

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

L'EFFET DE LA FRUSTRATION CRÉÉE PAR L'ÉCHEC AU JEU SUR LA MOTIVATION,  
L'ENGAGEMENT ET L'ÉVEIL DANS UN CONTEXTE DE JEU VIDÉO À HAUTE  
INTENSITÉ

MARTIN THERRIEN

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

RAPPORT DE PROJET PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLÔME DE MAÎTRISE EN INGÉNIERIE

(GÉNIE INDUSTRIEL)

FÉVRIER 2018

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce rapport de projet intitulé:

L'EFFET DE LA FRUSTRATION CRÉÉE PAR L'ÉCHEC AU JEU SUR LA MOTIVATION,  
L'ENGAGEMENT ET L'ÉVEIL DANS UN CONTEXTE DE JEU VIDÉO À HAUTE  
INTENSITÉ

Présenté par : THERRIEN Martin

En vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise en ingénierie

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. ROBERT Jean-Marc, doctorat, membre et directeur de recherche

M. BRAULT Jean-Jules, Ph. D., membre



## **REMERCIEMENTS**

Je tiens à remercier Jean-Marc Robert pour son aide dans l'élaboration de ce projet de recherche et pour l'évaluation du rapport, ainsi que Jean-Jules Brault pour ses conseils techniques et sa participation à l'évaluation. Je veux aussi remercier les sujets qui ont participé aux expérimentations.

## RÉSUMÉ

Les techniques d'identification des intentions et des émotions des utilisateurs lors d'interactions avec des systèmes informatiques se développent toujours, et les systèmes de captage de signaux physiologiques dans ce domaine sont vus comme étant un point d'entrée de l'informatique affective dans la vie de chacun. Pour parvenir à inférer les intentions et les émotions des utilisateurs à partir de signaux physiologiques, il faudra encore faire de la recherche, mais l'industrie des jeux vidéo est déjà très active dans ce domaine. Elle s'intéresse aux différentes émotions vécues par les joueurs, telles que la tristesse, la frustration, l'angoisse, la peur, la joie, l'euphorie... afin d'en tenir compte pour l'adaptation des interfaces utilisateurs.

Ce projet de recherche, de nature exploratoire pour ce qui concerne l'utilisation des signaux physiologiques de l'EEG (électroencéphalogramme), vise à tester l'effet d'événements frustrants dans les jeux vidéo sur la motivation, l'engagement et l'éveil des joueurs tels que détectés au moyen de signaux physiologiques. Pour atteindre cet objectif, nous avons fait un pré-test et une expérimentation avec 12 sujets. Pour créer de la frustration au jeu, on a défini trois niveaux de difficulté du jeu (facile, moyen et difficile) qui donnent lieu à différents nombres d'échecs, qui sont suivis dans certains cas d'un arrêt du jeu et d'une mise à zéro du pointage et dans d'autres cas, de poursuite du jeu et de non mise à zéro. Les niveaux de difficulté ont été déterminés lors de pré-tests et tiennent compte de la performance des sujets dans un bloc de pratique, le but étant d'avoir une expérience adaptée au niveau de compétence de chacun des sujets. Les trois hypothèses que nous avons formulées stipulent que la frustration causée par l'échec au jeu (variable indépendante) va accroître la motivation d'approche, l'engagement et l'éveil du joueur (variables dépendantes).

Au cours de l'expérimentation, les signaux physiologiques des sujets ont été captés au moyen d'un casque EEG de marque Epoc de la compagnie Emotiv, comportant 14 électrodes, pour évaluer les trois variables dépendantes dans les divers états du jeu. Une étude en bandes fréquences avec, entre autres, un index d'asymétrie frontale a été faite suite au recueil des données avec les électrodes.

Résultats : au total, nous n'avons pu conserver que les données de 5 sujets sur 12 à cause de problèmes de logiciels et de problèmes techniques liés aux mauvais contacts de certaines électrodes. Les résultats globaux montrent que la frustration causée par les échecs suite à

l'augmentation du niveau de difficulté du jeu tend à avoir des effets négatifs sur la motivation et des effets positifs sur l'engagement et l'éveil du joueur, cependant les résultats ne sont pas significatifs sur le plan statistique et les trois hypothèses sont infirmées. Le niveau de difficulté de jeu le plus élevé, qui est censé provoquer le plus haut degré de frustration chez les joueurs, s'est révélé avoir des effets ambigus puisqu'on observe de grandes différences entre les sujets sur les trois variables dépendantes. Les résultats révèlent aussi que le casque Epop comporte plusieurs limites : certaines électrodes ont eu peu ou pas de contact avec la tête du sujet à cause de la forme de celle-ci et de la rigidité du casque, ce qui a fait que les signaux recueillis étaient parfois difficiles à décomposer avec une ACI (analyse en composantes indépendantes) à cause du faible nombre d'électrodes opérationnelles durant les tests. Au final, malgré ses limites, ce projet d'études nous a permis d'apprendre beaucoup sur le recueil et l'analyse des signaux physiologiques de l'EEG, sur le design d'expérience avec des sujets humains, et sur l'analyse et l'interprétation de données.

## ABSTRACT

Techniques for identifying users' intentions and emotions when interacting with computer systems are still developing, and systems for capturing physiological signals corresponding to these intentions and emotions are seen as a point of entry into a future where affective computing will be common in the lives of each of us. To get there, much more research is needed, but the video game industry is already very active in this field. It is interested in different emotions experienced by the players, such as sadness, frustration, anxiety, fear, joy or euphoria, in order to take them into account in the adaptation of user interfaces.

This research project which is exploratory in the use of physiological signals from electroencephalogram (EEG) aims to better understand the effects of frustrating events in games on players' motivation, engagement and arousal. To achieve this goal, we did a pre-test and experiment with 12 subjects. To generate frustration in the game, three levels of difficulty (easy, medium and difficult) have been defined which give rise to different numbers of failures, which are followed in some cases by a sudden stop of the game and a reinitialization of the score and in other cases, a continuation of the game and no score reinitialization. Difficulty levels were determined during pre-tests and take into account the performance of the subjects in a practice block, the goal being to have an experience adapted to the skill level of each subject. The three hypotheses that we have formulated state that the frustration caused by the failure of the game (independent variable) will increase the player's approach motivation, his engagement and his arousal (dependent variables).

During the experiment, the subjects' physiological signals were captured using Emotiv's Epoc EEG headset with 14 electrodes to evaluate the three dependent variables in the various game states. A study using frequency bands with, among others, a frontal asymmetry index was made following the collection of data with the electrodes.

Results: in total, we were able to keep the data of only 5 out of 12 subjects because of software problems and technical problems related to poor contact of some electrodes. Overall results show that the frustration caused by failures due to the game's increased level of difficulty tends to have negative effects on motivation and positive effects on the player's engagement and arousal, however the results are not statistically significant, and the three assumptions are invalidated. The highest level of difficulty in the game, which is expected to cause the highest degree of

frustration among players, has shown ambiguous effects since there are large differences between the subjects on the three dependent variables. The results also reveal that the Epoc headset has several limitations: some electrodes had little or no contact with the subject's head because of the shape of the subject's head and the headset's rigidity, which meant that the signals captured were sometimes difficult to decompose with an ACI (independent component analysis) because of the low number of operational electrodes during the tests. In the end, despite its limitations, this study project allowed us to learn a lot about the collection and analysis of physiological signals from the EEG, about the design of experiments with human subjects, and about data analysis and interpretation.

## TABLE DES MATIÈRES

Introduction .....	16
Chapitre 1    Revue de littérature sur les jeux, le flow et les émotions .....	17
1.1    Les jeux, les joueurs et la théorie du flow .....	17
1.2    Les émotions, la motivation, l'engagement et l'éveil .....	22
1.2.1    Émotions.....	22
1.2.2    Motivation .....	25
1.2.3    Engagement et éveil .....	26
1.3    Détection et validation des émotions .....	27
1.3.1    Les signaux physiologiques .....	27
1.3.2    Validation des émotions .....	28
1.3.2    Asymétrie frontale, motivation, frustration et valence.....	32
Chapitre 2    Objectif, logique, hypothèses et méthodologie du projet de recherche .....	36
2.1    Objectif de recherche .....	36
2.2    Logique de la recherche .....	36
2.2.1    Hypothèses .....	37
2.3    Méthodologie .....	37
2.3.1    Procédure expérimentale .....	37
2.3.2    Traitement de données .....	47
2.4    Analyse de données .....	58
2.4.1    Appliquer des transformations de fréquences .....	58
2.4.2    Calculer l'asymétrie frontale, l'engagement et l'éveil .....	59
Chapitre 3    Résultats .....	61
3.1    Résultats du pré-test .....	61
3.2    Résultats de l'expérimentation .....	61
3.2.1    Résultats de l'analyse de variance.....	63
3.2.2    Vérifications des hypothèses .....	67
3.3    Questionnaire post-expérimental.....	67

Conclusion.....	68
Limites de l'étude.....	68
Projections.....	69
Pistes de recherche .....	70
Annexe A – Protocoles et questionnaires.....	81
Annexe B – Données.....	93

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Séquence des blocs de l'expérimentation 2.....	41
Tableau 3.1 : Résultats de l'état « jeu » des blocs de l'expérimentation finale par sujet.....	64
Tableau 3.2 : Moyennes des résultats de l'état « jeu » des blocs de l'expérimentation finale pour tous les sujets.....	65
Tableau 3.3 : Résultats des analyses de variance .....	66
Tableau Annexe b.1: Données calculées du prétest .....	93
Tableau Annexe b.2: Anova à deux facteurs avec réplifications - FAI-Motivation.....	109
Tableau Annexe b.3: Anova à deux facteurs avec réplifications - Engagement.....	110
Tableau Annexe b.4: Anova à deux facteurs avec réplifications - Éveil.....	112

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Diagramme de Flow selon Csikszentmihalyi .....	17
Figure 1.2 : Types de joueurs selon Richard A. Bartle .....	20
Figure 1.3 : Groupes d'émotions dans la théorie psycho-évolutionniste. © Robert Plutchik, 2001 .....	23
Figure 1.4 : Relations entre stimuli, réactions et fonctions dans la théorie psycho-évolutionniste des émotions de base de Robert Plutchik © Markus Drews, 2007 .....	24
Figure 1.5 : Emplacement des électrodes du casque <i>Epoc</i> de la compagnie <i>Emotiv</i> © <i>Emotiv</i> , 2013.....	28
Figure 1.6 : Pictogrammes de l'échelle SAM pour évaluer, sur une échelle de cinq points, la valence, l'éveil et la dominance. (Bradley & Lang, 1994) .....	31
Figure 2.1 : Capture d'écran du jeu de l'expérimentation 2.....	39
Figure 2.2 : Schéma des relations entre les logiciels et matériels utilisés dans nos expérimentations .....	45
Figure 2.3 : Composante de l'activité électrique du cerveau [9] .....	50
Figure 2.4 : Composante de l'activité électrique du cerveau avec d'autres éléments [9] .....	51
Figure 2.5 : Artefact de mouvements des paupières [9].....	52
Figure 2.6 : Artefact de mouvement des yeux [9].....	52
Figure 2.7 : Artefact de mouvement musculaire [9] .....	53
Figure 2.8 : Artefact de pulsation cardiaque [9].....	54
Figure 2.9 : Forme d'onde de pulsation cardiaque et le complexe QRS. Image du domaine publique. [10] .....	55
Figure 2.10 : Artefact de ligne électrique dans un signal EEG [9] .....	56
Figure 2.11 : Artefact de ligne électrique dans un signal EEG [11] .....	56
Figure 2.12 : Bruit provenant du canal d'une électrode dans un signal EEG [9].....	57
Figure b.1 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 7 - Index d'asymétrie frontale (valence).....	95
Figure b.2 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 7 - Moyenne du test SAM (valence).....	95
Figure b.3 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 8 - Index d'asymétrie frontale (valence).....	96

