selon la norme internationale 10-20. Les noms des électrodes se déterminent en rapport avec leur emplacement sur le cuir de chevelu. Les 14 électrodes sont situées aux positions AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5, FC6, P7, P8, T7, T8, O1 et O2. Les deux autres électrodes CMS « *Common Mode Sense* » et DRL « *Driven Right Leg* » forment des points de références et ils se localisent au niveau du lobe de l'oreille gauche et du lobe de l'oreille droite, comme le montre la figure suivante.

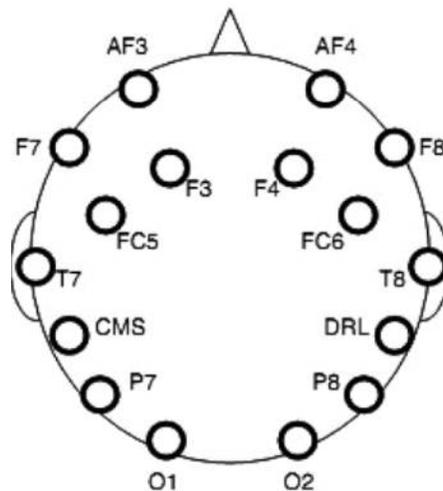


Figure 3.4 – Emplacement des électrodes EEG

- **Participant**

Vingt participants de l'Université de Montréal ont été engagés durant cette expérience. Leurs âges entre 24 et 35 ans. Les participants ont signé un formulaire de consentement. Ainsi, ils ont été récompensés de 20\$ pour leur participation. 20% des participants sont des joueurs réguliers et les restes sont des joueurs non-réguliers.

- **Déroulement de l'expérience**

Avant de commencer l'expérience, nous avons préparé le casque EEG Emotiv Eoc (figure 3.5). Nous avons commencé par mouiller les 16 électrodes avec la solution saline. Par la suite, nous avons placé le participant devant la machine et

nous avons installé le casque EEG Emotiv Epoc. Ensuite, nous avons vérifié la qualité du signal des électrodes avec l'application *Emotiv Test Bench* offerte par le système *Emotiv Epoc*. Une fois que l'expérience commence. Le participant doit se mettre dans l'état le plus neutre possible pendant 5 minutes. Durant ce temps les valeurs de référence « *baseline* », pour les différents senseurs, sont enregistrées.



Figure 3.5 – Le casque EEG Emotiv Epoc⁹

3.3.2 Traitements des données EEG

- **Enregistrement des données EEG:**

Les données récupérées du casque EEG Emotiv Epoc sont en (μ Volt) et elles sont structurées en segments avec un taux d'échantillonnages de 128 Hz. Ces données sont enregistrées en 14 blocs de données qui correspondent à chaque électrode.

- **Transformation des données**

Pendant cette phase nous avons appliqué une Transformée de Fourier Rapide (TFR) pour les données de chaque électrode pour extraire la puissance spectrale en (μ V²) pour chaque seconde. Pour ce faire nous avons utilisé la technologie *Biopac* avec une fenêtre de hamming pour lisser le signal.

- **Extraction de l'index d'engagement des signaux EEG**

⁹ <https://www.emotiv.com/>

Nous avons utilisé les données EEG après l'application d'une Transformée de Fourier Rapide (TFR), pour extraire les bandes de fréquence thêta (4–7 Hz), alpha (8–13 Hz), bêta (14–30 Hz). Ensuite nous avons calculé la moyenne pour chacune de ces bandes, ainsi que l'index de l'engagement en se basant sur la théorie de Pope et al. (1995).

$$Eng_Index = \frac{\beta}{\theta + \alpha}$$

Les plages de fréquences θ , α et β utilisées pour calculer ce ratio correspondent à la moyenne de la somme des plages de chaque région cérébrale mesurée pour chaque seconde. Par la suite, nous avons calculé le minimum et le maximum de l'index d'engagement des 14 électrodes durant toute la session du jeu vidéo. Nous avons calculé également la moyenne de ces valeurs. Nous avons utilisé ces résultats par la suite pour évaluer l'état d'engagement des joueurs durant le jeu vidéo.

3.3.3 Collection et traitement des données du questionnaire

Durant le jeu vidéo, les participants ont été encouragés à indiquer leurs émotions parmi 12 types différents d'émotions (calme, engagement, flux, excitation, joie, surprise, frustration, peur, confusion, tristesse, ennui et colère) à partir d'une fenêtre localisée dans la partie droite de l'interface du jeu. Les joueurs ont été encouragés à déterminer le changement de leur état affectif à n'importe quel moment durant le jeu. Pour ne pas interrompre les participants durant leurs expériences de jeu, ils ont l'option d'arrêter le jeu, déterminer leur émotion courante et continuer leur session de jeu. Toutes les émotions, la date et l'heure seront enregistrées en temps réel dans un système de fichiers journaux. Par la suite, nous avons transformé les fréquences des émotions en pourcentage. Aussi pour mieux évaluer les états affectifs du joueur durant le jeu vidéo nous avons regroupé les douze états émotionnels en quatre groupes principaux en se basant sur les deux dimensions émotionnelles (valence et activation):

- Groupe 1: regroupe les émotions positives à fortes intensités telles que l'engagement, le flux, l'excitation et la joie).

- Groupe 2: inclut les émotions positives de faibles intensités. Le joueur est dans un état calme.
- Groupe 3: inclut les émotions négatives comme la frustration, la peur, l'ennui, la tristesse et la colère.
- Groupe 4: regroupe les émotions sans-valence telles que la confusion et la surprise (Harley et al., 2013). Ce type d'émotion se produit souvent durant l'expérience de jeu et elles ne sont pas nécessairement des émotions indésirables (De Mello et al., 2014).

3.3.4 Résultats expérimentaux

Durant la phase du traitement de données, nous avons exclu un participant. Nous avons utilisé le logiciel SPSS pour réaliser un ensemble de tests statistiques sur les données collectées (EEG, questionnaire) de 19 participants. Nous présentons et nous discutons les résultats de ces tests dans les sections suivantes.

3.3.4.1 Évaluation des émotions

Le tableau 3.1 présente les pourcentages de différents types d'émotions selon le sexe des joueurs.

Les résultats ont montré que l'expérience des joueurs est caractérisée par une forte dominance d'émotions du groupe 1 (les émotions positives à fortes intensités) (53,58 %) comparativement au groupe 2 (les émotions positives de faibles intensités) (7,49 %). En effet, l'excitation est considérée comme l'émotion la plus remarquable (26,23 %), suivi par la joie (14,42 %) durant l'expérience de jeu, alors que les émotions de la tristesse (0,58 %) et d'ennui (0,28 %) sont moins présentes.

Nous avons utilisé la technique *t-test* pour comparer les 12 états émotionnels et les quatre groupes d'émotions entre les joueurs masculins et féminins. Les résultats révèlent que les femmes ont montré plus que les hommes l'émotion de la peur durant l'expérience de jeu. La différence a été significative ($t(17) = -2,16, p < 0,05$).

Nous pouvons aussi constater que les femmes les hommes ont montré plus d'émotions du groupe 1 et du groupe 3 (les émotions négatives) (tableau 3.1) durant l'expérience du jeu.

Parmi les douze émotions évoquées durant le jeu, l'excitation a été l'émotion la plus dominante chez les hommes et les femmes. Par contre, la grande différence entre sexes est au niveau des émotions de la peur et de la surprise. Les femmes ont montré plus de la peur (17,32 %). Alors que, l'émotion de la surprise (15,37 %) domine chez les hommes durant l'expérience du jeu.

Tableau 3.1 – Description statistique des pourcentages de différents types d'émotions des joueurs.

		Proportion de la moyenne (SD)		
		Masculin (N=12)	Féminin (N= 7)	Joueurs (N= 19)
Émotion	Engagement	9,72 (11,35)	13,55 (12,03)	11,13 (11,43)
	Flux (flow)	2,02 (4,41)	1,43 (2,44)	1,80 (3,74)
	Excitation	29,04 (19,34)	21,41 (18,66)	26,23 (18,95)
	Joie	16,52 (12,82)	10,81 (9,50)	14,42 (11,77)
	Surprise	15,37 (15,40)	5,63 (4,80)	11,78 (13,26)
	Frustration	7,99 (8,64)	10,00 (7,69)	8,73 (8,15)
	Peur	1,77 (3,62)	17,32 (25,02)	7,50 (16,61)
	Confusion	1,46 (3,43)	2,69 (2,67)	1,91 (3,15)
	Ennui	0,45 (1,56)	0,00 (0,00)	0,28 (1,24)
	Tristesse	0,30 (1,03)	1,06 (2,80)	0,58 (1,85)
	Colère	9,48 (11,93)	5,87 (11,10)	8,15 (11,45)
	Calme	5,89 (8,89)	10,25 (8,33)	7,49 (8,73)
	Grouper par dimension	Groupe 1 (Émotions positives à fortes intensités)	57,30 (15,77)	47,20 (21,58)
Groupe 2 (Émotions positives de faibles intensités)		5,89 (8,89)	10,25 (8,33)	7,49 (8,73)
Groupe 3 (Émotions négatives)		19,99 (14,22)	34,23 (23,52)	25,24 (18,93)
Groupe 4 (Émotions sans-valence)		16,83 (15,67)	8,32 (4,27)	13,69 (13,19)

Dans le tableau 3.2, nous présentons les pourcentages de différents types d'émotions en considérant le type des joueurs (réguliers, non-réguliers). Dans la présente étude, nous avons

exclu la catégorie des joueurs féminins réguliers étant donné que le nombre de participants est limité. Nous avons constaté que les joueurs masculins et féminins non-réguliers ont montré plus d'émotions des groupes 1 et 3 durant l'expérience du jeu. Nous avons également remarqué que la peur était l'émotion la plus dominante chez les joueurs féminins non-réguliers (17,32 %). Par contre, cette émotion était moins présente chez les joueurs masculins non-réguliers (2,66 %) et surtout les joueurs masculins réguliers.

Tableau 3.2 – Description statistique des pourcentages de différents types d'émotions selon le sexe et le type des joueurs (régulier, non-réguliers).