Figure b.4 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 8 - Moyenne du test SAM (valence).....	97
Figure b.5 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 9 - Index d'asymétrie frontale (valence).....	97
Figure b.6 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 9 - Moyenne du test SAM (valence).....	98
Figure b.7 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 11 - Index d'asymétrie frontale (valence).....	98
Figure b.8 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 11 - Moyenne du test SAM (valence).....	99
Figure b.9 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 12 - Index d'asymétrie frontale (valence).....	99
Figure b.10 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 12 - Moyenne du test SAM (valence).....	100
Figure b.11 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 7 - Index d'éveil .....	101
Figure b.12 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 7 - Moyenne du test SAM (Éveil).....	101
Figure b.13 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 8 - Index d'éveil .....	102
Figure b.14 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 8 - Moyenne du test SAM (Éveil).....	102
Figure b.15 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 9 - Index d'éveil .....	103
Figure b.16 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 9 - Moyenne du test SAM (Éveil).....	103
Figure b.17 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 11 - Index d'éveil.....	104
Figure b.18 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 11 - Moyenne du test SAM (Éveil).....	104

Figure b.19 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 12 - Index d'éveil.....	105
Figure b.20 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 12 - Moyenne du test SAM (Éveil).....	105
Figure b.21 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 7 - Index d'engagement .....	106
Figure b.22 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 8 - Index d'engagement .....	107
Figure b.23 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 9 - Index d'engagement .....	107
Figure b.24 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 11 - Index d'engagement .....	108
Figure b.25 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 12 - Index d'engagement .....	108

## LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ACI	Analyse en composantes indépendantes
EEG	Électroencéphalogramme
EOG	Électro-oculogramme
FAI	Index d'asymétrie frontale (Frontal asymmetry index)
FAAI	Index d'asymétrie alpha frontale (Frontal alpha asymmetry index)
FFT	Fast Fourier Transform
GAPED Database)	Base de données d'images affective de Genève (Geneva Affective Picture Database)
IDP	Indice de performance
MMORPG	Jeu de rôle massivement multi-joueurs en ligne (Massively multiplayer online role-playing game)
MUD	Donjon multi-utilisateur (Multi-user dungeon)
SAM	Self-assessment manikin
SDT	Théorie d'auto-détermination (Self-determination theory)

## INTRODUCTION

La recherche sur les émotions et la motivation est considérée importante dans le développement de produits en général, et un intérêt particulier y est apporté en informatique puisque le concepteur logiciel peut avoir un grand impact sur l'expérience de l'utilisateur. Cet intérêt a mené au développement de l'informatique affective qui porte sur la capacité des logiciels de s'adapter aux émotions des utilisateurs pour attirer leur intérêt ou pour faciliter leur interaction. L'aspect affectif occupe une place majeure dans les jeux vidéo, d'une part en réaction aux aspects artistiques, narratifs, visuels et sonores, et d'autre part en lien avec les mécaniques et règles des jeux qui vont constituer la partie la plus dynamique de l'expérience utilisateur. Un sentiment de défi est généralement considéré comme désirable pour garder l'intérêt des joueurs (Rani, Sarkar, & Liu, 2006). Ce projet de recherche se concentre sur l'aspect émotif du joueur, notamment ses frustrations et sa motivation qui résultent de l'interaction avec les mécaniques et les défis du jeu. La frustration est souvent un moteur de la motivation dans les jeux, puisqu'on considère qu'elle va diriger l'intérêt du joueur à travers les défis qu'il doit relever. Ce projet s'inspire de la théorie du flow de Mihaly Csikszentmihalyi et étudie les effets de la frustration sur la motivation du joueur. Nous avons capté les signaux neurologiques du joueur au moyen d'un casque EEG; les données ainsi recueillies sont directes et non biaisées par des failles de la mémoire qui risquent de nuire à l'acquisition de données fiables avec des questionnaires qui sondent les sujets après l'activité. Ce projet est de nature exploratoire, ses résultats visent à jeter les bases de futurs projets de recherche sur ce sujet.

## CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE SUR LES JEUX, LE FLOW ET LES ÉMOTIONS

Ce chapitre présente une revue de littérature sur quelques notions importantes concernant les jeux, le flow, les facteurs humains et les techniques de détection des émotions. Il vise aussi à permettre au lecteur de voir la direction du projet, ses possibilités d'applications et ses limites.

### 1.1 Les jeux, les joueurs et la théorie du flow

L'idée principale du projet est inspirée de la théorie du flow de Mihaly Csikszentmihalyi qui, dans la quête de trouver la recette de l'expérience optimale pour atteindre le bonheur, a écrit sur ce concept qui est utilisé aujourd'hui particulièrement dans le domaine des jeux vidéo. Le flow se définit comme l'état dans lequel une personne se trouve lorsqu'il y a un équilibre entre les talents nécessaires pour être en mesure de relever des défis et les talents que possède cette personne pour les relever de manière satisfaisante selon certains critères. Dans une forme graphique, l'état de flow est représenté comme un canal au centre de deux axes, le niveau de défi et le niveau de talent (voir figure 1.1). Lorsque talent et défi sont équilibrés, une personne entrerait dans un état de flow. Un excès du niveau de défis par rapport au niveau de talent causerait de l'anxiété, et un grand niveau de talent par rapport à un manque de défi causerait de l'ennui.

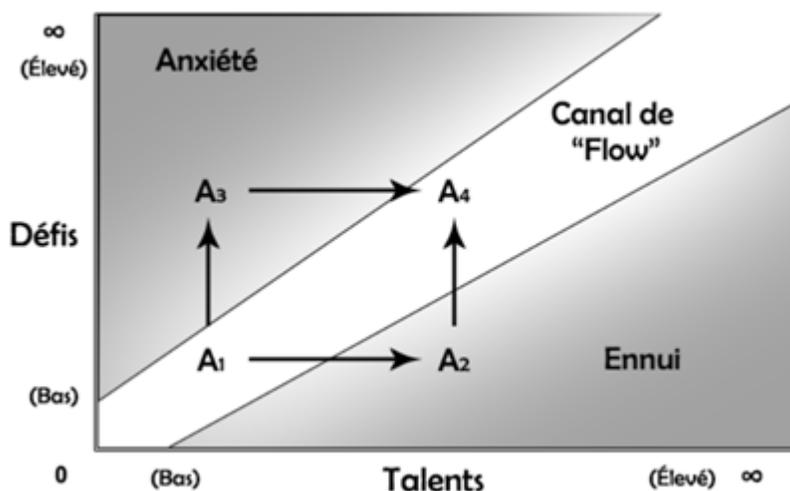


Figure 1.1 : Diagramme de Flow selon Csikszentmihalyi

Une telle mesure est personnelle pour un individu, non seulement parce qu'elle dépend de ses capacités à performer et de ses attitudes envers les défis, mais aussi, de sa motivation pour

accomplir ses objectifs. L'existence des buts peut affecter la capacité d'une personne à accomplir un travail tout comme l'absence de but peut mener à une apathie qui affectera l'engagement d'une personne dans la tâche. La relation entre un individu et une tâche à accomplir existe selon la valeur accordée à l'accomplissement de cette tâche par rapport aux efforts mis en œuvre pour l'accomplir. La force de cette relation accroîtra avec la quantité d'efforts pour accomplir la tâche et l'importance de cet accomplissement, tout en tenant compte des capacités à accomplir cette tâche (Csikszentmihalyi, 1990).

La théorie du flow a été utilisée dans plusieurs travaux de recherche dans le but de maintenir ou d'augmenter l'intérêt de l'utilisateur envers son activité et de lui procurer une meilleure expérience. Un sentiment d'immersion, de contrôle, une forte concentration et la perte de conscience de soi et de la notion du temps font partie d'éléments composant le flow (Schaffer, 2013). Les travaux sur l'expérience utilisateur dans les jeux tiennent compte de ces facteurs que ce soit au travers des heuristiques de conception ou dans l'évaluation au moyen de questionnaires (Karat & Vanderdonckt, 2009).

La relation entre la motivation et les récompenses a déjà été établie dans les jeux, notamment dans les jeux de hasard et la conception persuasive, lesquels utilisent les récompenses pour motiver et engager les utilisateurs. Dans l'étude de Ducheneault *et al.* (2006), qui fait l'analyse des systèmes du jeu vidéo World of Warcraft<sup>1</sup>, les systèmes de récompenses et la progression ont un effet positif sur l'engagement et la rétention de joueurs. La force de la progression est basée sur une augmentation graduelle du temps d'obtention de gain de niveau mais aussi de récompenses significatives sous forme de puissants objets magiques. World of Warcraft et un grand nombre de jeux de type MMORPG (massively multiplayer online role-playing game) empruntent une grande part de leurs mécaniques aux jeux de rôles sur table tels que Donjons et Dragons qui existent depuis les années 70. Les mécaniques sont des systèmes de règles de jeux qui vont ensemble définir des points importants de l'expérience de jeu. Ces systèmes, autant pour les MMORPG que les autres genres, ont évolué avec le temps pour devenir toujours plus engageants (Ducheneault, 2006). Les principes utilisés rappellent parfois les expériences de Skinner sur les fondements des mécanismes comportementaux qui sont en cause dans la

---

<sup>1</sup> World of Warcraft est un jeu vidéo de la compagnie Blizzard Entertainment sorti en 2004.

motivation d'approche et la motivation d'évitement. Les expérimentations de Skinner sur des rats et des pigeons ont permis de voir des changements de comportements attachés à des stimuli de récompenses, comme la nourriture, et des stimuli de punitions donnés par des électrochocs (Skinner, 1953). Le conditionnement comportemental est possible chez l'humain même avec des stimuli moins intrusifs tel qu'on peut le voir dans les jeux vidéo. Il est nécessaire de mettre en place des composantes de jeu qui donnent envie au joueur d'aller de l'avant par son impression de progression que ce soit par l'exploration, la narration, la construction et la personnalisation, l'acquisition de biens qui ont une valeur aux yeux du joueur, l'amélioration de ses capacités de résolution de problèmes et de ses talents, ou la domination face aux autres joueurs.

Les besoins et les objectifs des joueurs sont relatifs et ne dépendent pas simplement de règles incluses dans les jeux. Ils peuvent aussi dépendre des types de joueurs ; selon la taxonomie de Bartle (1994) il y a quatre types de joueurs :

- les tueurs : ils sont en compétition avec d'autres joueurs, ils veulent dominer;
- les complétionnistes : ils veulent compléter et obtenir tout ce qu'il y a dans le jeu;
- les socialisateurs : ils veulent communiquer, aider et interagir avec d'autres joueurs;
- les explorateurs : ils veulent découvrir tout ce que l'univers du jeu peut offrir, voir des nouvelles façons de faire que même les concepteurs n'auraient pas imaginées.

Une interaction entre ces types de joueurs est possible, par exemple un explorateur pourrait trouver une nouvelle façon de faire qui rendrait l'objectif personnel des "tueurs" plus difficile à atteindre. Les quatre types peuvent être classés dans des quadrants organisés selon un plan cartésien, avec l'axe "joueurs - monde" et l'axe "interaction - action" (voir figure 1.2).

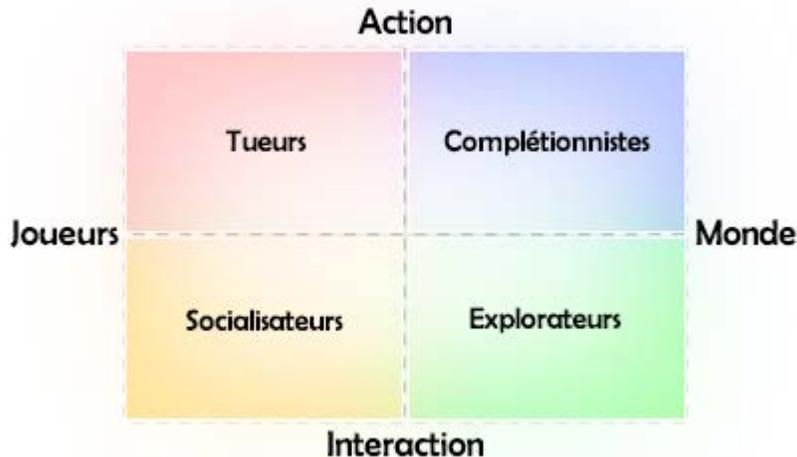


Figure 1.2 : Types de joueurs selon Richard A. Bartle

Une des critiques que l'on peut faire à l'endroit de cette représentation est qu'elle ne permet pas qu'un joueur ait une tendance fortement polarisée dans deux types opposés alors qu'en réalité, plusieurs combinaisons de types sont possibles.

Une autre critique possible est que le système de classification de Bartle peut être utilisé à tort dans d'autres contextes que celui pour lequel il a été conçu. Les types de joueurs de Bartle ont été originellement proposés pour des jeux de type MUD (multi-user dungeon) ou son proche parent, les MMORPG.

Les jeux de type MUD font partie d'un genre popularisé au début des années 80 qui met le joueur dans un univers virtuel parfois décrit seulement avec du texte sinon avec un visuel simpliste. Le joueur doit explorer, accomplir des quêtes, tuer des monstres et interagir avec les autres joueurs présents dans l'univers de jeu, soit en écrivant des commandes, en utilisant des mots-clefs pour les jeux textuels ou en contrôlant un avatar avec des touches ou une souris selon l'interface visuelle pour les jeux ayant du graphisme. Le MMORPG est similaire au MUD dans les objectifs de base des joueurs, mais étant apparu plus tard avec des meilleures technologies disponibles, il incorpore plusieurs autres mécaniques de jeu, il est plus dynamique pour ce qui est des actions d'un joueur, il offre des avatars détaillés et personnalisables, des univers plus complexes et souvent des mélanges avec d'autres genres de jeux.

Il est tentant d'appliquer les types de joueurs de Bartle à d'autres contextes même en dehors des jeux, mais ce serait une erreur selon certains chercheurs et Bartle lui-même. D'autres modèles de classification de joueurs peuvent mieux prétendre à être universels (Dixon, 2011). Le modèle de Bartle a par la suite été amélioré par Nick Yee qui a fait des études empiriques sur les MMORPG [1] et a ajouté d'autres traits (10 au total) qu'il regroupe en trois familles majeures, soit : complétion (avancement, mécaniques, compétition), social (socialisation, relation, travail d'équipe) et immersion (découverte, jeu de rôle, personnalisation, échappement). Bien que ce modèle soit aussi dédié aux jeux multi-joueurs en ligne, l'auteur souligne le fait qu'il ne veut pas qu'on parle de types de joueurs mais plutôt de composantes et sous-composantes de motivation et que sa portée serait plus grande que le modèle de Bartle (Yee, 2005). Kallio, Mayra et Kaipainen (2011) ont quant à eux tenté de créer un nouveau modèle qui élargirait encore plus la portée des modèles, couvrant à la fois des joueurs occasionnels, sociaux ou très engagés et inclurait aussi les joueurs de jeux non-numériques. Selon leurs recherches basées sur des études empiriques, les joueurs types sont plutôt situationnels et il y a une grande variété de contextes et donc de motivateurs qui amènent à jouer à un jeu. Le modèle qui en est ressorti est appelé InSoGa (Intensity, Sociability, Games) et permet de connaître le profil de joueurs selon neuf archétypes dans trois familles (social, occasionnel et investi). Les profils sont plus concentrés sur le contexte et les habitudes de jeux que sur ce que le joueur aurait tendance à vouloir exécuter comme action dans un jeu, puisque ce type d'action aura tendance à varier selon beaucoup de facteurs, par exemple, un joueur qui ne joue que pour passer le temps pourrait avoir une multitude de comportements possibles dans divers jeux (Kallio, Mayra, & Kaipainen, 2010). Ces tentatives de modélisation des joueurs et les études empiriques sur le sujet montrent que la variété peut être grande, que les besoins sont personnels à un tel point qu'il est difficile de vraiment les définir, et que prédire l'action des joueurs et l'émergence de nouvelles intentions lors de sessions de jeux nécessite encore beaucoup de recherche. La pertinence d'avoir des modèles de joueurs et de recueillir des données biographiques sur ces derniers est de nous aider à comprendre les comportements des joueurs et à interpréter les fortes différences dans les résultats des tests.

## 1.2 Les émotions, la motivation, l'engagement et l'éveil

### 1.2.1 Émotions

L'étude des émotions et de leurs impacts sur nos actions est un champ vaste et encore en développement à ce jour. Plusieurs modèles de classification des émotions existent; nous allons en examiner quelques-uns afin de pouvoir situer la frustration à laquelle nous nous intéressons plus particulièrement dans cette recherche.

Parmi les plus communs, le modèle des émotions discrètes différencie des émotions de base qui sont supposées être perceptibles de façon similaire d'une culture à l'autre. Selon Ekman et Friesen (1987), il s'agit des émotions telles que la peur, la colère, la surprise, la joie, la tristesse, le dégoût qui ont pu être bien reconnues sur des images d'expressions faciales dans 10 pays testés (Ekman et al., 1987).

La théorie psycho-évolutionniste de Robert Plutchik (Plutchik, 2000) propose quant à elle des émotions de base similaires mais y intègre une notion de degré qui affecte l'intensité de manifestation de celles-ci. Il y a huit émotions de base : la joie, la confiance, la peur, la surprise, la tristesse, le dégoût, la colère et l'anticipation (voir figure 1.3). Pour chacune de ces émotions, il y aurait une fonction associée qui serait commune aux organismes vivants soit, la protection, la destruction, la reproduction, la réintégration, l'incorporation, le rejet, l'exploration et l'orientation. Un procédé qui part de stimuli, puis passe par le traitement cognitif, une réaction émotionnelle subjective jusqu'à une réaction comportementale aurait une fonction pratique comme on peut le voir dans la figure 1.4. De plus, selon cette théorie, les émotions peuvent être combinées en "dyades" qui donnent d'autres manifestations, telles que l'agressivité, l'optimisme, l'amour, etc. (Ekman & Davidson, 1994).

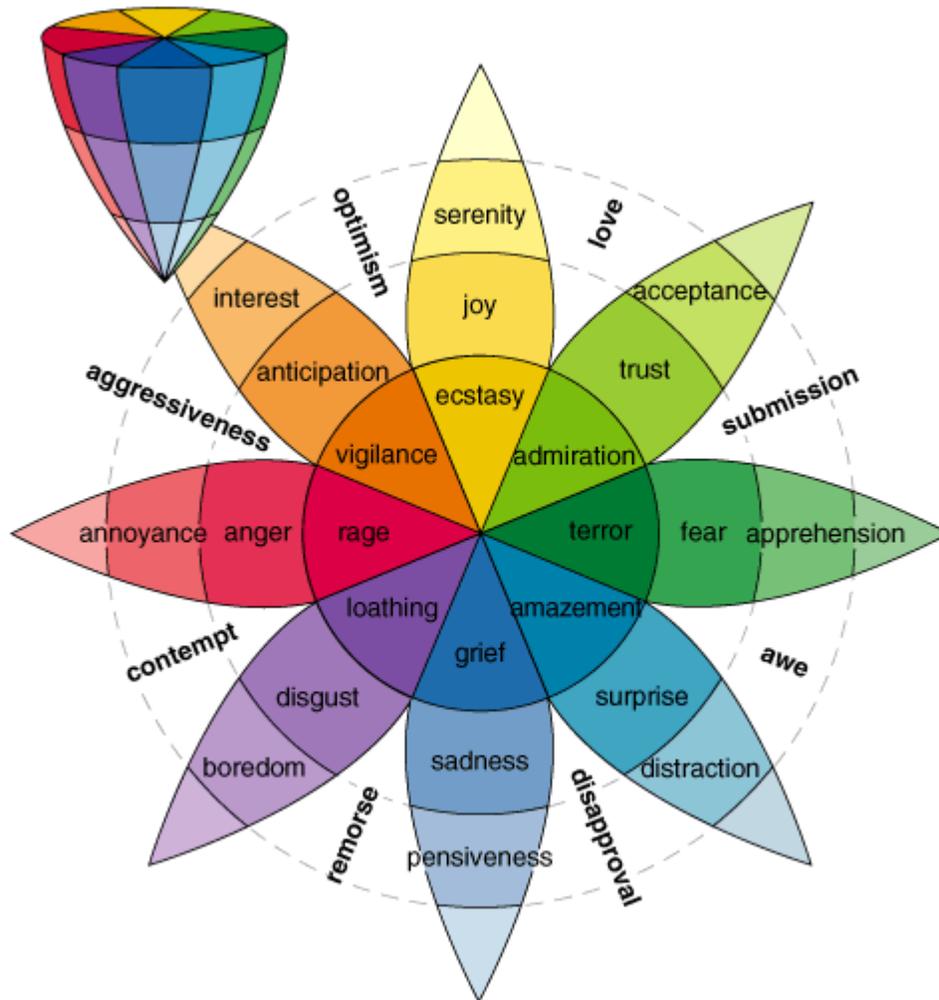


Figure 1.3 : Groupes d'émotions dans la théorie psycho-évolutionniste. © Robert Plutchik, 2001

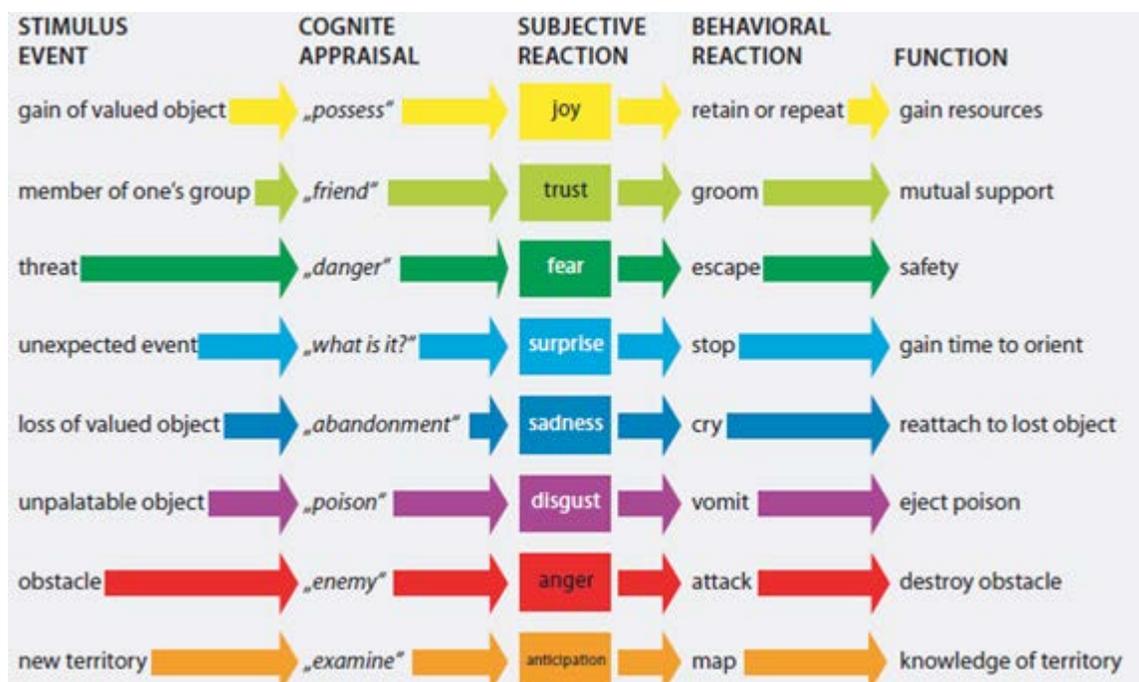


Figure 1.4 : Relations entre stimuli, réactions et fonctions dans la théorie psycho-évolutionniste des émotions de base de Robert Plutchik © Markus Drews, 2007

La frustration est souvent définie comme une émotion pouvant causer de l'irritation ou de la colère et qui est présente lorsqu'un individu tente d'accomplir un objectif et est bloqué. La présence d'un élément bloquant est censée augmenter la vigueur dans la tentative d'atteinte de l'objectif. En se basant sur le modèle psycho-évolutionniste de Plutchik, la combinaison de colère et anticipation formant l'agressivité serait commune avec l'état de frustration obtenu lorsqu'un joueur tente d'atteindre un objectif dans un jeu où il a un blocage l'empêchant d'atteindre cet objectif. Un degré élevé de frustration se rapprocherait de la colère et puis de la rage. Dans le contexte d'un jeu, s'il y a un degré élevé de frustration causant un état de colère ou de rage, un joueur pourrait agir physiquement contre le jeu ou quitter la séance de jeu; sa réaction pourrait avoir des répercussions plus grandes qu'un échec dans le monde virtuel, que ce soit sur le plan financier, social ou autre.