Type de joueurs		Proportion de la Moyenne (SD)		
		Non-régulier		régulier
		Masculin (N=8)	Féminin (N=7)	Masculin (N=4)
Émotion	Engagement	11,55(13,03)	13,55(12,03)	6,03(6,99)
	Flux (flow)	1,79(5,05)	1,43(2,44)	2,50(3,38)
	Excitation	35,06(19,98)	21,41(18,66)	17,00(12,28)
	Joie	13,30(12,14)	10,81(9,50)	22,95(13,29)
	Surprise	15,01(17,62)	5,63(4,80)	16,09(11,97)
	Frustration	5,46(6,37)	10,00(7,69)	13,03(11,33)
	Peur	2,66(4,24)	17,32(25,02)	0,00(0,00)
	Confusion	1,19(3,37)	2,69(2,67)	2,00(4,00)
	Ennui	0,68(1,91)	0,00(0,00)	0,00(0,00)
	Tristesse	0,44(1,26)	1,06(2,80)	0,00(0,00)
	Colère	9,77(11,12)	5,87(11,10)	8,89(15,24)
	Calme	3,08(7,37)	10,25(8,33)	11,50(10,00)
	Grouper par dimension	Groupe 1 (Émotions positives à fortes intensités)	61,70(18,00)	47,20(21,58)
Groupe 2 (Émotions positives de faibles intensités)		3,08 (7,37)	10,25(8,33)	11,50 (10,01)
Groupe 3 (Émotions négatives)		19,02(15,51)	34,23(23,52)	21,92(13,15)
Groupe 4 (Émotions sans-valence)		16,20(17,53)	8,32(4,27)	18,09(13,19)

3.3.4.2 Évaluation de l'état d'engagement mental des joueurs

Le tableau 3.3 présente les valeurs moyennes de l'index d'engagement des participants calculées durant la session du jeu avec utilisation des données du casque EEG Emotiv Epoc. Nous avons constaté que 15 participants ont eu un niveau d'engagement élevé (>50 %) durant les sessions du jeu, alors que 3 participants ont eu un niveau d'engagement bas (<50 %) et 2 participants ont connu un niveau moyen d'engagement (=50 %). Aussi, d'après le tableau 3.3, nous avons remarqué que les joueurs masculins ont eu un niveau d'engagement plus élevé que les joueurs féminins. Ainsi, le niveau d'engagement a été plus élevé chez les joueurs masculins réguliers comparativement à celui des joueurs masculins non-réguliers.

Tableau 3.3 – Description statistique des niveaux d'engagement des joueurs durant les session du jeu.

Les niveaux d'engagement des participants																				
Sexe	M	F	F	M	M	F	M	M	M	M	M	F	M	F	M	M	M	F	M	F
Régulier	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	N	N	N	Y	N	Y	N
Niveau ¹	H	H	B	H	M	B	H	B	H	M	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
Moyenne	59	70	45	62	50	28	51	49	57	50	53	51	51	64	60	64	61	55	68	63
Écart type	02	02	03	02	01	05	04	07	03	03	05	02	05	03	04	02	03	03	03	07

¹ : H= Niveau élevé d'engagement; B= Niveau bas d'engagement et M= Niveau moyen d'engagement.

3.3.4.4 Validation des mesures du casque EEG Emotiv Epoc

Un parmi les objectifs de cette expérience est de mesurer l'index d'engagement mental extrait de l'activité cérébrale du joueur avec l'utilisation du casque EEG Emotiv Epoc et en se basant sur l'approche de Pope et al. (1995), afin d'évaluer l'état d'engagement mental du joueur dans un jeu vidéo.

Le casque EEG Emotiv Epoc offre aussi une mesure d'engagement. Certains travaux de recherches sont basés sur cette mesure pour évaluer l'état d'engagement des joueurs durant les jeux vidéo (Frasson et al., 2014; Khedher & Frasson, 2015). Afin de valider cette mesure, nous avons comparé les valeurs moyennes de mesures d'engagements de chaque participant avec

les valeurs moyennes de l'index d'engagement mesuré durant la session du jeu. L'analyse statistique des données a montré une différence de 13.75 %. Ces résultats affirment la pertinence des mesures d'engagement offertes par le casque EEG. Suite à ces résultats, nous avons choisi de travailler avec les mesures d'engagement offertes par le casque EEG Emotiv Epoc dans notre prochaine expérience.

La figure suivante décrit la distribution des différences entre l'index d'engagement et la mesure d'engagement offerte par le casque EEG Emotiv Epoc des 20 participants durant le jeu.

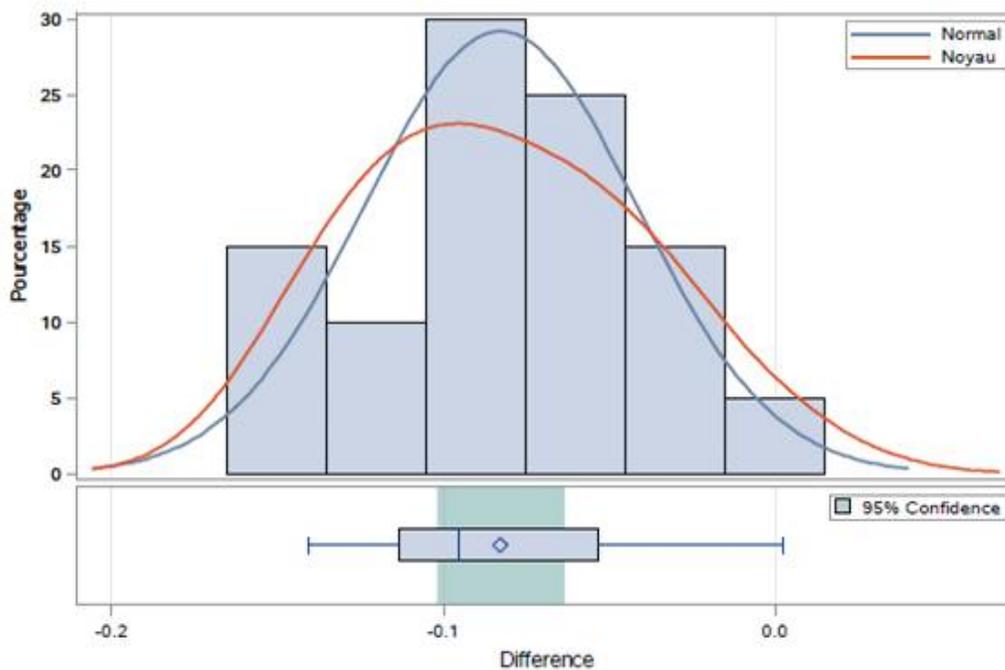


Figure 3.6 – Description de la distribution des différences entre l'index d'engagement et la mesure d'engagement des participants.

3.3.5 Discussion

L'analyse des résultats a révélé que les joueurs ont montré une grande proportion d'émotions positives à fortes intensités (53,58 %) et un niveau élevé d'engagement durant l'expérience du jeu. Nous avons également remarqué que l'excitation est l'émotion la plus dominante

(26,23%). Ces résultats prouvent que le jeu vidéo de rôle DangerIslandV1 a la capacité d'attirer l'attention des joueurs et de leur offrir une expérience de jeu immersive.

Nous pouvons aussi constater que l'émotion de la peur a été plus dominante chez les femmes (17,32 %) que les hommes, cela s'explique par le niveau élevé des défis qui change durant le jeu. En fait, les joueurs peuvent être attaqués par plusieurs ennemis en même temps (ours, mitrailleuse électrique et zombi). Aussi, le pourcentage élevé de l'émotion de la surprise (15,37 %) chez les hommes est dû à l'apparition brusque des ennemis durant le jeu vidéo.

La comparaison des joueurs réguliers et non-réguliers révèle que les émotions positives étaient plus importantes chez les joueurs non-réguliers. En effet, ces derniers ont connu une expérience de jeu plus immersive. Nous avons aussi remarqué l'absence de l'émotion de la peur chez les joueurs réguliers. Cela peut être expliqué par leur habitude de jouer de façon régulière, ce qui leur permet de tester différentes situations, et par conséquent de contrôler plus les émotions négatives comme la peur.

L'analyse des résultats prouve également que la mesure EEG est efficace pour mesurer l'engagement mental du joueur durant le jeu. Ainsi, l'index d'engagement extrait de l'activité cérébrale du joueur permet de bien évaluer le changement d'état d'engagement mental durant l'expérience du jeu.

De plus, nous avons remarqué que les joueurs ont montré plus d'émotions positives à fortes intensités durant le jeu. Aussi, les valeurs moyennes de l'index d'engagement ont été élevées pour la majorité des joueurs. Ces résultats montrent que les hauts niveaux d'engagement sont accompagnés par des émotions positives à fortes intensités comme la joie, l'excitation et le flux.

3.3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit la phase de développement du jeu vidéo DangerIslandV1. Nous avons présenté aussi les différentes étapes de notre étude expérimentale, durant laquelle, nous avons d'abord mesuré les émotions du joueur durant le jeu vidéo DangerIslandV1 en se basant sur une méthode d'auto-évaluation qui permet au joueur de déterminer son état

émotionnel sans interrompre l'expérience du jeu. Ensuite, nous avons utilisé l'EEG pour calculer un index d'engagement mental extrait de l'activité cérébrale du joueur en se basant sur l'approche de Pope et al. (1995). Les résultats de cette étude montrent une différence au niveau des expériences émotionnelles des joueurs suivant leur sexe et leur type (régulier, non-régulier)

Les résultats prouvent aussi que le jeu vidéo DangerIslandV1 a la capacité de captiver l'attention du joueur et de lui offrir une expérience du jeu immersive. Les résultats montrent également l'efficacité de la mesure EEG pour mesurer l'engagement mental du joueur durant le jeu et ils prouvent aussi que l'index d'engagement peut évaluer l'état d'engagement mental du joueur dans un jeu vidéo. Nous concluons aussi que le niveau d'engagement du joueur dépend de son état affectif.

Dans le chapitre suivant, nous allons nous intéresser aux relations entre les émotions et l'état d'engagement mental du joueur. Ainsi, nous proposons un ensemble de stratégies d'intervention pour maintenir l'engagement du joueur.

Chapitre 4. Étude des stratégies d'engagement dans un jeu vidéo

4.1 Introduction

L'engagement mental est défini comme la capacité d'un individu à se concentrer pendant la réalisation d'une activité particulière pour garder un haut niveau d'attention afin d'éviter les effets négatifs des facteurs externes.

Dans le domaine du jeu vidéo, la notion d'engagement mental est une dimension fondamentale de l'expérience du jeu. L'engagement du joueur l'aide à avancer dans le jeu et à vivre une belle expérience du jeu. Alors que, le manque d'attention du joueur peut entraîner l'ennui et l'arrêt du jeu. En effet, Il est très important qu'un jeu vidéo soit capable de soutenir l'engagement du joueur.