Selon des études sur la motivation et les émotions, la motivation joue un rôle dans le degré d'affectation émotionnelle, donc l'intensité de l'émotion serait corrélée à la force de la motivation, ce qui va dans le sens de la théorie psycho-évolutionniste; notons qu'il peut s'agir de motivation d'approche ou de motivation d'évitement (Le Jeune & Robert, 2012).

## 1.2.2 Motivation

On peut distinguer deux types de motivations selon leurs sources : la motivation intrinsèque et la motivation extrinsèque. La première est dirigée par des besoins personnels, par exemple, explorer par curiosité ou par défis, vouloir s'améliorer ou se cultiver; globalement on recherche l'aspect positif que l'expérience peut procurer. Elle est nécessaire à notre progression en tant qu'être vivant pour nous amener à acquérir de nouvelles connaissances et développer de nouveaux talents. La motivation intrinsèque est personnelle mais elle est également influencée par le monde extérieur, parce que l'individu doit s'adapter au contexte social, cognitif et physique afin de combler ses besoins.

La motivation extrinsèque, quant à elle, est directement liée au résultat externe visé par l'accomplissement d'une activité. Depuis l'enfance, il est attendu qu'une personne va avoir une augmentation graduelle de responsabilités et de règles à respecter qui va former ce type de motivation, que ce soit pour éviter un résultat négatif ou pour obtenir quelque chose d'avantageux; un processus cognitif y est donc davantage présent. La motivation extrinsèque, selon la théorie de l'autodétermination, se manifeste avec une conscience des résultats, même indirecte, suite à une action posée. Une différence majeure entre la motivation extrinsèque et la motivation intrinsèque réside dans l'instrumentalisation de l'activité et des conséquences pouvant être indirectes par rapport à l'accomplissement de cette activité ainsi que dans le contrôle qu'a l'individu sur sa décision d'exécuter ou non l'action (Ryan & Deci, 2000). Dans un contexte de jeu, la volonté de jouer du sujet peut être intrinsèque parce que ça lui procure du plaisir, mais les actions qu'il posera à l'intérieur du jeu sont guidées par des règles auxquelles il pourrait obéir ou non par une motivation extrinsèque qui l'amènerait à gagner, progresser ou explorer. Dans le cadre de tests en laboratoire impliquant un jeu, comme c'est le cas dans notre projet de recherche, chaque motivation a un effet; la motivation intrinsèque peut aller à l'encontre des actions qui sont alors dominées par une motivation extrinsèque qui demande la présence du sujet dans des conditions qui ne sont pas plaisantes pour lui ou elle. Dans tous les cas, les deux types de motivations peuvent interagir ensemble.

La motivation a aussi deux directions : l'approche et l'évitement. Dans les deux cas, il s'agit de la manifestation d'émotions qui fait en sorte qu'un individu se sentira attiré par une action ou un sujet, ou au contraire, il sera porté à s'en éloigner (Berkman & Lieberman, 2010). La motivation

d'approche est généralement associée à des émotions ayant une valence émotionnelle (terme utilisé pour définir une direction affective) positive telle que la joie et l'amusement. Ces émotions nous amènent à nous approcher d'un élément qui est perçu comme pouvant nous faire du bien. La motivation d'évitement serait davantage attachée à des émotions ayant une valence émotionnelle négative comme la peur et le dégoût; ces émotions nous amènent à éviter des situations déplaisantes et nuisibles (Davidson, Saron, Senulis, Ekman, & Friesen, 1990). La motivation n'est pas directement liée à la valence bien qu'elle ait tendance à y être corrélée. La colère est un exemple d'une émotion ayant une valence négative mais pouvant mener à une motivation d'approche puisque l'individu en colère aurait une volonté d'agression envers le stimulus qui le met en colère (Harmon-Jones & Allen, 1998).

### **1.2.3 Engagement et éveil**

L'engagement est un état proche de la motivation et se définit par un niveau d'implication et de stimulation pour accomplir une activité. L'engagement peut être difficile à cerner. Alors que la motivation définit une direction et un niveau d'intérêt envers un stimulus, l'engagement est plutôt compris comme étant un état mental d'immersion dans l'accomplissement d'une tâche. De plus, certaines études établissent une corrélation avec l'éveil (aussi appelée excitation), qui est un état d'attention et de stimulation élevé dans une activité ou qui est causé par un stimulus (Wen & Morris, 2015). L'éveil peut être associé à un sentiment d'ennui, de sommeil et de relaxation dans son état le plus faible et à un sentiment de concentration, de présence et de tension dans son état le plus élevé (Bakker, van der Voordt, Vink, & de Boon, 2014). On tente normalement de distinguer l'engagement par rapport à d'autres traits de la personne. Il serait en partie corrélé avec l'implication dans une tâche, le plaisir et le dévouement affectif, ce qui correspond à la motivation intrinsèque. Il y aurait aussi une relation avec le besoin de performance à la tâche qui montre un effet énergétique plus qu'une simple satisfaction d'accomplissement (Schaufeli, 2013). C'est une mesure qui est fréquemment prise dans les jeux soit au moyen de questionnaires (Bernhaupt, 2010) ou à partir de signaux physiologiques incluant des électroencéphalogrammes (McMahan, Parsons, McMahan, Parberry, & Parsons, 2015) (Wehbe & Nacke, 2013), des mesures de variances cardiaques, le pistage de l'œil (Renshaw, Stevens, & Denton, 2009) ou la conductivité de la peau (Rank & Lu, 2015). Une combinaison de méthodes est vue comme étant plus fiable pour détecter l'engagement (Martey et al., 2014).

## 1.3 Détection et validation des émotions

### 1.3.1 Les signaux physiologiques

L'utilisation d'un casque EEG (électroencéphalogramme) permet d'étudier des construits cognitifs et affectifs. Le casque *Epoc* de la compagnie Emotiv Inc. qui a été choisi pour effectuer les tests de cette recherche est sorti en 2009 et a été utilisé jusqu'à ce jour dans plusieurs études; cela lui confère une certaine validité en recherche. C'est un casque neurologique sans fils. Son marketing a été fait sous la bannière de casque périphérique d'entrée cerveau-ordinateur (BCI input device), en particulier destiné à une utilisation pour les jeux vidéo, par contre son utilisation va bien au-delà des jeux. L'aspect jeu n'est d'ailleurs que très rarement mentionné maintenant. Le domaine des jeux ne semble plus le principal cheval de bataille de la compagnie, vu le nombre d'études validant le casque en recherche et sa difficulté d'utilisation en tant que périphérique pour jouer. Le faible coût pour un casque à 14 électrodes est un des points d'intérêts principaux. Une version recherche du casque était vendue 500 \$ USD en 2009-2010 et la dernière version *Epoc+* que la compagnie offre maintenant coûte 800 \$ USD. La simplicité d'utilisation et d'installation est un autre facteur majeur, puisque c'est un système à senseurs humidifiés à l'eau saline qui est facile à positionner. Un nouveau casque, le *Insight*, comprenant cinq électrodes à sec, est très intéressant parce qu'il est simple à utiliser et qu'il ne coûte que 300 \$ USD. On a choisi le casque *Epoc* pour notre recherche pour des raisons de support par la communauté et de faible coût. La qualité du matériel et des signaux obtenus est généralement bonne malgré une plus faible précision qu'avec les équipements de type médical (Duvinaige et al., 2013). Dans une étude de Debener *et al.*, on a utilisé un casque Emotiv *Epoc* modifié en remplaçant des composantes et en mettant le matériel dans un bonnet EEG, qui s'avère très fonctionnel avec les ERP même en dehors d'un laboratoire de test (Debener, Minow, Emkes, Gandras, & de Vos, 2012). D'autres études utilisent le casque tel qu'il est, démontrant sa validité en recherche (Badcock et al., 2013) (Ekanayake, 2010).

Les 14 électrodes du casque *Epoc* sont principalement situées aux environs du lobe frontal avec la zone antérieure-frontale (AF3 et AF4), frontale (F3, F4, F7 et F8), fronto-centrale (FC5 et FC6); les autres parties de la tête comprennent des électrodes dans le lobe temporal (T7 et T8),

pariétal (P7 et P8) et occipital (O1 et O2) tel qu'on peut le voir avec la figure 1.5. Les électrodes sont nommées selon le positionnement standard « 10-20 », un système reconnu internationalement qui indique un pourcentage (10% ou 20%) de la distance entre les électrodes adjacentes selon la longueur ou la largeur de la tête. Les lettres des emplacements correspondent aux premières lettres des zones associées, les chiffres ont des valeurs plus élevées dans les extrémités, et puis les nombres impairs sont à gauche et les nombres pairs sont à droite. CMS (common mode sens) et DRL (driven right leg) sont deux électrodes de références qui captent les bruits ambiants n'ayant pas de contact direct avec la tête, le bout de l'électrode étant en plastique. Elles permettent d'apporter des ajustements aux signaux de toutes les électrodes afin que les signaux soient ramenés à une moyenne centrée selon ces bruits captés.

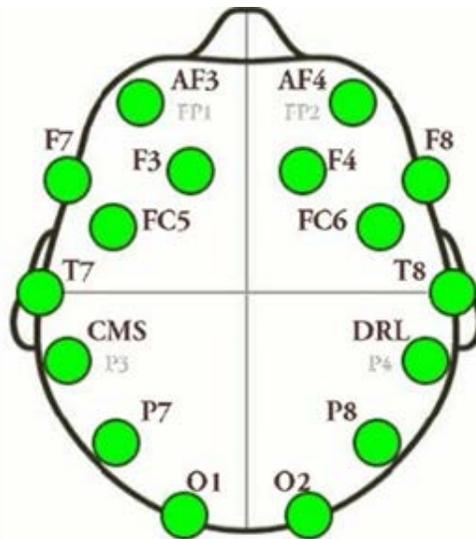


Figure 1.5 : Emplacement des électrodes du casque *Epoc* de la compagnie *Emotiv* © *Emotiv*, 2013

### 1.3.2 Validation des émotions

La méthode d'évocation des émotions est une partie importante des projets sur l'étude des émotions; plusieurs méthodes ont été développées pour obtenir des émotions désirées avec une bonne constance. Les systèmes informatiques permettent d'avoir un bon contrôle sur la

présentation de stimuli et les jeux ont l'avantage d'engager les sujets dans des tâches qui peuvent leur paraître significatives au moment des tests. Entre autres, l'informatique affective qui cherche à reconnaître les émotions des usagers pour pouvoir s'y adapter, s'applique bien au domaine des jeux (Tiago Manuel Rocha, 2011). Dans l'étude sur l'informatique affective de Scheirer, Fernandez, Klein et Picard (2002) deux signaux physiologiques ont été mesurés, soit la pression sanguine et la conductivité de la peau. La frustration a été créée en bloquant l'atteinte d'objectifs de l'utilisateur lors d'un jeu comprenant des délais qui donnent l'impression que le système a un problème (Scheirer, Fernandez, Klein, & Picard, 2002). Bien qu'un effet de frustration soit détecté lorsqu'on bloque le sujet dans ses tâches, ce type de test n'aurait pas été idéal pour ma recherche étant donné que cette frustration ne peut pas avoir d'influences positives sur l'utilisateur, puisque dans ce cas le joueur peut reprocher au système d'être défectueux plutôt que d'avoir une agressivité causée par une erreur commise par lui-même, donc reliée à ses incapacités. Le fait de directement relier la punition ou le blocage à une mauvaise manœuvre plutôt qu'à simulation de système défectueux est important puisque dans le cas de ma recherche; lors d'une erreur, il se peut que le joueur ait battu son meilleur pointage, ce qui devrait pouvoir agir à la fois comme du renforcement positif et une punition.