Dans le chapitre précédent, nous avons validé l'utilisation de la méthode d'auto-évaluation (questionnaire) pour modéliser les émotions des joueurs .Ainsi, nous avons montré la pertinence de la mesure physiologique EEG (électroencéphalographie) pour modéliser l'engagement des joueurs durant les sessions de jeu et nous avons révélé la relation entre l'index d'engagement et l'état affectif du joueur.

Dans ce chapitre, nous proposons un ensemble de stratégies d'engagement et nous allons vérifier leur capacité à corriger le manque d'engagement (désengagement) et à augmenter et maintenir le niveau d'engagement du joueur durant le jeu. Ainsi, nous nous intéressons à analyser la relation qui existe entre l'état d'engagement mental (engagé, désengagé) et les émotions du joueur. Autrement dit, nous allons vérifier si les variations de l'état d'engagement mental (engagé, désengagé) sont accompagnées par certaines modifications au niveau des états affectifs du joueur. Pour accomplir ses objectifs, nous avons développé une deuxième version du jeu vidéo DangerIslandV2 capable de capter l'état mental d'engagement du joueur (engagé, désengagé) et de déclencher un ensemble de stratégies d'engagement en se basant sur une méthode d'auto-évaluation (questionnaire) qui permet au joueur de déterminer son état mental

d'engagement (engagé, désengagé) sans interrompre son expérience du jeu. Nous avons utilisé cet environnement du jeu pour réaliser notre deuxième étude expérimentale.

Dans la première section de ce chapitre, nous décrivons le jeu vidéo DangerIslandV2. Par la suite, nous présentons les différentes stratégies d'engagement. Nous décrivons également les étapes de notre étude expérimentale et nous détaillons les résultats obtenus par cette étude. Nous finissons ce chapitre par une discussion de ces résultats.

4.2 Le jeu vidéo DangerIslandV2

Dans le chapitre précédent, nous avons validé le bon fonctionnement du jeu vidéo DangerIslandV1 et sa capacité d'attirer l'attention du joueur et de l'engager durant le jeu. Dans le présent chapitre, nous développons une deuxième version du jeu vidéo DangerIslandV2 capable de capter l'état mental d'engagement (engagé, désengagé) du joueur en se basant sur une méthode d'auto-évaluation (questionnaire) et de déclencher un ensemble de stratégies d'engagement en fonction de cet état mental.

En général, le jeu vidéo DangerIslandV2 dure entre 8 et 10 minutes dépendamment de type du joueur (régulier, non-régulier). Le jeu s'arrête automatiquement chaque minute. Pour ne pas interrompre l'expérience du jeu, un message s'affiche sur l'interface du jeu et demande au joueur de déterminer son état d'engagement mental (engagé, désengagé). Si le joueur déclare qu'il est désengagé, le jeu déclenche un ensemble de stratégies d'engagement.

Tous les états mentaux signalés par le joueur chaque une minute durant la session du jeu seront enregistrés dans un système de fichiers journaux.

4.3 Stratégies d'engagement

L'engagement est un élément important de l'expérience du jeu. Cette dimension est étroitement liée à d'autres notions telles que la joie, l'immersion et la motivation. Ces notions sont responsables à la réussite de l'expérience de jeu. Le joueur doit garder son engagement pour conserver sa motivation de jouer, avoir le plaisir d'avancer dans le jeu et vivre une expérience du jeu immersive (Brown & Cairns, 2004; Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi,

1991; Przybylski et al., 2010). Donc il est important qu'un jeu vidéo soit capable de soutenir l'engagement du joueur.

Dans le jeu vidéo DangerIslandV2 nous avons incorporé deux types de stratégies d'intervention pour garder le joueur engagé.

- **Stratégie musicale** : Suite au premier arrêt automatique du jeu (première minute) et si le joueur indique qu'il est désengagé le jeu déclenche la première stratégie d'engagement sous forme d'une musique motivante dans le but d'attirer l'attention du joueur. Cette musique accompagne le joueur durant toute la session du jeu.
- **Stratégies basées sur le changement du type et de niveau du défi**: Durant le reste du jeu et après chaque arrêt automatique, si le joueur signale qu'il est désengagé le jeu fait apparaître les agents ennemis (zombi, ours, mitrailleuse électrique) qui vont attaquer le personnage contrôlé par le joueur pour attirer son attention. Avant le déclenchement de chaque stratégie, un message apparaîtra pour indiquer l'augmentation de niveau du défi de jeu pour éviter de surprendre le joueur. Après chaque arrêt automatique et si le joueur indique son état de désengagement un type différent d'agent ennemi apparaîtra. Ainsi, l'avancement du joueur dans le jeu augmente le niveau du défi tel que le joueur sera attaqué par un nombre plus grand d'agents ennemis dépendamment de son état d'engagement.

Les agents ennemis (les stratégies) sont des agents réactifs qui se déplacent de façon autonome dans l'environnement du jeu. Ces agents ne planifient pas pour leurs actions, mais ils réagissent de manière rapide selon ces perceptions pour les situations. Ils fonctionnent selon un modèle stimuli/réponse «si condition alors action », c'est à dire si le joueur indique son état mental de désengagement alors l'agent ennemi (stratégie) se met en action et il attaquera l'agent Clara contrôlé par le joueur. La figure suivante décrira le fonctionnement d'agent ennemi dans le jeu vidéo.

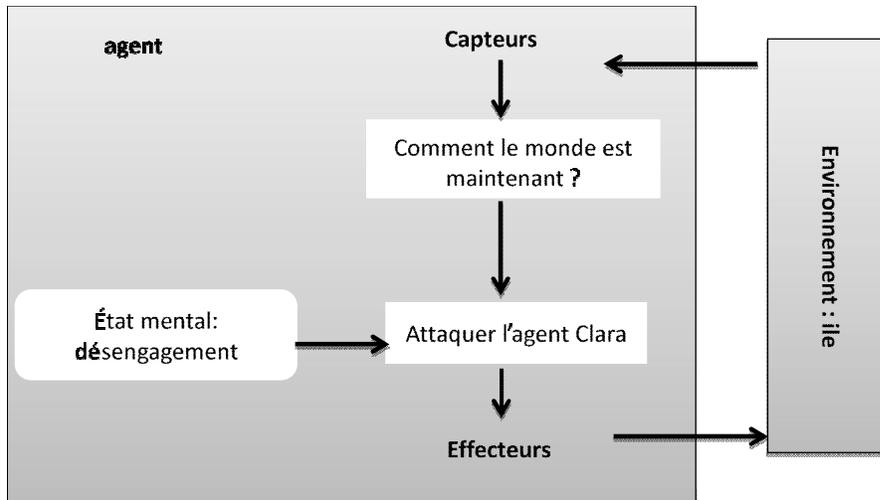


Figure 4.1 – Un agent ennemi (stratégie d’engagement) dans le jeu vidéo

Les stratégies d’engagement, l’heure et la date sont toutes enregistrées en temps réels dans un système de fichiers journaux. Le tableau suivant décrit les stratégies d’engagement déclenchées par le jeu chaque une minute en fonction de l’état d’engagement mental du joueur.

Tableau 4. 1 – Les stratégies d’engagement dans le jeu vidéo DangerIslandV2

Minutes	Stratégies
Minute 1	S1: music
Minute 2	S2: music et zombi
Minute 3	S3: musique et ours
Minute 4	S4: musique et mitrailleuse électrique
Minute 5	S5: musique, zombi et ours
Minute 6	S6: musique, zombi et mitrailleuse électrique
Minute 7	S67: musique, ours et mitrailleuse électrique
Minute 8	S8: musique, zombi, ours et mitrailleuse électrique

4.4 Expérience 2 : Étude des stratégies d'engagement dans le jeu vidéo DangerIslandV2

Durant cette étude expérimentale, nous évaluons l'efficacité d'un ensemble de stratégies d'engagement et nous analysons les relations qui peuvent exister entre l'état d'engagement mental (engagé, désengagé) et les états affectifs du joueur dans le jeu vidéo DangerIslandV2.

Dans les sections suivantes, nous décrivons les différentes étapes de notre expérience et nous exposons les résultats obtenus. Nous finissons par une discussion de ces résultats.

4.4.1 Processus expérimental

Durant notre étude expérimentale, vingt participants de l'Université de Montréal ont été engagés (13 joueurs masculins et 7 joueurs féminins). Leurs âges entre 24 et 40 ans. 30 % des participants sont des joueurs réguliers et les restes sont des joueurs non-réguliers. À leur arrivée, les participants ont été informés du processus expérimental et ils ont signé un formulaire de consentement. Par la suite, nous avons placé les participants devant la machine et nous avons installé le casque EEG Emotiv Eloc. Une fois que l'expérience commence. Les participants doivent se mettre dans l'état le plus neutre possible pendant 5 minutes. Durant ce temps les valeurs de référence « *baseline* », pour les différents senseurs, seront enregistrées. Une fois que les participants finissent leur session du jeu, ils ont été récompensés de 20\$ pour leur participation.

4.4.2 Collection et traitement des données

4.4.2.1 Les données EEG

Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 3, le casque EEG Emotiv Eloc offre une mesure d'engagement chaque seconde durant la session du jeu. Ainsi, nous avons calculé la moyenne des valeurs de référence « *baseline* » de mesures d'engagement enregistrées. Par la suite, nous allons nous servir de ces deux mesures pour évaluer l'efficacité des stratégies d'engagement implémentées dans le jeu vidéo DangerIslandV2.

4.4.2.2 Mesure subjective (questionnaire)

Durant le jeu vidéo DangerIslandV2 nous avons utilisé la même méthode d'auto-évaluation qui permet aux joueurs de déterminer leurs émotions sans interrompre leurs expériences du jeu. Durant l'étude expérimentale, les participants ont été encouragés à déterminer leurs émotions parmi 11 types différents d'émotions (calme, Flux, excitation, joie, surprise, frustration, peur, confusion, tristesse, ennui et colère) à partir d'une fenêtre localisée dans la partie droite de l'interface du jeu. Comme nous l'avons mentionné après chaque minute les joueurs déterminent leurs états d'engagement mental (engagé, désengagé). Les joueurs ont été encouragés à déterminer le changement de leur état affectif à n'importe quel moment avant et après l'arrêt automatique du jeu vidéo. Toutes les émotions, les états mentaux (engagé, désengagé), la date et l'heure sont enregistrés en temps réel dans un système de fichiers journaux. Pour bien étudier la relation entre l'état d'engagement mental (engagé, désengagé) du joueur et son état affectif. Nous avons regroupé les onze états émotionnels en quatre groupes principaux en se basant sur les deux démentions émotionnelles (valence et activation):

- Groupe 1: regroupe les émotions positives à fortes intensités à titre d'exemple le flux l'excitation et la joie.
- Groupe 2: inclus les émotions positives de faibles intensités. Le joueur dans est un état calme.
- Groupe 3: inclus les émotions négatives comme la frustration, la peur, l'ennui, la tristesse et la colère.
- Groupe 4: regroupe les émotions sans-valence telles que la confusion et la surprise.