Les émotions inférées à partir des expressions faciales, des comportements ou de données physiologiques sans l'aide de technologie, sont sujettes à des biais et à notre capacité limitée à comprendre les émotions. L'utilisation de technologies de pointe pour capter et interpréter les signaux physiologiques vient alors en aide pour mieux identifier des expériences émotionnelles (Le Jeune & Robert, 2012). La signification des signaux obtenus avec le casque EEG doit être validée. Une façon de le faire est d'utiliser un système validé d'images produisant un effet affectif tel que le système international d'images affectives (IAPS). Son utilisation permet d'obtenir soit un niveau d'excitation ou une valence positive ou négative selon l'image. Certaines images peuvent choquer ou exciter, plaire ou déplaire (Rozenkrants & Polich, 2008).

En recherche, on utilise aussi la base de données d'images affectives de Genève (GAPED). Celle-ci comprend 730 images qui ont été sélectionnées puis évaluées selon leur valence positive/négative et le niveau d'excitation avec des scores correspondant pour chacune des images. Le pointage résultant de l'évaluation a été mis sur une base de 100 et ce pointage est

fourni avec la banque d'images. Des groupes d'images ont été formés selon les thèmes et l'effet affectif provoqué, soit quatre groupes négatifs (serpents, araignées, violence animale et misère humaine), un groupe neutre (des images d'objets sans lien affectif) et un groupe positif (des bébés humains et chatons). Les images du groupe négatif ont une valence plus basse que les autres (<50 dans l'échelle de 0 à 100), les groupes positifs ont une valence plus élevée (>70) et les groupes neutres ont une valence se situant autour de 50. Le niveau d'excitation varie d'une image à l'autre mais il est généralement plus élevé dans le cas des images à valence négative (Dan-Glauser & Scherer, 2011).

La validation peut se faire aussi par questionnaire. Un test de type "self-assessment manikin" (SAM) a été créé pour évaluer trois construits émotionnels, respectivement en allant du haut vers le bas pour les construits et de gauche à droite pour les valeurs selon la figure 1.6, le plaisir/valence émotionnelle (de positif à négatif), l'éveil (d'élevé à faible) et la sensation de dominance/contrôle (de faible à élevé). Le questionnaire SAM peut être utilisé pour vérifier l'état émotionnel du sujet à diverses périodes lors d'une expérimentation suite à la présentation de stimuli. La technique provient de l'échelle sémantique différentielle créée par Mehrabian et Russell en 1974 qui comprenait une série de questions afin de déterminer ces mêmes construits. Les termes utilisés dans le questionnaire n'avaient cependant pas une interprétation assez universelle selon les créateurs du système SAM (Bradley & Lang, 1994).

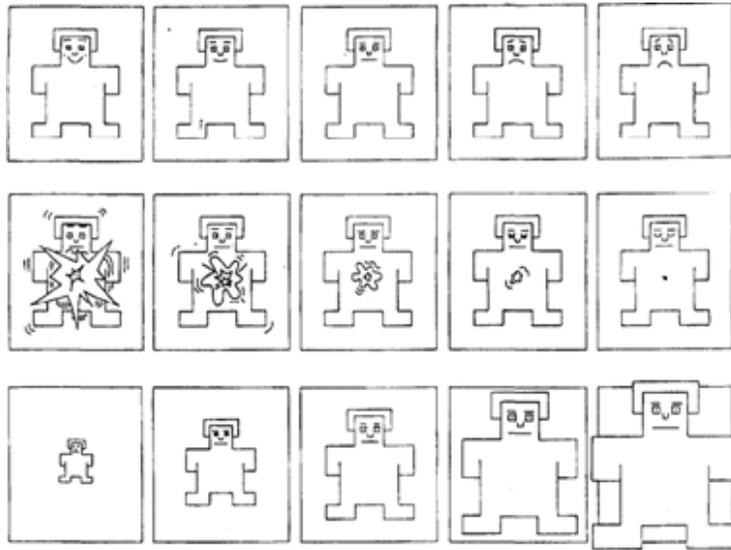


Figure 1.6 : Pictogrammes de l'échelle SAM pour évaluer, sur une échelle de cinq points, la valence, l'éveil et la dominance. (Bradley & Lang, 1994)

On peut vérifier l'efficacité du système SAM au moyen de données EEG. Par exemple, une valence positive aura un effet sur la bande alpha dans le lobe frontal et la bande beta dans le lobe pariétal droit qui auront une puissance, en moyenne, plus élevée que pour une valence négative. L'éveil est mesurable avec une puissance beta plus élevée dans le lobe pariétal, et une activité alpha plus basse. On peut mesurer la dominance avec une augmentation de l'activité de bandes de fréquences alpha et beta dans le lobe frontal et une augmentation de la bande beta dans le lobe pariétal (Oude Bos, 2007).

Il serait pertinent de mieux connaître les sujets puisqu'une image ou une vidéo n'aura pas le même effet d'une personne à une autre. Un test adapté risque davantage de provoquer l'effet voulu. Par contre, il est possible que le sujet ne réponde pas sincèrement dans un questionnaire surtout si l'aspect émotif en jeu porte sur des phobies voire des déviances. De plus, il pourrait être important de connaître l'état d'esprit du sujet (ex., dépression, anxiété, manque de sommeil). Un questionnaire biographique a été fait pour nos tests avec une concentration sur la fatigue, la motivation et les aptitudes avec les jeux, le tout davantage en lien avec la seconde expérimentation que la première qui contient le test SAM.

### **1.3.2 Asymétrie frontale, motivation, frustration et valence**

L'asymétrie du cortex frontale a été étudiée dans plusieurs contextes, notamment lors du visionnement de vidéo. Une motivation d'approche plus grande a été décelée pour des publicités avec animation comparativement à des publicités sans animation (Ohme, Reykowska, Wiener, & Choromanska, 2010). D'autres études se basent sur des images et utilisent l'EEG pour identifier les états émotionnels. Souvent il s'agit de la banque d'images IAPS (International Affective Picture System), qui ont été pré-évaluées selon leur effet sur la valence, l'éveil/excitation et la dominance avec la méthode SAM (self-assessment manikin). Les images sont présentées pendant 500 millisecondes suivies par un écran noir pendant 2250 millisecondes et précédées par une croix pendant 750 millisecondes que le sujet doit fixer. Un effet dans le cortex frontal et dans la bande beta a été défini comme étant un effet de valence affective causé par les images visualisées (Hidalgo-Muñoz et al., 2017). Les ERP (potentiels évoqués) ont aussi été utilisés avec succès pour montrer l'effet de motivation (d'approche et d'évitement) avec le visionnement des images (Hajcak & Dennis, 2009).

L'étude de la motivation peut être faite avec plusieurs méthodes, incluant l'asymétrie des hémisphères du cerveau. Cette méthode peut servir à définir le type de motivation ou la valence émotive associée à l'étude de la latéralisation frontale. À partir de données recueillies selon cette méthode, des chercheurs ont pu étudier des émotions telles que la colère, la peur, la tristesse, la joie et l'excitation. La colère et la frustration ont été des sujets d'intérêt puisqu'elles présentent une complexité intéressante par rapport à d'autres émotions puisque ce sont des émotions négatives pouvant causer une motivation d'approche (Oude Bos, 2007). Des techniques de classification ont été utilisées pour mieux maîtriser ce qui est testé.

Il est à noter qu'une différence entre les sujets peut donner des effets différents pour un même stimulus. Une étude de Thomas Holtgraves (2013) soulève ce point avec des résultats montrant une variance du niveau d'éveil utilisant des mesures d'asymétrie frontale avec des stimuli à associations sémantiques (Holtgraves, 2013).

L'étude de l'asymétrie de l'activité des hémisphères du cerveau a une base dans l'analyse des fréquences. Les bandes de fréquences sont associées à certains types d'activités, par contre les

fréquences comprises entre les bandes varient selon la littérature. L'engagement et la motivation sont notamment situés autour de Beta, entre 12 et 25 Hz, ou Gamma soit 25 Hz et plus (Davidson, 2004). Les ondes Beta sont associées à une concentration dans l'accomplissement de tâches et lors de pensées complexes. Dans certaines études, la motivation est observée dans la bande alpha soit entre 8 et 13 Hz (Allen, Iacono, Depue, & Arbisi, 1993) (Schaffer, Davidson, & Saron, 1983) et l'engagement avec Thêta, entre 4 et 7 Hz (McMahana, Parberry et Parsons 2015). La puissance des ondes de la bande Alpha a un effet négatif sur des traits d'éveil, d'engagement et de motivation, et elle est notamment élevée lors d'un état de relaxation, donc, par exemple, plus cette onde est basse plus l'engagement est élevé. Dans le cas de Thêta, une forte activité est signe d'activation de la mémoire ou d'apprentissage (iMotions, 2016). L'engagement et la motivation sont situés au niveau du cortex frontal du cerveau. La latéralisation à gauche est induite par une émotion positive, correspondant à l'engagement et la motivation d'approche (Davidson, 2004) (Schaffer et al., 1983). Des émotions à valence négative, comme la tristesse, causent normalement une motivation d'évitement, et elles agissent principalement dans l'hémisphère droit du cerveau. Par contre, la colère a une particularité intéressante, puisqu'elle aurait une valence négative, donc théoriquement un effet plus marqué dans l'hémisphère droit, mais, réellement à cause d'un désir d'agressivité, elle est la source d'une motivation d'approche qui cause un effet plus marqué dans l'hémisphère gauche. Cette découverte a ajouté un niveau de complexité plus grand dans la détection des émotions en distinguant une différence dans les effets de la motivation et de la valence lors de l'étude de l'asymétrie frontale (Harmon-Jones & Allen, 1998).

L'utilisation des métriques de valence (qui est en fait une mesure de la motivation), d'engagement, et d'excitation revient dans plusieurs études et celles-ci peuvent être calculées avec des valeurs de bandes fréquences alpha, beta et thêta, avec les électrodes F3 et F4 et souvent F7 et F8 des électrodes frontales. Dans une étude de McMahana, Parberry et Parsons (2015) des mesures d'engagement, d'éveil et de valence ont été faites avec un casque EEG lors de sessions de "Super Meatboy", un jeu de plateforme considéré difficile et parfois frustrant. Cette étude révèle qu'il y a des effets d'augmentation d'engagement et d'éveil lors d'événements de mort de l'avatar du joueur par rapport aux moments où l'avatar du joueur est en vie, alors que la valence décroît. Les électrodes F3 et F4 ont été utilisées pour faire des calculs des traits. L'ordre des

électrodes dans les calculs d'asymétrie est important pour distinguer la direction de la motivation (approche ou retrait) ou le signe (positif ou négatif) de la valence. Les calculs ont été faits avec ces formules :

$$\text{Engagement} = \text{Beta} / (\text{Alpha} + \text{Thêta})$$

$$\text{Éveil} = (\text{BetaF3} + \text{BetaF4}) / (\text{AlphaF3} + \text{AlphaF4})$$

$$\text{Valence} = (\text{AlphaF4} / \text{BetaF4}) - (\text{AlphaF3} / \text{BetaF3})$$

Dans ces formules, « Beta », « Alpha » et « Thêta » sont des moyennes des valeurs en puissance provenant de toutes les électrodes du casque EEG alors que « BetaF3 », « BetaF4 », « AlphaF3 » et « AlphaF4 » sont des moyennes des valeurs en puissance provenant des électrodes F3 et F4 selon le cas.

Dans la formule d'éveil, pour que l'indice soit élevé, les valeurs de puissance de la bande alpha et de la bande thêta dans le cas de la formule d'engagement doivent être au plus bas, puisqu'elles sont en contradiction avec les indices mesurés. Pour la formule de valence, l'asymétrie détermine le sens et la force de l'indice et dans ce cas, l'inactivation à droite en comparaison avec la gauche signifie une valence positive et l'inactivation à gauche en comparaison à la droite signifie une valence négative.

Selon leur recherche, les indices d'engagement et d'éveil sont des marqueurs de l'état de flow avancé par Mihaly Csikszentmihalyi. Notamment, un état d'éveil et d'engagement plus élevé a été constaté lors d'événements de morts dans des jeux comparativement aux sessions de jeux lorsque le personnage est en vie. Cette recherche est limitée par le fait que l'événement de mort peut être court et généralement ressenti de façon plus intense que la session de jeu puisqu'un joueur a plein contrôle sur le personnage et peut attendre ou planifier une séquence ou tenter des approches au hasard pour surmonter les niveaux, ce qui réduirait la moyenne des index d'engagement et d'éveil des sections de jeu avec le personnage vivant. Aucune mention n'a été faite des actions précises du joueur (McMahan, Parberry, & Parsons, 2015). Notre projet de recherche reprend en partie cette problématique avec quelques différences incluant de l'action constante, plusieurs niveaux de difficulté, et des états de systèmes qui diffèrent pour mieux cibler l'effet d'une mort ou d'un échec dans une partie.



## **CHAPITRE 2 OBJECTIF, LOGIQUE, HYPOTHÈSES ET MÉTHODOLOGIE DU PROJET DE RECHERCHE**

Ce chapitre présente les objectifs, les questions de recherche et la méthodologie de notre projet de recherche.

### **2.1 Objectif de recherche**

L'objectif de cette recherche est de voir si la frustration causée par un échec dans un jeu vidéo aura un impact positif sur la motivation d'approche, l'éveil et l'engagement du joueur, tels que détectés par les signaux physiologiques de l'EEG. Le focus de la recherche est sur les signaux physiologiques (alors qu'il aurait été beaucoup plus simple et moins coûteux de recueillir des données subjectives par entrevues ou questionnaires post-expérimentation).

### **2.2 Logique de la recherche**

La logique de la recherche est la suivante :

- Le joueur joue à un jeu vidéo à haute intensité, l'intensité étant définie par la vitesse du jeu (voir la figure 2-1); ses résultats de performance peuvent être affichés ou non;
- Le jeu a trois niveaux de difficulté : facile, modéré, difficile;
- L'augmentation du niveau de difficulté provoque des échecs du joueur : en moyenne entre 0 et 3 échecs pour le niveau facile, une dizaine d'échecs pour le niveau modéré, et plus de 40 échecs pour le niveau difficile. Dans certains cas, les échecs sont suivis d'une punition sévère telle que l'arrêt du jeu et la perte des points accumulés (remise à 0); dans d'autres cas, les échecs ne sont pas suivis d'une telle punition de sorte que le jeu se poursuit et il n'y a pas de remise à zéro des points.
- On postule que les échecs créent de la frustration chez le joueur qui voudra alors relever le défi de faire mieux;
- La volonté de relever le défi va accroître la motivation d'approche, l'éveil et l'engagement du joueur.

## 2.2.1 Hypothèses

Cette recherche va permettre de tester les trois hypothèses suivantes :

H1 - L'augmentation du degré de frustration créée par l'échec au jeu aura un impact positif sur la motivation du joueur.

H2 - L'augmentation du degré de frustration du joueur créée par l'échec au jeu aura un impact positif sur l'engagement du joueur.

H3 - L'augmentation du degré de frustration du joueur créée par l'échec au jeu aura un impact positif sur l'éveil du joueur.

H0 - L'augmentation du degré de frustration du joueur créée par l'échec au jeu aura un impact nul sur la motivation (H01), l'éveil (H02) et l'engagement du joueur (H03).

La variable indépendante, qui est le degré de frustration du joueur, sera manipulée au moyen du niveau de difficulté du jeu. Elle est le point de départ de plusieurs relations de cause à effet :

- plus le niveau de difficulté du jeu sera élevé, plus le joueur aura d'échecs;
- plus il aura d'échecs, suivis de punitions sévères, plus il sera frustré;
- plus il sera frustré, plus il voudra relever le défi de surmonter la difficulté;
- plus il voudra surmonter la difficulté, plus il y aura un impact positif sur les trois variables dépendantes : la motivation, l'éveil et l'engagement.

## 2.3 Méthodologie

Cette section décrit la procédure des expérimentations que nous avons effectuées, les logiciels que nous avons utilisés et les procédés d'analyse. Les détails sur les protocoles utilisés sont disponibles dans l'annexe A.

### 2.3.1 Procédure expérimentale

Le sujet est assis devant un écran d'ordinateur, les mains sur un clavier. Un casque EEG Emotiv EPOC est installé sur sa tête pour toute la durée de l'expérimentation.

Dans un pré-test, des images de la base d'images "GAPED" sont présentées au sujet pendant 10 secondes avec des pauses de trois secondes avant la présentation de chaque image où, à l'écran, une mire est présente. Le sujet doit fixer la mire qui sert de ligne de base neutre dans le captage de signaux. Des images plus fortes (selon les données fournies avec les images) en termes de valence positive, valence négative, éveil, ainsi que de neutralité quant à la valence avec un niveau d'éveil noté comme étant faible, ont été choisies pour s'assurer d'un effet physiologique clair sachant que le nombre de sujets serait limité. Des images moins situées dans les extrêmes risquaient d'engendrer des résultats plus ambigus. Les durées de présentation des images sont inspirées d'expérimentations faites dans le domaine (Winkler, Jäger, Mihajlović, & Tsoneva, 2010); pour la présentation de la mire et des images, elles sont respectivement de trois secondes et de six secondes. Par contre, la durée de présentation des images a été allongée à 10 secondes sur la base des recommandations de l'étude de Davidson *et al.* (1990) (Davidson et al., 1990). À noter que dans leur cas, l'objectif était d'avoir les 10 secondes consécutives sans artefacts, chose qui s'avéra inconstante dans notre recherche pour des raisons expliquées plus loin.

La première expérimentation sert de test de validation des signaux physiologiques recueillis avec le casque. Le sujet doit alors noter sa réaction émotionnelle basée sur le système SAM pour l'excitation et la valence. Pour ce faire, il doit appuyer sur les touches de "1" à "5" pour chacune des questions à la suite de chaque présentation d'image. On demande au sujet d'avoir les mains posées près des touches "1" à "5" du clavier en tout temps. La séquence de test est divisée en deux blocs.

Une suite de trois images est présentée en guise de test pour s'assurer de la bonne compréhension de l'expérimentation, puis une suite de 20 images au hasard (cinq par type, valence positive, valence négative, excitation et neutralité) est présentée avec deux parties du questionnaire SAM, soit pour la valence et l'excitation, pour chaque image. Pour chaque catégorie d'images et note donnée avec le test SAM, un événement est enregistré qui sera mis à la fin dans un fichier ".csv" et un marqueur différent selon le type d'image est envoyé au logiciel de captage de signaux physiologiques *Pure.EEG* lors de la présentation de chaque image.

La deuxième expérimentation est sous forme de jeu vidéo (figure 2.1) dans lequel le sujet, qui contrôle un carré bleu, doit éviter des carrés rouges qui vont de haut en bas tout en évitant de

passer au travers des murs de chaque côté. La moyenne et le nombre d'échecs sont affichés après chaque essai qui se termine s'il y a collisions avec les blocs rouges ou les murs. Certains tests ne montrent pas les indices de performance ou les collisions qui causent les échecs. Trois niveaux de difficulté sont présents : le facile causera peu d'échecs (entre 0 et 3), le modéré causera en moyenne une dizaine d'échecs, et le difficile causera, en moyenne, plus de 40 échecs, ce qui pose un grand défi pour le joueur. La séquence d'expérimentation est divisée en 13 blocs incluant un bloc de pratique. Le bloc de pratique sert à juger les capacités du sujet et son apprentissage des mécaniques simples du jeu. Les tests subséquents sont basés sur les performances détectées dans le bloc de pratique selon le taux de réussite moyen; la difficulté sera ajustée selon trois niveaux. Le balancement des niveaux d'adaptation a été fait avec des tests effectués par des sujets de différents niveaux pour tenter d'avoir un effet progressif similaire dans les trois niveaux de difficulté (facile, moyenne et difficile) pour un joueur de bas niveau, un joueur moyen et un joueur vétérans. L'adaptation du niveau de difficulté en se basant sur le taux de réussite des sujets au bloc de pratique est due au besoin d'avoir des expériences émotionnelles similaires entre les sujets et, puisque leur niveau de performance diffère, cette adaptation est jugée nécessaire.

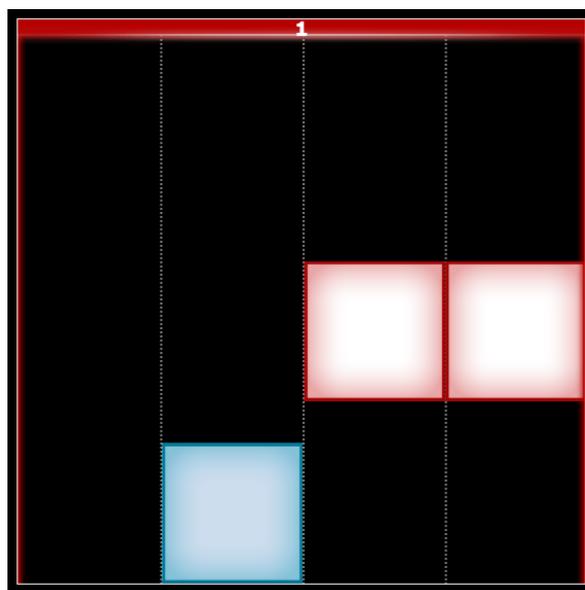


Figure 2.1 : Capture d'écran du jeu de l'expérimentation 2

Les 13 blocs ont chacun une durée de 90 secondes de jeu. Le temps d'échec et entre les blocs n'est pas cumulé dans ce total. Entre chaque bloc, un écran de résultats du bloc précédent, un écran d'instructions et une mire au centre de l'écran que le sujet doit fixer sont présents.

On peut voir dans le tableau 2.1 la séquence des blocs de l'expérimentation 2. Dans les tests avec affichage des indices de performance, il y a un compteur de rangées passées avec succès en haut de l'écran pendant le jeu et lors d'échecs causant un arrêt, le pointage courant et le record sont affichés puis, le pointage courant est réinitialisé à zéro pour le prochain essai. Sinon, lors d'échecs causant un arrêt et sans indice de performance, seul le mot « échec » est affiché. Lorsqu'un échec ne cause pas d'arrêt, le jeu continue, le joueur n'obtient pas de point pour la rangée avec une collision et il voit son carré et le carré touché clignoter d'une couleur rouge. À la fin des blocs, la moyenne du pointage et le record obtenu (seulement si les collisions causaient un arrêt et réinitialisation de pointage) ainsi que le nombre d'échecs sont présents.

Tableau 2.1 : Séquence des blocs de l'expérimentation 2

ID du bloc	Niveau de difficulté	Collision cause échec	Présence d'indices de performance
0	*Pratique	oui	oui
1	Facile	oui	oui
2	Modéré	oui	oui
3	Difficile	oui	oui
4	Facile	non	oui
5	Modéré	non	oui
6	Difficile	non	oui
7	Facile	oui	non
8	Modéré	oui	non
9	Difficile	oui	non
10	Facile	non	non
11	Modéré	non	non
12	Difficile	non	non

\*Le bloc de pratique a un niveau de difficulté modéré non ajusté, les autres blocs sont ajustés selon la performance du sujet au bloc de pratique.

Le sujet doit répondre rapidement et viser à améliorer sa performance en battant son meilleur pointage dans chaque bloc.