4.5 Résultats expérimentaux

Nous avons utilisé le logiciel SAS pour réaliser un ensemble de tests statistiques sur les données collectées (électroencéphalographie, questionnaire) de 20 participants. Nous présentons et nous discutons les résultats de ces tests dans les sections suivantes.

4.5.1 Corrélation entre la mesure d'engagement (EEG) et la mesure d'auto-évaluation

Afin de valider les données du questionnaire, une corrélation entre la mesure d'engagement et le questionnaire est également déterminée avec la matrice de corrélations de Pearson à l'aide du logiciel SAS. Pour réaliser cela, nous avons utilisé les états d'engagement (engagé, désengagé) signalés par les joueurs durant les sessions du jeu. Comme nous l'avons déjà annoncé, l'heure et la date des états d'engagement des joueurs sont toutes enregistrées dans des fichiers journaux. En se basant sur ces informations, nous avons comparé l'état d'engagement signalé par les joueurs avec les mesures d'engagement offertes par le casque EEG Emotiv EPOC en se basant sur la mesure de Baseline déjà calculé. Les résultats de cette matrice montrent une corrélation significative à $P \leq 0,05$.

Tableau 4.2 – Résultat de SAS pour la corrélation entre la mesure d'engagement et le questionnaire.

Coefficients de corrélation de Pearson	
	Questionnaire
Mesure Engagement	0,53086 <,0001

4.5.2 Évaluation des stratégies d'engagement dans le jeu vidéo DangerIslandV2

Les résultats montrent que 58 % des stratégies d'engagement implémentées dans le jeu vidéo DangerIslandV2 ont réussi à corriger l'état de manque d'engagement (désengagement) des joueurs durant les sessions du jeu et à les réengager dans le jeu vidéo.

La figure 4.2, montre que la stratégie S1 (musique) est la stratégie la plus utilisée durant les sessions du jeu des joueurs (40,17 %) suivi par la stratégie S2 (musique et zombi) (28,20 %), la stratégie S3 (musique et ours), la stratégie S4 (musique et mitrailleuse électrique) et la stratégie S5 (musique, zombi et ours) (2, 56 %). Par contre, la stratégie S6 (musique, zombi et

mitrailleuse électrique), la stratégie S7 (musique, ours et mitrailleuse électrique) et la stratégie S8 (musique, zombi, ours et mitrailleuse électrique) n'ont pas été déclenchées durant les sessions du jeu de 20 participants.

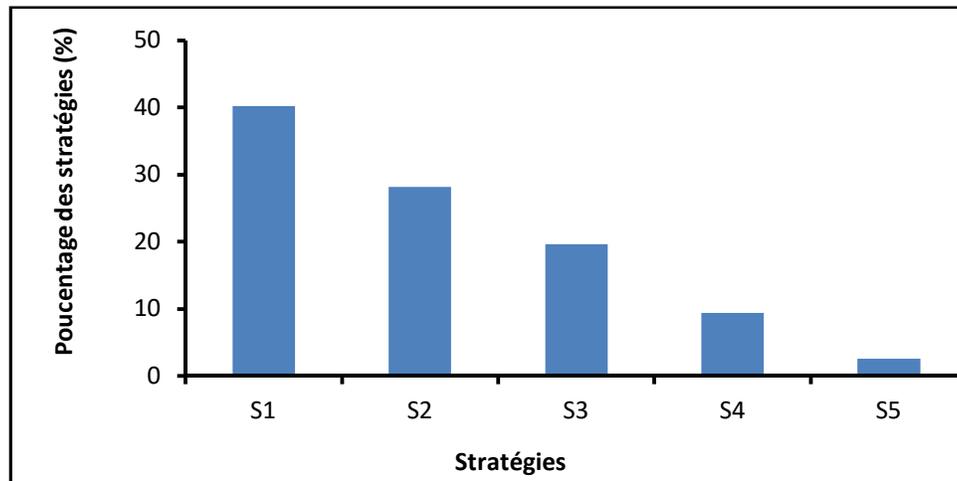


Figure 4.2 – Pourcentages des stratégies d'engagement déclenchées par le jeu vidéo.

Comme le montre la figure 4.3, la stratégie S1 (musique) a engagé le plus grand nombre des joueurs (40 %) suivi par la stratégie S2 (musique et zombi) (31 %), la stratégie S3 (musique et ours) et la stratégie S4 (musique et mitrailleuse électrique) (6 %). En revanche, il n'y a pas de joueurs qui ont été engagés par la stratégie S5 (musique, zombi et ours).

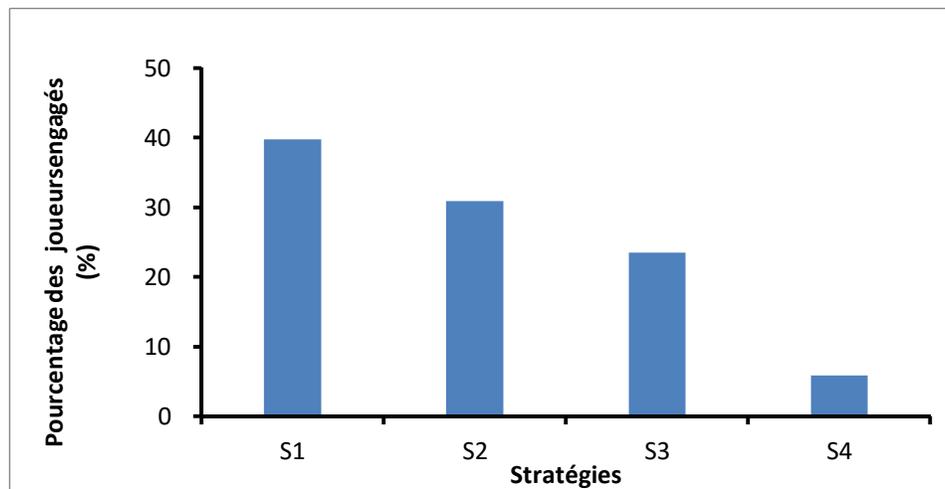


Figure 4.3 – Pourcentage des joueurs engagés par les stratégies d'engagement.

A partir de la figure 4.4 nous pouvons remarquer que la stratégie S1 (musique) et la stratégie S2 (musique et zombi) sont plus utilisées par des joueurs non-réguliers. Par contre, la stratégie S3 (musique et ours), la stratégie S4 (musique et mitrailleuse électrique) et la stratégie S5 (musique, zombi et ours) sont plus déclenchées par des joueurs réguliers.

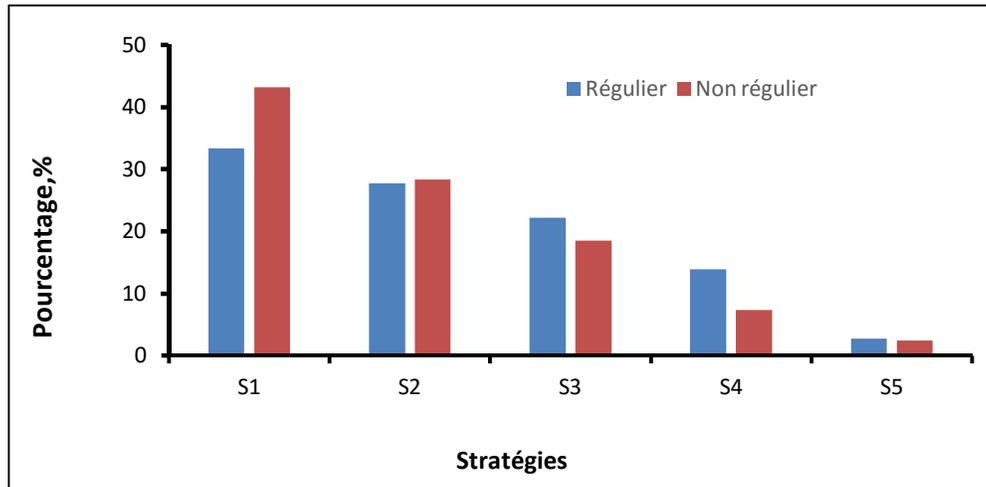


Figure 4.4 – Variation des pourcentages des stratégies d’engagement suivant le type du joueur.

Les données de la figure 4.5 montrent que la stratégie S1 (musique) a été plus utilisée par des joueurs féminins par contre la stratégie S2 (musique et zombi), la stratégie S3 (musique et Ours), la stratégie S4 (musique et mitrailleuse électrique) et la stratégie S5 (musique, zombi et ours) sont plus utilisées par des joueurs masculins.

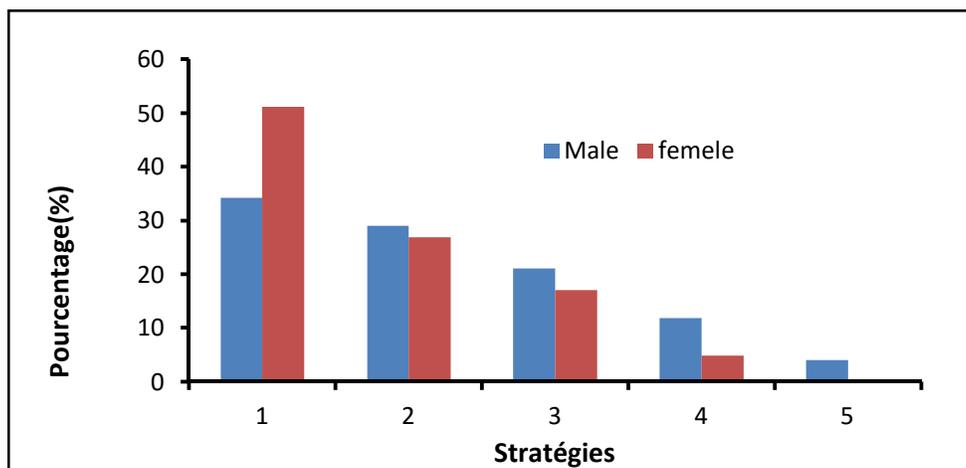


Figure 4.5 – Variation des pourcentages des stratégies d’engagement suivant le sexe du joueur.