Le sujet devait être confronté à :

- des tâches faciles, moyennes et difficiles où le succès (battre son record) n'est pas clairement identifiable;
- des tâches faciles, moyennes et difficiles où le succès est identifiable;
- des tâches faciles, moyennes et difficiles où l'échec est punitif, fait perdre son pointage cumulé et arrête la partie;
- des tâches faciles, moyennes et difficiles où l'échec a peu d'effet et ne rajoute simplement pas de point.

L'objectif de cette expérimentation est de voir s'il y a progression de la motivation, de l'engagement et de l'éveil dans chaque cas, et de comparer les résultats.

### 2.3.1.1 Sujets

Au total 12 sujets ont participé aux expérimentations mais les résultats de sept d'entre eux ont dû être rejetés, cinq à cause d'un problème logiciel dû à une incompatibilité du type de donnée transféré dans une version des expérimentations et deux à cause d'une mauvaise qualité des signaux. Les résultats rejetés ont néanmoins permis de faire des ajustements et d'améliorer l'expérimentation et les questionnaires. Au final, les résultats proviennent donc de cinq sujets. Cela est très peu et ne permet pas de tirer des conclusions fortes. Sur les cinq sujets, quatre sont droitiers et un est de dominance gauchère, se considérant lui-même comme ambidextre. Il peut y avoir une différence d'asymétrie frontale entre les droitiers et les non-droitiers, soit une activité dans l'hémisphère droit plus forte chez les non-droitiers (Propper, Pierce, Geisler, Christman, & Bellorado, 2012), cependant Pérez-Edgar *et al.* (2013) n'ont pas vu d'effet de la latéralisation dans leur étude (Pérez-Edgar, Kujawa, Nelson, Cole, & Zapp, 2013). Sur cette base et puisque nous étudions les bandes fréquences, l'asymétrie frontale et les effets émotionnels de chaque sujet de façon indépendante, le sujet gaucher a été retenu comme les sujets droitiers.

### 2.3.1.2 Lieu des expérimentations

Les expérimentations ont été faites dans un local de Polytechnique Montréal. Pour réduire les interférences électriques, on a éteint tous les appareils électriques mis à part l'ordinateur de test, la climatisation et un routeur. La salle n'est cependant pas une cage de Faraday qui bloquerait complètement les signaux extérieurs.

Il est important d'avoir une salle qui limite les bruits électromagnétiques pour avoir moins d'artefacts à filtrer et éviter de masquer les composantes et les facteurs intéressants. La salle doit idéalement être éclairée avec des lumières DC telles que des LED plutôt que AC, et l'alimentation électrique doit être loin du sujet ou hors de la salle, puisque la conversion génère beaucoup de bruit électrique. La salle choisie a de grandes fenêtres givrées qui permettent un faible éclairage ambiant avec des sources de lumières distantes et naturelles, alors l'éclairage DC a été jugé superflu. La salle doit avoir une température ambiante confortable, puisque la sueur pourrait causer un effet visible dans les signaux recueillis. La pièce utilisée a un système de climatisation qui a pu maintenir une température fraîche (Luck, 2005).

### 2.3.1.3 Casque pour l'EEG

Le casque Emotiv Epop est utilisé. Il possède 14 électrodes situées aux sites AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4 ainsi que deux électrodes placées sur des sites de références près de P3 et P4 qui servent à annuler le bruit de fond. Le positionnement des électrodes est fait selon le guide d'utilisation. Les électrodes sont des senseurs possédant des coussins humidifiés avec une solution saline qui fait la conduction électrique. Les coussins sont en polyester, les plaques de métal dans les senseurs sont en acier inoxydable plaqué d'or revêtu d'un matériau non polarisable de qualité électrolytique dans un hôte de polymère et les plaques de contacts sont faites de cuivre de béryllium plaqué d'or. L'installation se fait assez rapidement grâce à l'utilisation d'un boîtier d'hydratation fourni avec le casque qui permet d'humidifier tous les coussins à la fois; il est possible de les humidifier dans un contenant tel un bocal, qui est encore plus simple [2].

N'ayant pas d'électrodes utilisées comme un électro-oculogramme avec le système Epop d'Emotiv, on peut néanmoins soustraire les ondes associées aux mouvements des yeux à l'aide d'une analyse en composantes indépendantes (ACI), qui permet de décomposer et grouper entre elles les ondes similaires afin d'obtenir des groupes indépendants qu'on appelle composantes. Une ACI dans EEGlab (voir l'annexe pour les détails) a été utilisée pour détecter les mouvements et les clignements des yeux ainsi que certains mouvements musculaires en les séparant comme des composantes indépendantes qui ont pu être par la suite soustraites des ondes.

Le casque permet un enregistrement à 128 échantillons par secondes avec une fréquence interne de 2048 Hz. Un ordinateur portable connecté a été utilisé pour limiter les composantes pouvant émettre des signaux électromagnétiques. Une connexion internet est requise pour l'utilisation du logiciel de captage. Une connexion câblée a été utilisée. Un adaptateur Wifi est aussi présent pour communiquer avec le casque, puisqu'il ne fonctionne pas s'il est connecté avec un câble.

### 2.3.1.4 Logiciels

#### *Air/Flash/Starling*

Pour les expérimentations, Adobe Air et la librairie Starling ont été utilisés. Particulièrement pour la seconde expérimentation, leur utilisation facilita la création d'une application dynamique qui

pourrait bien utiliser l'effet de flow et aussi avoir une base minimale dans ce qui serait considéré comme du "game feel". Ce concept est décrit par quelques développeurs de jeux parfois aussi sous le nom de "screenshake" ou "juice" qui consiste à créer de l'immersion avec des effets spéciaux, des sons, des animations, des mouvements de caméras ou des contrôles qui vont apparaître au joueur comme ajoutant une valeur excitante et engageante au jeu. Dans notre expérimentation, l'effet de « game feel » a une présence minimale avec les animations simples et des contrôles réactifs de façon constante dans l'expérimentation.

Des marqueurs sont placés dans des endroits clefs pour l'étude, c'est-à-dire au début de chaque séquence de jeu, lors d'échec, lors de l'obtention de nouveau record à la fin d'une séquence de jeu, et à la fin des séquences de jeu. Des marqueurs différents sont aussi notés pour chacune des 12 configurations des blocs d'expérimentations. Ces marqueurs permettent de décomposer les séquences d'événements. L'analyse se fera en fréquence/puissance basé sur ces séquences décomposées. De plus, des statistiques sont sauvegardées pour mieux étudier les phénomènes observés et comprendre de potentielles anomalies. Une représentation sous forme de schéma des relations entre les logiciels et matériels utilisés dans des expérimentations est visible à la figure 2.2.

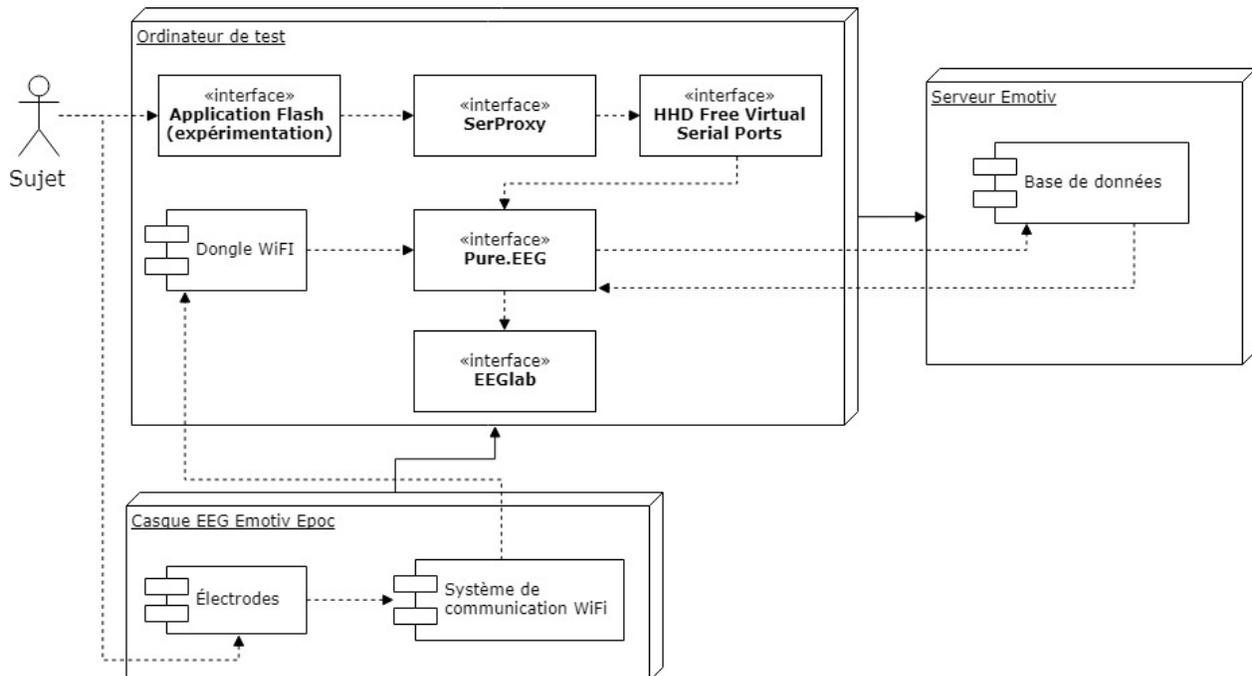


Figure 2.2 : Schéma des relations entre les logiciels et matériels utilisés dans nos expérimentations

### *Serproxy*

Un programme de type proxy permet de rediriger des connexions vers ou depuis des ports séries. Son utilisation est pour permettre une communication de l'application Air au port série virtuel lors de l'envoi des marqueurs au logiciel de capture [2].

### *HHD Free Virtual Serial Ports*

L'application permet de simuler des ports séries et est utilisée pour permettre une communication avec des logiciels qui requièrent de tels ports lorsque la configuration matérielle n'en possède pas. Elle sert à envoyer les événements à partir de l'application Air à l'application qui fait la saisie de données du casque EEG sur le même ordinateur. Le délai a été jugé assez petit pour utiliser ce système puisque l'analyse se fait en fréquence/puissance moyennée avec des marges de temps assez grandes pour qu'une faible variation de latence n'affecte pas les résultats [3].

### *Emotiv Pure.EEG*

Ce logiciel est de la même compagnie que le casque EEG que nous avons utilisé. Son coût est de 50 \$ USD pour 50 enregistrements par mois. Il retourne des données des ondes pures non-filtrées. La qualité de connexion de chaque électrode peut être vérifiée avec cette application ou avec *Xavier Control Panel* avec un système de quatre états (noir, rouge, jaune, vert) soit, d'aucune connexion à très bonne connexion. Une calibration peut être faite de façon préliminaire avec des outils de ces deux applications qui donneront le niveau d'engagement et la valence en temps réel.

Le logiciel connaît quelques problèmes mineurs et majeurs. L'application communique en ligne avec ce qui semble être des processus cachés et donc un pare-feu peut avoir de la difficulté à laisser passer l'application, et puisque la connexion est nécessaire pour l'enregistrement, c'est un problème qui demande de réduire la sécurité d'un système. Aussi, il arrive que le logiciel n'enregistre pas, ou pas directement, les données en ligne; ces données peuvent devenir irrécupérables.

Au moment d'écrire ce rapport, *Pure.EEG* a été remplacé par *EmotivPro* qui coûte maintenant 100 \$ USD par mois mais permet un nombre d'enregistrements illimité et des enregistrements hors ligne, ce qui devrait corriger les problèmes mentionnés [4].