Les résultats ont montré que les stratégies d'engagements implémentées dans le jeu vidéo DangerIslandV2 non seulement ont montré leurs capacités à corriger l'état de manque d'attention du joueur (désengagement), mais aussi ils ont réussi à maintenir l'engagement des joueurs durant leur session du jeu. D'après la figure 4.6, nous pouvons constater que la stratégie S1(musique) est la meilleure stratégie qui a aidé les joueurs à maintenir leur engagement pendant plusieurs minutes (6 minutes) durant les sessions du jeu suivi par la stratégie S2 (musique et zombi) (5 minutes) et la stratégie S3 (musique et ours).

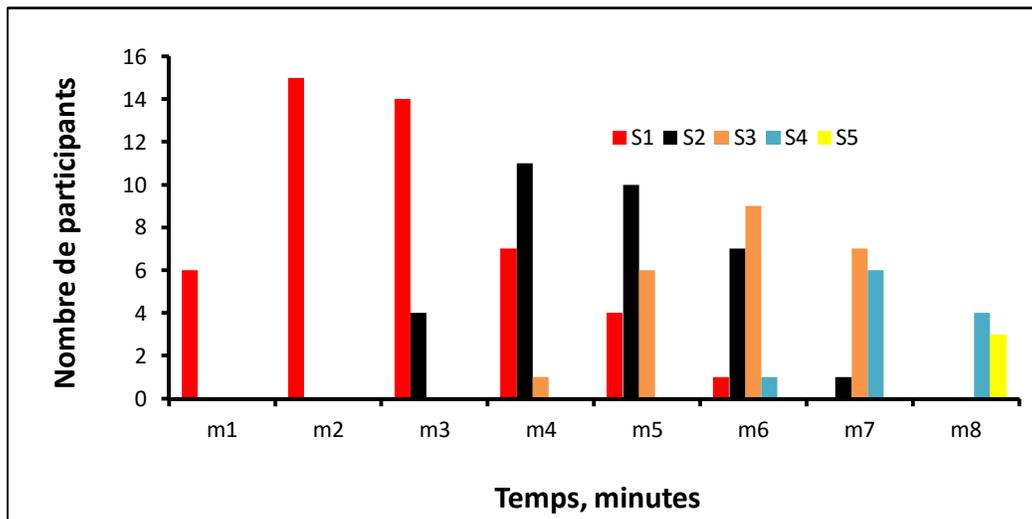


Figure 4.6– L'évolution des stratégies d'engagement en fonction du temps.

D'après les résultats de la figure 4.7 nous pouvons remarquer que le nombre de participants a diminué suite à l'utilisation des stratégies S4 (musique et mitrailleuse électrique) et S5 (musique, zombi et ours).

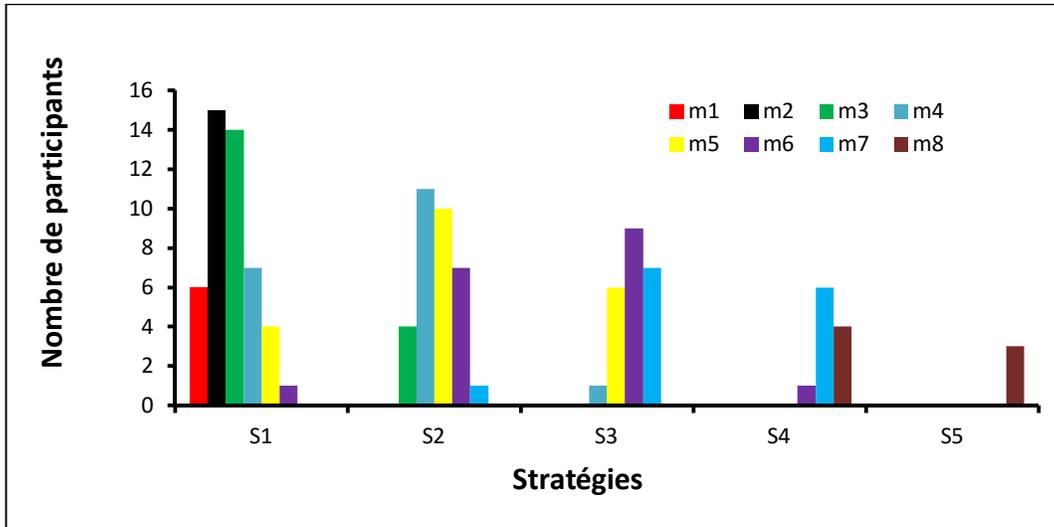


Figure 4.7 – Variation du nombre de participants en fonction du temps et des stratégies d’engagement.

Les résultats de notre étude expérimentale montrent aussi que la mesure d’engagement du casque EEG Emotiv Eloc a augmenté suite à l’utilisation des stratégies d’engagement. D’après la figure 4.8, nous pouvons remarquer que la moyenne de la mesure d’engagement a beaucoup augmenté suite à l’utilisation de la stratégie S1 (musique) suivie par la stratégie S2 (musique et zombi), et S3 (musique et ours). Nous avons constaté aussi une petite augmentation au niveau de la moyenne de la mesure d’engagement suite à l’utilisation des stratégies S4 (musique et mitrailleuse électrique) et S5 (musique, zombi et ours). Ces résultats montrent que les stratégies d’engagement ont réussi à augmenter le niveau d’engagement des joueurs. Même, si elles n’ont pas réussi à corriger l’état de manque d’engagement (désengagement) des joueurs.

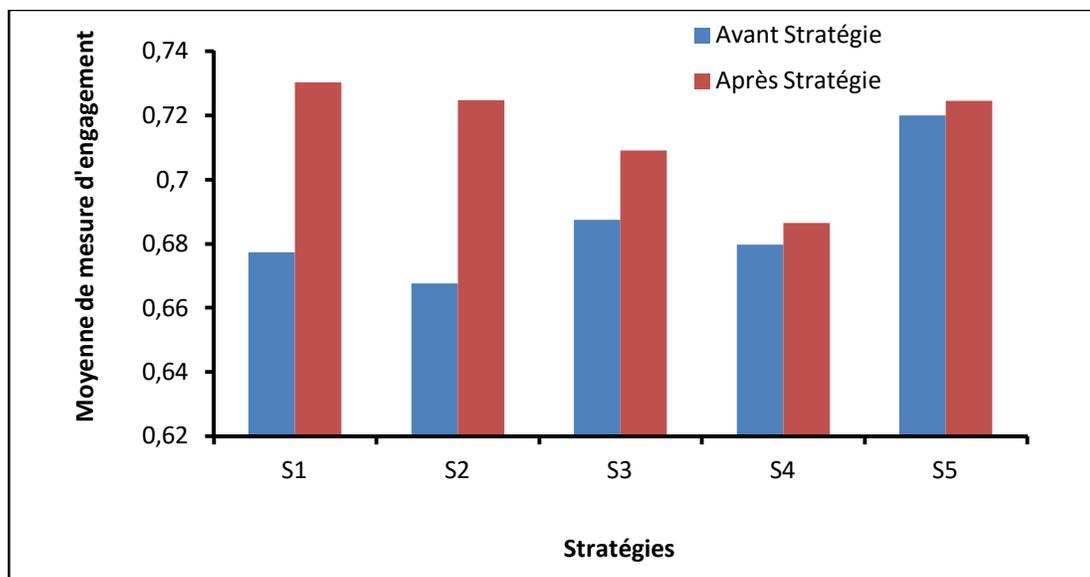


Figure 4.8 – Moyenne de la mesure d’engagement selon les stratégies d’engagement.

4.5.2 La relation entre l’état d’engagement mental et les émotions du joueur

D’après les résultats, nous pouvons remarquer que le changement de l’état d’engagement mental (engagé, désengagé) du joueur a été accompagné par un changement au niveau de son état émotionnel. Le tableau 4.3 montre qu’un grand pourcentage d’émotions du groupe 1 (les émotions positives à fortes intensités) (44,62 %) accompagne les joueurs quand ils sont engagés durant le jeu. Ainsi, l’excitation est l’émotion qui domine quand les joueurs sont engagés (35,38 z%). En revanche, nous pouvons constater que l’état de manque d’engagement (désengagement) des joueurs a été accompagné par des émotions du groupe 3 (les émotions négatives) (45,45 %). Nous avons aussi remarqué que la confusion est l’émotion la plus signalée par les joueurs en état de manque d’engagement (33,33 %).

Nous avons aussi pu observer que l’état émotionnel peut donner une indication sur l’état mental (engagé, désengagé) du joueur suivant son sexe et son type (régulier, non-régulier). Le tableau 4.3 révèle que les joueurs masculins ont montré d’émotions du groupe 1 (55 %) quand ils sont engagés. Par contre les émotions du groupe 3 sont plus présentes chez les joueurs féminins. Nous pouvons également constater que l’excitation est l’émotion la plus dominante

chez les joueurs masculins quand ils sont engagés (45 %). En revanche, les joueurs féminins ont montré plus l'émotion de la peur (32 %).

Tableau 4.3 – Description statistique des pourcentages des émotions des joueurs féminins et masculins selon l'état d'engagement mental (engagé et désengagé).

État mental		Pourcentage (%)					
		Engagés			Désengagés		
Sexe		Male (N=13)	Féminin (N=7)	Joueurs (N=20)	Male (N=13)	Féminin (N=7)	Joueurs (N=20)
Émotions	Colère	2,5	4	3,08	2,44	12	6,06
	Ennui	2,5	4	3,08	12,2	8	10,61
	Excitation	45	20	35,38	2,44	8	4,55
	Peur	12,5	32	20	14,63	20	16,67
	Flux (flow)	5	4	4,62	2,44	4	3,03
	Frustration	7,5	12	9,23	17,07	4	12,12
	Joie	5	4	4,62	4,88	4	4,55
	Surprise	7,5	12	9,23	2,44	8	4,55
	Calme	2,5	4	3,08	4,88	4	4,55
	confusion	10	4	7,69	36,59	28	33,33
Grouper par dimension	Groupe 1 (Émotions positives à fortes intensités)	55	28	44,62	9,76	16	12,12
	Groupe 2 (Émotions positives de faibles intensités)	2,5	4	35,38	4,88	4	4,55
	Groupe 3 (Émotions négatives)	25	52	3,08	46,34	44	45,45
	Groupe 4 (Émotions sans-valence)	17,5	16	16,92	39,02	36	37,88

Les résultats du tableau 4.3, révèlent que les émotions du groupe 3 dominent chez les joueurs masculins et féminins en état de manque d'engagement (désengagement). De plus nous pouvons remarquer que la confusion est l'émotion la plus présente chez les deux sexes.

Tableau 4.4 – Description statistique des pourcentages des émotions des joueurs réguliers et non-réguliers selon l'état d'engagement mental (engagés et désengagés).

État mental		Pourcentage (%)			
		Engagés		Désengagés	
Type		Régulier (N=7)	Non-régulier (N=14)	Régulier (N=6)	Non-régulier (N=14)
Émotion	Colère	3,7	2,22	7,14	2,33
	Ennui	3,7	2,22	14,29	2,33
	Excitation	33,33	31,11	3,57	4,65
	Peur	3,7	26,67	7,14	25,58
	Flux (flow)	11,11	6,67	3,57	2,33
	Frustration	7,41	8,89	7,14	13,95
	Joie	14,81	6,67	3,57	2,33
	Surprise	7,41	8,89	14,29	11,63
	Calme	3,7	4,44	7,14	4,65
	confusion	11,11	2,22	32,14	30,23
Grouper par dimension	Groupe 1 (Émotions positives à fortes intensités)	59,26	44,44	10,71	9,3
	Groupe 2 (Émotions positives de faibles intensités)	3,7	4,44	7,14	4,65
	Groupe 3 (Émotions négatives)	18,52	40	35,71	44,19
	Groupe 4 (Émotions sans-valence)	18,52	11,11	46,43	41,86

Le tableau 4.4, montre que les joueurs réguliers et non-réguliers ont montré plus d'émotions du groupe 1 quand ils sont engagés. Nous avons remarqué aussi que l'excitation est l'émotion la plus dominante chez les deux types de joueurs.

D'après le tableau 4.4, nous avons pu remarquer que les émotions du groupe 3 sont plus présentes (44,19 %) chez les joueurs non-réguliers en état de manque d'engagement (désengagement). En revanche, les joueurs réguliers ont montré les émotions du groupe 4 (les émotions sans-valence) (46,43 %). De plus, l'émotion de la confusion est la plus dominante chez les deux types de joueurs (réguliers, non-réguliers).

4.6 Discussion

L'analyse des résultats montre une corrélation significative entre la mesure d'engagement du casque EEG Emotiv Epop et la mesure d'auto-évaluation (questionnaire). Cela montre la pertinence de la méthode d'auto-évaluation (questionnaire) utilisée durant notre étude expérimentale pour capter l'état d'engagement mental (engagé, désengagé) des joueurs durant les sessions du jeu.

Les résultats de notre étude expérimentale montrent aussi l'efficacité des stratégies d'engagement implémentées dans le jeu vidéo DangerIslandV1 à corriger l'état de manque d'engagement (désengagement) des joueurs et à les réengager dans le jeu vidéo.

Nous avons remarqué la capacité de la stratégie musicale S1 à corriger le manque d'attention (désengagement) et surtout à maintenir l'engagement des joueurs pendant plusieurs minutes (6 minutes) durant les sessions du jeu. Cela peut expliquer l'absence de l'utilisation des stratégies S6 (musique, zombi et mitrailleuse électrique), S7 (musique, ours et mitrailleuse électrique) et S8 (musique, zombi, Ours et mitrailleuse électrique) par les 20 participants durant les sessions du jeu qui durent entre 8 et 10 minutes dépendamment du type du joueur.

De plus, d'après les résultats nous avons remarqué que la stratégie musicale S1 a été plus utilisée par des joueurs non-réguliers (43,20 %) et des joueurs féminins (51,21 %). Par contre, les autres stratégies S2 (musique et zombi), S3 (musique et ours), S4 (musique et mitrailleuse électrique) et S5 (musique, zombi et ours) ont été plus utilisées par les joueurs masculins et les joueurs réguliers. Ces données montrent que la stratégie musicale S1 a réussi à maintenir plus l'engagement des joueurs féminins et des joueurs non-réguliers. En revanche, les joueurs masculins et les joueurs réguliers ont besoin de changer le type et le niveau de défis pour s'engager dans le jeu.

Nous avons constaté également la capacité des stratégies S2 (Musique et Zombi) (28,20 %) et S3 (Musique et Zombi) (19,65 %) à engager les joueurs durant les sessions du jeu. Par contre un petit pourcentage des joueurs a été engagé par la stratégie S4 (Musique et Mitrailleuse électrique) (9,40 %) et la stratégie S5 (Musique, Zombi et Ours) (2,56 %) n'a pas

réussi à engager aucun joueur. Aussi, nous avons remarqué que suite à l'utilisation des stratégies S4 (Musique et Mitrailleur électrique) et S5 (Musique, Zombi et Ours) les joueurs ont perdu le jeu. À partir de ces résultats, nous pouvons constater que le changement de type du défi forme une bonne stratégie pour engager le joueur dans le jeu et le motiver à continuer de jouer. En revanche, l'augmentation de niveau du défi peut entraîner le manque d'attention (désengagement) du joueur et en effet la perte du jeu. Ainsi les résultats de notre étude expérimentale révèlent la capacité des stratégies d'engagement à augmenter le niveau d'engagement des joueurs durant les sessions du jeu.

D'après les résultats, nous avons pu observer que le changement de l'état mental du joueur a été accompagné par un changement au niveau de son état affectif. Tel que, les émotions positives à fortes intensités (le flux, la joie et l'excitation) accompagnent le joueur quand il est engagé durant le jeu. Par contre, l'état de manque d'engagement (désengagement) a été accompagné par des émotions négatives comme la frustration, la peur, l'ennui, la tristesse et la colère.

Aussi, nous avons remarqué que les émotions peuvent donner une indication sur l'état d'engagement mental (engagé, désengagé) du joueur dépendamment de son sexe et son type (régulier/non-régulier). Tel que, les émotions positives à fortes intensités (comme le flux, la joie et l'excitation) accompagnent les joueurs masculins (55 %), les joueurs réguliers (59,26 %) et les joueurs non-réguliers (44,44 %) quand ils sont engagés durant le jeu. Par contre, les émotions négatives (comme la frustration, la peur, l'ennui, la tristesse et la colère) sont les plus présentes chez les femmes (52 %). Les résultats montrent aussi que les émotions négatives (la frustration, la peur, l'ennui, la tristesse et la colère) sont associées à l'état de manque d'engagement chez les joueurs masculins (46,34 %), féminins (44 %) et non-réguliers (44,19%). Par contre les émotions du groupe 4 (la surprise et la confusion) sont les plus dominantes chez les joueurs réguliers (46,43 %).

4.7 Conclusion

Dans ce chapitre, d'une part, nous avons décrit la deuxième version du jeu vidéo DangerIslandV2, et autre part, nous avons présenté les différentes stratégies d'engagement

incorporées dans le jeu vidéo. En outre, nous avons présenté les différentes étapes de notre étude expérimentale.

Les résultats de notre expérience montrent l'efficacité de la méthode d'auto-évaluation (questionnaire) utilisée à capter l'état d'engagement mental (engagé, désengagé) des joueurs durant les expériences du jeu.

Notre étude a aussi démontré la capacité des stratégies d'engagement déclenchées par le jeu vidéo DangerIslandV2 à corriger le manque d'engagement et à maintenir et augmenter le niveau d'engagement des joueurs durant les sessions de jeu.

Nous avons également remarqué que les joueurs ont besoin d'un niveau et d'un type différents de défis pour s'engager dans le jeu dépendamment de leurs sexes et types (régulier, non-régulier). De plus, notre étude expérimentale a révélé que le changement de l'état d'engagement du joueur a été accompagné par une variation au niveau de son état affectif.

Chapitre 5. Conclusions

5.1 Contributions

Les jeux vidéo affectifs détectent et régulent les émotions des joueurs pour les garder engagés durant le jeu. Ce processus de détection est difficile, afin d'y remédier nous avons procédé à la mesure de l'engagement mental du joueur. En effet, nous avons développé une première version du jeu vidéo DangerIslandV1 qui a été utilisé dans une première étude expérimentale, durant l'expérience nous avons mesuré l'engagement mental du joueur durant le jeu vidéo à partir d'un index d'engagement extrait de l'activité cérébrale du joueur et plus précisément l'électroencéphalographie (EEG). Cet index a été développé à la « National Aeronautics and Space Administration » NASA dans le domaine d'aviation (Pope et al. 1995). Nous avons évalué également, les états affectifs des joueurs durant l'expérience de jeu en se basant sur une méthode d'auto-évaluation (questionnaire) qui permet au joueur de déterminer son état émotionnel sans interrompre l'expérience de jeu. Les résultats de cette étude montrent que:

- Le jeu vidéo a la capacité de captiver l'attention du joueur et de lui offrir une expérience de jeu immersive. Les joueurs ont montré une grande proportion d'émotions positives à fortes intensités (comme la joie, l'excitation et le flux) et un niveau élevé d'engagement.
- Les joueurs ont vécu des expériences émotionnelles différentes dépendamment de leur sexe et type (régulier, non-régulier)
- L'électroencéphalographie est efficace pour mesurer l'engagement mental du joueur dans le jeu vidéo.
- L'index d'engagement mental permet d'évaluer l'état d'engagement mental des joueurs dans un jeu vidéo.
- Le niveau d'engagement du joueur dépend de son état affectif. Les hauts niveaux d'engagement sont accompagnés par des émotions positives à fortes intensités comme la joie, l'excitation et le flux (flow).

Durant cette recherche nous avons proposé de soutenir l'engagement du joueur pendant l'expérience de jeu à partir d'un ensemble de stratégies d'engagements. Pour y arriver, nous avons développé une deuxième version du jeu vidéo DangerIslandV2 capable de capter l'état de manque d'engagement (désengagement) du joueur et de déclencher une stratégie musicale ou une augmentation ou changement du niveau de défis en faisant apparaître un ensemble d'agents ennemis afin de réengager le joueur dans le jeu. En effet. Notre deuxième étude expérimentale nous permet de découvrir les résultats suivants:

- La méthode d'auto-évaluation utilisée est efficace pour capter l'état d'engagement mental du joueur (engagé, désengagé).
- Les stratégies d'engagement déclenchées par le jeu vidéo DangerIslandV2 ont la capacité de corriger le manque d'engagement et de maintenir et d'augmenter le niveau d'engagement des joueurs durant les sessions du jeu.
- Les joueurs ont besoin d'un niveau et d'un type différent de défis pour s'engager dans le jeu dépendamment de leur sexe et type (régulier, non-régulier).
- Le changement de l'état d'engagement mental (engagé, désengagé) du joueur a été accompagné par une variation au niveau de son état affectif. Les émotions positives à fortes intensités (comme le flux, la joie et l'excitation) accompagnent les joueurs quand ils sont engagés durant le jeu. Par contre, l'état de manque d'engagement (désengagement) a été accompagné par des émotions négatives (comme la frustration, la peur, l'ennui, la tristesse et la colère).
- L'état affectif du joueur peut donner une indication sur son état d'engagement mental (engagé, désengagé) dépendamment de son type (régulier, non-régulier) et sexe.

5.2 Limites et recommandations

Durant ce travail, nous avons identifié une limite liée à la difficulté de trouver des joueurs féminins réguliers pour participer à notre étude expérimentale. C'est pourquoi nous ne pouvons pas étudier cette catégorie des joueurs durant cette recherche.

Dans les travaux futurs, il nous semblerait intéressant d'intégrer d'autres critères tels que l'âge et la personnalité du joueur pour mieux étudier et évaluer l'expérience de jeu. Notre

prototype de jeu vidéo peut former également le début d'un nouveau type de jeu vidéo affectif et intelligent capable de mesurer en temps réel l'engagement mental du joueur et de changer le type et le niveau de défi dépendamment des critères du joueur (sexe et type) afin de corriger ses émotions défavorables et de le garder engagé dans le jeu.

Bibliographie

- Bellman, R. 1978. *An introduction to artificial intelligence: Can computers think?* : Boyd & Fraser Publishing Company.
- Benlamine, M. S., Bouslimi, S., Harley, J., Frasson, C., & Dufresne, A. 2015. *Toward Brain-based Gaming: Measuring Engagement During Gameplay*. Paper presented at the EdMedia: World Conference on Educational Media and Technology.
- Bentley, T., Johnston, L., & von Baggo, K. 2005. *Evaluation using cued-recall debrief to elicit information about a user's affective experiences*. Paper presented at the Proceedings of the 17th Australia conference on Computer-Human Interaction: Citizens Online: Considerations for Today and the Future.
- Berta, R., Bellotti, F., De Gloria, A., Pranantha, D., & Schatten, C. 2013. Electroencephalogram and physiological signal analysis for assessing flow in games. *Computational Intelligence and AI in Games, IEEE Transactions on*, 5(2), 164-175.
- Bianchi-Berthouze, N. 2010. Does body movement affect the player engagement experience?
- Bianchi-Berthouze, N. 2013. Understanding the role of body movement in player engagement. *Human-Computer Interaction*, 28(1), 40-75.
- Bianchi-Berthouze, N., Kim, W. W., & Patel, D. 2007. *Does body movement engage you more in digital game play? And Why?* Paper presented at the International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. 1994. Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*, 25(1), 49-59.
- Brockmyer, J. H., Fox, C. M., Curtiss, K. A., McBroom, E., Burkhart, K. M., & Pidruzny, J. N. 2009. The development of the Game Engagement Questionnaire: A measure of engagement in video game-playing. *Journal of Experimental Social Psychology*, 45(4), 624-634.
- Brown, E., & Cairns, P. 2004. *A grounded investigation of game immersion*. Paper presented at the CHI'04 extended abstracts on Human factors in computing systems.
- Brown, S., & Vaughan, C. 2009. Play: How It Shapes the Brain. *Opens the Imagination, and Invigorates the Soul*, 112-113.

- Chanel, G., Rebetez, C., Bétrancourt, M., & Pun, T. 2008. *Boredom, engagement and anxiety as indicators for adaptation to difficulty in games*. Paper presented at the Proceedings of the 12th international conference on Entertainment and media in the ubiquitous era.
- Chanel, G., Rebetez, C., Bétrancourt, M., & Pun, T. 2011. Emotion assessment from physiological signals for adaptation of game difficulty. *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on*, 41(6), 1052-1063.
- Changeux, J.-P. 2002. *L'homme de vérité*: Odile Jacob.
- Chiang, Y.-T., Cheng, C.-y., & Lin, S. S. 2008. *The effects of digital games on undergraduate players' flow experiences and affect*. Paper presented at the Digital Games and Intelligent Toys Based Education, 2008 Second IEEE International Conference on.
- Conati, C. 2002. Probabilistic assessment of user's emotions in educational games. *Applied Artificial Intelligence*, 16(7-8), 555-575.
- Costello, B., & Edmonds, E. 2009. *A tool for characterizing the experience of play*. Paper presented at the Proceedings of the Sixth Australasian Conference on Interactive Entertainment.
- Csikszentmihalyi, M., & Csikszentmihalyi, M. 1991. *Flow: The psychology of optimal experience* (Vol. 41): HarperPerennial New York.
- D'Mello, S., Olney, A., Williams, C., & Hays, P. 2012. Gaze tutor: A gaze-reactive intelligent tutoring system. *International journal of human-computer studies*, 70(5), 377-398.
- D'Mello, S., Lehman, B., Pekrun, R., & Graesser, A. (2014). Confusion can be beneficial for learning. *Learning and Instruction*, 29, 153-170.
- Dawson, M. E., Schell, A. M., & Filion, D. L. 2000. The Electrodermal System, in J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary and G. G. Berntson (eds), *Handbook of Psychophysiology*, New York, NY: Cambridge University Press (pp. 200–23).
- de Kort, Y. A., IJsselstein, W. A., & Poels, K. 2007. Digital games as social presence technology: Development of the Social Presence in Gaming Questionnaire (SPGQ). *Proceedings of PRESENCE*, 195203.
- Deater-Deckard, K., Chang, M., & Evans, M. E. 2013. Engagement states and learning from educational games. *New directions for child and adolescent development*, 2013(139), 21-30.
- Demos, J. N. (2005). *Getting started with neurofeedback*: WW Norton & Company.

- Donchin, E., Spencer, K. M., & Wijesinghe, R. 2000. The mental prosthesis: assessing the speed of a P300-based brain-computer interface. *IEEE transactions on rehabilitation engineering*, 8(2), 174-179.
- Drachen, A., Nacke, L. E., Yannakakis, G., & Pedersen, A. L. 2010. *Correlation between heart rate, electrodermal activity and player experience in first-person shooter games*. Paper presented at the Proceedings of the 5th ACM SIGGRAPH Symposium on Video Games.
- Ekman, P. 1982. *Emotion in the Human Face*, 2nd edition. New York: Cambridge University Press.
- Ekman, P. 1986. *Emotion in the Human Face*, 2nd edition. New York: Cambridge University Press.
- Ekman, P. 2004. *Emotions revealed: Recognizing faces and feelings to improve communication and emotional life* : Henry Holt & Co. .
- Ekman, P., & Friesen, W. (1978). *Thefacial action coding system: A technique for the measurement of facial movement*: Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
- Ekman, P., & Friesen, W. 1984. La mesure des mouvements faciaux. *Cosnier J., Brossard A.(éd.) La communication non verbale, Delachaux et Niestlé.*
- Ekman, P., & Friesen, W. V. 1975. *Unmasking the face: A guide to recognizing emotions from facial cues*: Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Ekman, P., & Friesen, W. V. 2003. *Unmasking the face*. Cambridge, MA.:Malor Books. .
- Ermi, L., & Mäyrä, F. 2005. Fundamental components of the gameplay experience: Analysing immersion. *Worlds in play: International perspectives on digital games research*, 37.
- Fairclough, S. H., Gilleade, K., Ewing, K. C., & Roberts, J. 2013. Capturing user engagement via psychophysiology: measures and mechanisms for biocybernetic adaptation. *International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems*, 6(1), 63-79.
- Feldman Barrett, L., & Russell, J. A. 1998. Independence and bipolarity in the structure of current affect. *Journal of personality and social psychology*, 74(4), 967.
- Ferber, J., & Perrot, J.-F. 1995. *Les systèmes multi-agents: vers une intelligence collective*: InterEditions.

- Frasson, C., Brosseau, P. O., & Tran, T. H. D. 2014. *Virtual environment for monitoring emotional behaviour in driving*. Paper presented at the International Conference on Intelligent Tutoring Systems.
- Freeman, F. G., Mikulka, P. J., Prinzel, L. J., & Scerbo, M. W. 1999. Evaluation of an adaptive automation system using three EEG indices with a visual tracking task. *Biological psychology*, 50(1), 61-76.
- Freeman, F. G., Mikulka, P. J., Scerbo, M. W., Prinzel, L. J., & Clouatre, K. 2000. Evaluation of a psychophysiological controlled adaptive automation system, using performance on a tracking task. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 25(2), 103-115.
- Frijda, N. (1986). *The Emotions*: Cambridge University Press.
- FUGA, C. 2006. FUGA – Fun of gaming, EU STREP project. NEST-PATH-028765, URL <http://fuga.aalto.fi/>. Accessed 8 December 2015.
- Gil, S. 2009. Comment étudier les émotions en laboratoire. *Revue électronique de psychologie sociale*, 4, 15-24.
- Gilleade, K., & Allanson, J. 2003. A toolkit for exploring affective interface adaptation in videogames.
- Gilleade, K., Dix, A., & Allanson, J. 2005. Affective videogames and modes of affective gaming: assist me, challenge me, emote me.
- Gilleade, K. M., & Dix, A. 2004. *Using frustration in the design of adaptive videogames*. Paper presented at the Proceedings of the 2004 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology.
- Greenwald, M. K., Cook, E. W., & Lang, P. J. 1989. Affective judgment and psychophysiological response: Dimensional covariation in the evaluation of pictorial stimuli. *Journal of psychophysiology*, 3(1), 51-64.
- Harley, J. M., Bouchet, F., & Azevedo, R. 2013. *Aligning and comparing data on emotions experienced during learning with MetaTutor*. Paper presented at the International Conference on Artificial Intelligence in Education.
- Hazlett, R. L. 2006. *Measuring emotional valence during interactive experiences: boys at video game play*. Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems.

- Hazlett, R. L., & Benedek, J. 2007. Measuring emotional valence to understand the user's experience of software. *International journal of human-computer studies*, 65(4), 306-314.
- IJsselsteijn, W., Poels, K., & De Kort, Y. 2008. The Game Experience Questionnaire: Development of a self-report measure to assess player experiences of digital games. *TU Eindhoven, Eindhoven, The Netherlands*.
- IJsselsteijn, W., van den Hoogen, W., Klimmt, C., de Kort, Y., Lindley, C., Mathiak, K., Vorderer, P. 2008. *Measuring the experience of digital game enjoyment*. Paper presented at the Proceedings of Measuring Behavior.
- Isen, A. 2000. Positive Affect and Decision Making, *Handbook of emotions*.
- Izard, C. E. 1993. *The Differential Emotions Scale: DES IV-A;[a Method of Measuring the Meaning of Subjective Experience of Discrete Emotions]*: University of Delaware.
- Jacques, R. D. 1996. *The nature of engagement and its role in hypermedia evaluation and design*. South Bank University.
- James, W. 1992. *William James: Writings 1878–1899*: Library of America.
- Johnstone, T., van Reekum, C. M., Hird, K., Kirsner, K., & Scherer, K. R. 2005. Affective speech elicited with a computer game. *Emotion*, 5(4), 513.
- Jones, M. G. 1998. Creating engagement in computer-based learning environments. *Retrieved April, 12, 2001*.
- Kaiser, S., Wehrle, T., & Schmidt, S. 1998. Emotional Episodes, Facial Expressions, and Reported Feelings in Human-Computer Interactions.
- Khedher, A. B., & Frasson, C. 2015. *Recommending Regulation Strategies*. Paper presented at the The Twenty-Eighth International Flairs Conference.
- Kivikangas, J. M., Chanel, G., Cowley, B., Ekman, I., Salminen, M., Järvelä, S., & Ravaja, N. 2011. A review of the use of psychophysiological methods in game research. *journal of gaming & virtual worlds*, 3(3), 181-199.
- Kleinginna Jr, P. R., & Kleinginna, A. M. 1981. A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition. *Motivation and emotion*, 5(4), 345-379.
- Klimmt, C. 2003. *Dimensions and determinants of the enjoyment of playing digital games: A three-level model*. Paper presented at the Level up: Digital games research conference.
- Koster, R. 2004. *A Theory of Fun for Game Design*. Paraglyph Press, Scottsdale, AZ. .

- Lang, P. J. 1995. The emotion probe: studies of motivation and attention. *American psychologist*, 50(5), 372.
- Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M., & Hamm, A. O. 1993. Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, 30, 261-261.
- Levenson, R. W. 1988. Emotion and the autonomic nervous system: A prospectus for research on autonomic specificity.
- Lindley, S. E., Le Couteur, J., & Berthouze, N. L. 2008. *Stirring up experience through movement in game play: effects on engagement and social behaviour*. Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.
- Mandryk, R. L. 2008. Physiological measures for game evaluation. *Game usability: Advice from the experts for advancing the player experience*, 207-235.
- Mandryk, R. L., Atkins, M. S., & Inkpen, K. M. 2006. *A continuous and objective evaluation of emotional experience with interactive play environments*. Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems.
- Martinez, H. P., Jhala, A., & Yannakakis, G. N. 2009. *Analyzing the impact of camera viewpoint on player psychophysiology*. Paper presented at the Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops, 2009. ACII 2009. 3rd International Conference on.
- Mayer, J. D., & Gaschke, Y. N. 1988. The experience and meta-experience of mood. *Journal of personality and social psychology*, 55(1), 102.
- Mayer, J. D., & Salovey, P. 1997. What is emotional intelligence? Emotional Development and Emotional Intelligence: Implications for Educators. New York: Basic books.
- Mayes, D. K., & Cotton, J. E. 2001. *Measuring engagement in video games: A questionnaire*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Mehrabian, A., & Russell, J. A. 1974. *An approach to environmental psychology*: the MIT Press.
- Minsky, M. 1988. *Society of mind*: Simon and Schuster.

- Mott, K. 2009. Evolution of artificial intelligence in video games: A survey. *Term Papers prepared for 810: 161, Artificial Intelligence, Spring 2009 University of Northern Iowa (UNIAI-09)*, 3.
- Nacke, L., Lindley, C., & Stellmach, S. 2008. Log who's playing: psychophysiological game analysis made easy through event logging *Fun and games* (pp. 150-157): Springer.
- Nacke, L. E., & Lindley, C. A. 2010. Affective ludology, flow and immersion in a first-person shooter: Measurement of player experience. *arXiv preprint arXiv:1004.0248*.
- Nacke, L. E., Stellmach, S., & Lindley, C. A. 2010. Electroencephalographic assessment of player experience: A pilot study in affective ludology. *Simulation & Gaming*.
- Nijhar, J., Bianchi-Berthouze, N., & Boguslawski, G. 2011. *Does movement recognition precision affect the player experience in exertion games?* Paper presented at the International Conference on Intelligent Technologies for interactive entertainment.
- O'Brien, H. L., & Toms, E. G. 2008. What is user engagement? A conceptual framework for defining user engagement with technology. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 59(6), 938-955.
- O'Brien, H. L., & Toms, E. G. 2010. The development and evaluation of a survey to measure user engagement. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(1), 50-69.
- O'Brien, H. L., & Toms, E. G. 2013. Examining the generalizability of the User Engagement Scale (UES) in exploratory search. *Information Processing & Management*, 49(5), 1092-1107.
- Ortony, A., Clore, G. L., & Collins, A. 1988. *The cognitive structure of emotions*: Cambridge university press.
- Perron, B. 2005. Jeu vidéo et émotions. *Le game design de jeux vidéo. Approches de l'expression vidéo-ludique, Éditions Mnémos, Paris, to be published in.*
- Picard, R. 1997. *Affective computing*: MIT press
- Poels, K., de Kort, Y. A. W., & IJsselstein, W. A. 2007. "It is always great fun!" Exploring dimensions of digital game experience using focus group methodology. Proceedings of the 2007 Conference on Future Play (Toronto, Canada, 14-18 November 2007), 83-89.
- Pope, A. T., Bogart, E. H., & Bartolome, D. S. 1995. Biocybernetic system evaluates indices of operator engagement in automated task. *Biological psychology*, 40(1), 187-195.

- Przybylski, A. K., Rigby, C. S., & Ryan, R. M. 2010. A motivational model of video game engagement. *Review of general psychology, 14*(2), 154.
- Rani, P., Sarkar, N., & Liu, C. 2005. *Maintaining optimal challenge in computer games through real-time physiological feedback*. Paper presented at the Proceedings of the 11th international conference on human computer interaction.
- Ravaja, N., Saari, T., Laarni, J., Kallinen, K., Salminen, M., Holopainen, J., & Järvinen, A. (2005). 1 The Psychophysiology of Video Gaming: Phasic Emotional Responses to Game Events, Proceedings of DiGRA 2005.
- Ravaja, N., Saari, T., Turpeinen, M., Laarni, J., Salminen, M., & Kivikangas, M. 2006. Spatial presence and emotions during video game playing: Does it matter with whom you play? *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 15*(4), 381-392.
- Rigby, S., & Ryan, R. M. 2011. *Glued to Games: How Video Games Draw Us In and Hold Us Spellbound: How Video Games Draw Us In and Hold Us Spellbound: ABC-CLIO*.
- Russel, S., & Norvig, P. 2010. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice Hall, Hardback (pp.179).
- Russell, J. A. 1980. A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology, 39*(6), 1161.
- Russell, J. A. 2003. Core affect and the psychological construction of emotion. *Psychological review, 110*(1), 145.
- Russell, S., & Norvig, P. 2009. *Artificial Intelligence : A Modern Approach*. Prentice Hall, third édition. ISBN 0136042597. URL <http://www.worldcat.org/isbn/0136042597>.
- Sakurazawa, S., Yoshida, N., & Munekata, N. 2004. *Entertainment feature of a game using skin conductance response*. Paper presented at the Proceedings of the 2004 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology.
- Salen, K., & Zimmerman, E. 2004. *Rules of play: Game design fundamentals*: MIT press.
- Schoenau-Fog, H. 2011. *The player engagement process—an exploration of continuation desire in digital games*. Paper presented at the Think Design Play: Digital Games Research Conference.
- Shouse, E. 2005. Feeling, emotion, affect. *M/c journal, 8*(6), 26.
- Slater, M. 1999. Measuring presence: A response to the Witmer and Singer presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 8*(5), 560-565.

- Sloman, A., & Croucher, M. 1981. Why robots will have emotions. 7th international joint conference on Artificial intelligence - Volume 1. Vancouver, BC, Canada: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Stamenović, J., Đurić, S., Jolić, M., Živadinović, B., & Đurić, V. 2005. Examination of cognitive functions in patients with Parkinsons disease. *Facta Universitatis*, 11, 104-113.
- Sykes, J., & Brown, S. 2003. *Affective gaming: measuring emotion through the gamepad*. Paper presented at the CHI'03 extended abstracts on Human factors in computing systems.
- Tassinari, L. G., & Cacioppo, J. T. 2000. The skeletomotor system: Surface electromyography, in J. T. Cacioppo, L. G. Tassinari and G. G. Berntson (eds), *Handbook of Psychophysiology*, New York, NY: Cambridge University. Press (pp. 163–99).
- Tijs, T. J., Brokken, D., & IJsselsteijn, W. A. 2008. Dynamic game balancing by recognizing affect *Fun and Games* (pp. 88-93): Springer.
- Trepte, S., & Reinecke, L. 2011. The pleasures of success: Game-related efficacy experiences as a mediator between player performance and game enjoyment. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 14(9), 555-557.
- Wang, N., & Marsella, S. 2006. *Introducing EVG: An emotion evoking game*. Paper presented at the Intelligent Virtual Agents.
- Wiebe, E. N., Lamb, A., Hardy, M., & Sharek, D. 2014. Measuring engagement in video game-based environments: Investigation of the User Engagement Scale. *Computers in Human Behavior*, 32, 123-132.
- Wooldridge, M. 1999. *Multiagent systems: A modern approach to Distributed Artificial Intelligence*. In Weiss, G, *Intelligent agents*. MIT press.
- Wu, D., Courtney, C. G., Lance, B. J., Narayanan, S. S., Dawson, M. E., Oie, K. S., & Parsons, T. D. 2010. Optimal arousal identification and classification for affective computing using physiological signals: virtual reality Stroop task. *Affective Computing, IEEE Transactions on*, 1(2), 109-118.
- Wu, D., Lance, B. J., & Parsons, T. D. 2013. Collaborative filtering for brain-computer interaction using transfer learning and active class selection. *PloS one*, 8(2).

Yue, B., & de-Byl, P. 2006. *The state of the art in game AI standardisation*. Paper presented at the Proceedings of the 2006 international conference on Game research and development.

Zaman, B., & Shrimpton-Smith, T. 2006. The Face- Reader: Measuring instant fun of use. In Proceedings of NordiCHI'06, ACM Press, New York (pp. 457- 460).