### *EEGLab*

C'est une boîte à outils pour le logiciel Matlab qui sert à faire du traitement de données provenant d'électroencéphalogrammes (EEG), de magnétoencéphalogrammes (MEG) ainsi que d'autres signaux électrophysiologiques. Il offre divers outils qui incluent des méthodes de traitements de signal comme l'analyse en composantes indépendantes (ACI), l'analyse temps / fréquence, le rejet d'artefacts avec plusieurs fonctions automatisées. La boîte à outils permet la visualisation des données sous plusieurs formes, soit des ondes, des cartes avec un modèle de tête 2D ou 3D, spectre de l'image ERP ("event-related potential", soit le potentiel évoqué) ou autre. L'outil permet aussi l'ajout d'outils pour étendre ses capacités. Il est également possible d'appeler des fonctions par le biais de Matlab directement ce qui permet d'utiliser des séries de fonctions pour accélérer le traitement et éviter des manipulations manuelles. Les procédures utilisées et le code pour faire l'analyse sont disponibles à l'annexe A (Delorme & Makeig, 2004).

#### **2.3.1.5 Questionnaires**

Des questionnaires ont été créés pour s'assurer de la fiabilité des tests et recueillir des données biographiques à propos des sujets, notamment leur expérience avec les jeux, puisque des cas extrêmes (soit très bons ou très mauvais joueurs) pourraient potentiellement changer la perception et les émotions ressenties face au jeu présenté. De plus, les questionnaires ont demandé aux sujets d'évaluer leur degré de fatigue et leur degré de motivation à faire les tests, deux facteurs qui peuvent influencer sur les résultats des tests. Le niveau de fatigue se traduit par de plus fortes ondes dans la bande alpha et la motivation intrinsèque du sujet a un effet dans l'asymétrie frontale et contribue à sa motivation d'approche ou d'évitement. Un retour sur la motivation du sujet à participer, en posant la même question à la fin du test qu'au début, aurait peut-être été plus utile que de ne poser la question qu'au début. De plus, des questions sur l'état psychologique du sujet pourraient nous aider à mieux comprendre des résultats, puisque par exemple, des sujets dépressifs auraient une hyperactivation dans l'hémisphère droit au niveau frontal qui pointe vers une motivation d'évitement ou de valence négative (C. E. Schaffer et al., 1983). Les questions d'ordre psychologique n'ont pas été posées pour des raisons éthiques.

## 2.3.2 Traitement de données

Il est important de choisir les bonnes méthodes de traitement des données physiologiques afin que ces dernières soient propres et interprétables. Nous devons enlever le bruit et les artéfacts causés par les mouvements du corps incluant ceux des yeux (ex., rotations, clignements). Le but est d'isoler l'activité qu'on ne veut pas observer et de la soustraire de l'onde originale. Pour les yeux un électro-oculogramme est souvent utilisé lors de l'enregistrement des signaux pour détecter l'activité des yeux qui se propage aux sites environnants surtout dans les bandes delta et thêta et aussi dans d'autres bandes incluant alpha (Allen, Coan, & Nazarian, 2004). Pour ce projet, d'autres techniques ont dû être utilisées.

Les étapes à suivre pour appliquer la méthode de l'analyse de l'asymétrie des hémisphères sont énumérées dans le guide de la compagnie iMotions sur les techniques EEG (iMotions, 2016). Par contre la méthode de Makoto Miyakoshi, un chercheur du "Swartz Center for Computational Neuroscience" de l'Université de Californie, qui a beaucoup contribué à EEGlab, a été utilisée en majeure partie puisqu'elle se prêtait bien au projet. Sa méthode est publiée sur le site web de son département comme référence et est en constante évolution [5].

Les étapes à franchir pour traiter les données avant l'analyse sont décrites dans les paragraphes suivants.

### 2.3.2.1 Appliquer des filtres

On doit appliquer des filtres tels que le filtre passe-bas qui atténue les hautes fréquences, le passe-haut qui atténue les basses fréquences, le passe-bande qui atténue des hautes et basses fréquences spécifiées, et le filtre coupe-bande qui n'atténue qu'une partie des fréquences pour laisser passer le reste. Ce filtrage permettra de garder les données que l'on souhaite étudier, mais ces manipulations causent une distorsion des ondes et aussi un risque d'enlever des éléments d'activités neuronales, ce qui pourrait nuire aux interprétations et résultats futurs (Allen, Coan, et al., 2004).

Ce procédé permet d'éliminer du bruit provenant des électrodes, soit la dérive de base, et de faire une meilleure analyse de composantes indépendantes par la suite. Un filtre de 1 Hz est jugé préférable. Un filtre passe-bas à 40 Hz avec une atténuation linéaire jusqu'à 50 Hz a également

été appliqué pour avoir des données plus propres dans les étapes subséquentes. Puisque les techniques utilisées portent sur des données en fréquence-puissance plutôt que temps-puissance, et que les fréquences nécessaires pour ce travail de recherche sont en-dessous de 30 Hz.

### **2.3.2.2 Importer l'information des canaux**

Lors de l'importation du fichier ".edf" dans EEGlab l'emplacement et le nom des canaux sont inconnus du logiciel. Cette étape est donc nécessaire pour connaître la localisation des électrodes et les associer aux bons canaux dans les données. Un fichier ".ced" peut être créé pour localiser les électrodes à partir de l'entête du fichier ".edf" exporté par *Pure.EEG*. Alternativement, un développeur de la compagnie Emotiv a rendu disponibles sur leur forum les informations pour générer le fichier [6].

### **2.3.2.3 Enlever les canaux problématiques**

Des notes prises lors des tests avec les sujets et l'examen des ondes résultantes affichées par canal ou à l'aide d'outils automatisés permettent généralement de détecter les canaux qui pourraient avoir eu une mauvaise connexion ou qui pourraient être affectés par une trop grande quantité d'artéfacts. Il est recommandé d'enlever un canal si plus de 10% de ses données doivent être supprimées soit en enlevant des époques ou en coupant des sections dans le temps afin d'obtenir des signaux propres dans les canaux.

Normalement, deux étapes suivent soit l'interpolation de canaux enlevés par rapport aux canaux d'électrodes adjacentes et le re-référencement des données à la moyenne des canaux qui devraient ramener les canaux à un niveau plus neutre par rapport au niveau 0. Dans les tests que nous avons réalisés, plusieurs canaux ont dû être enlevés et les canaux présents étaient peu nombreux : cela a pu rendre l'interpolation des canaux très peu fiable puisque la technique utilise les électrodes avoisinantes à celles enlevées. De ce fait, le re-référencement est impacté par le manque de précision des canaux interpolés. Dans des traitements initiaux effectués, les valeurs d'asymétrie changeaient parfois grandement avec le re-référencement. Comme nous voulions éviter un déséquilibre, les signaux n'ont finalement pas fait l'objet d'interpolation pour les canaux manquants et de re-référencement.

#### **2.3.2.4 Effectuer une analyse en composantes indépendantes (ACI)**

Ce type d'analyse automatisée permet de séparer en différentes composantes des éléments significatifs détectés dans les ondes. Idéalement, la technique va permettre de séparer les clignements des paupières, les mouvements des yeux, les mouvements musculaires et d'autres artefacts provenant entre autres des électrodes par rapport à de vraies composantes venant du cerveau. Bien que considérée fiable, la technique a ses limites puisque les composantes considérées comme des artefacts vont être mélangées à divers degrés avec des composantes du cerveau. Les enlever peut affecter les effets observés dans des analyses subséquentes des ondes du cerveau (JUNG et al., 2000).

Des auteurs recommandent de séparer les données continues en époques avant de faire une ACI, mais si la durée de l'événement après stimulus est de moins de 3 secondes il est conseillé de faire l'ACI avant de séparer les données en époques. Puisqu'une des deux expérimentations contient des événements de durée variable inférieure à 3 secondes, pour garder une méthodologie constante durant l'étude, l'ACI a été faite avant la séparation en époques.

#### **2.3.2.5 Rejeter les artefacts dans les composantes**

Avec les résultats de l'ACI, on peut visualiser les composantes résultantes sous formes d'ondes et voir d'autres sections à enlever qui n'étaient pas aussi apparentes lors de la visualisation des ondes par canaux. Il est conseillé de refaire une autre ACI après cette étape car elle devrait être plus précise [7]. Cependant, Makoto, l'auteur du guide, affirme que l'effet de cette seconde ICA est négligeable [5].

Lors du rejet d'artefacts avec une méthode manuelle, il est important de pouvoir reconnaître ce qui est considéré comme un artefact et les différencier des signaux du cerveau. Plusieurs guides, tutoriels et présentations sont disponibles à quiconque débute dans l'analyse de signaux physiologiques et l'utilisation de composantes indépendantes. Un tutoriel interactif de l'Université de San Diego aux États-Unis permet de pratiquer avec nombre d'essais; il explique ce qui est un artefact, un signal provenant du cerveau ou un mélange de plusieurs éléments [8].

Note : Le serveur a parfois des problèmes, donnant une erreur 404; comme l'outil est très utile on conseille de contacter les techniciens afin de leur demander de redémarrer le serveur au besoin.

Par exemple, on peut détecter et identifier les composantes en regardant des points particuliers. Afin que le lecteur puisse mieux comprendre cette étape nous présentons des explications et des images provenant de l'Université de San Diego [9].

### 2.3.2.5.1 Composantes du cerveau

L'activité électrique des synapses du cerveau (figure 3.1) se traduit par des pics qui se situent généralement entre 5 et 30 Hz et une puissance qui décroît lorsque la fréquence augmente.

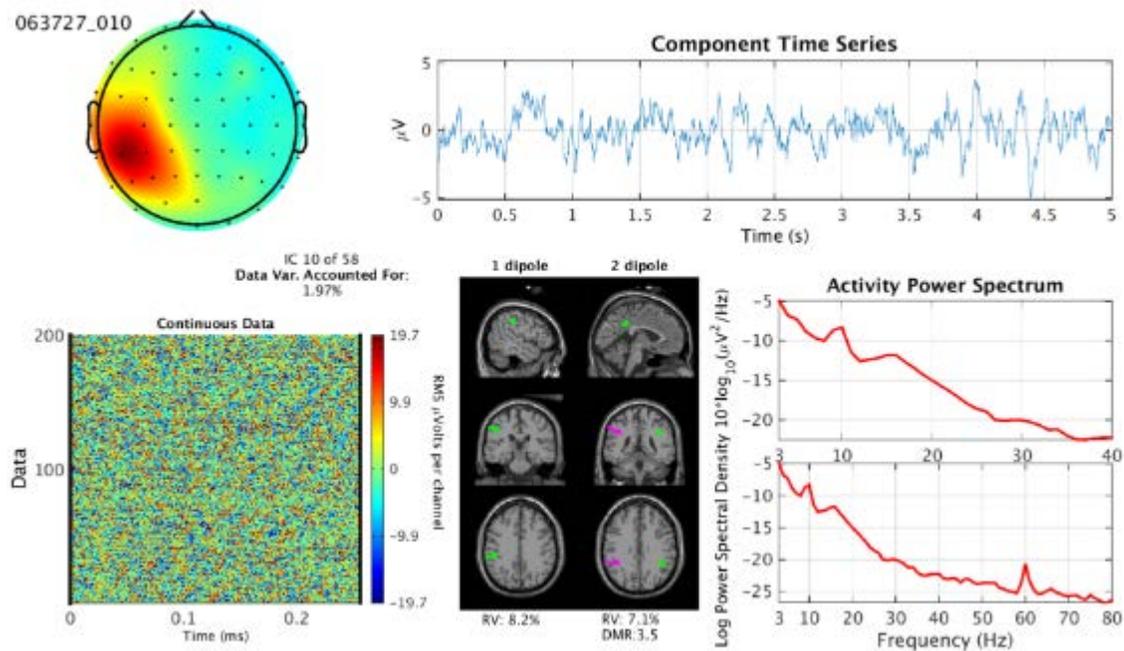


Figure 2.3 : Composante de l'activité électrique du cerveau [9]

La composante de la figure 2.3 peut être identifiable comme provenant du cerveau grâce à sa localisation diffuse provenant d'un dipôle à un endroit commun. Aussi, le spectre d'activité en puissance/fréquence a un pic autour de 10 Hz ce qui est un effet commun d'activité cérébrale. Le pic à 60 Hz proviendrait quant à lui d'une ligne électrique.

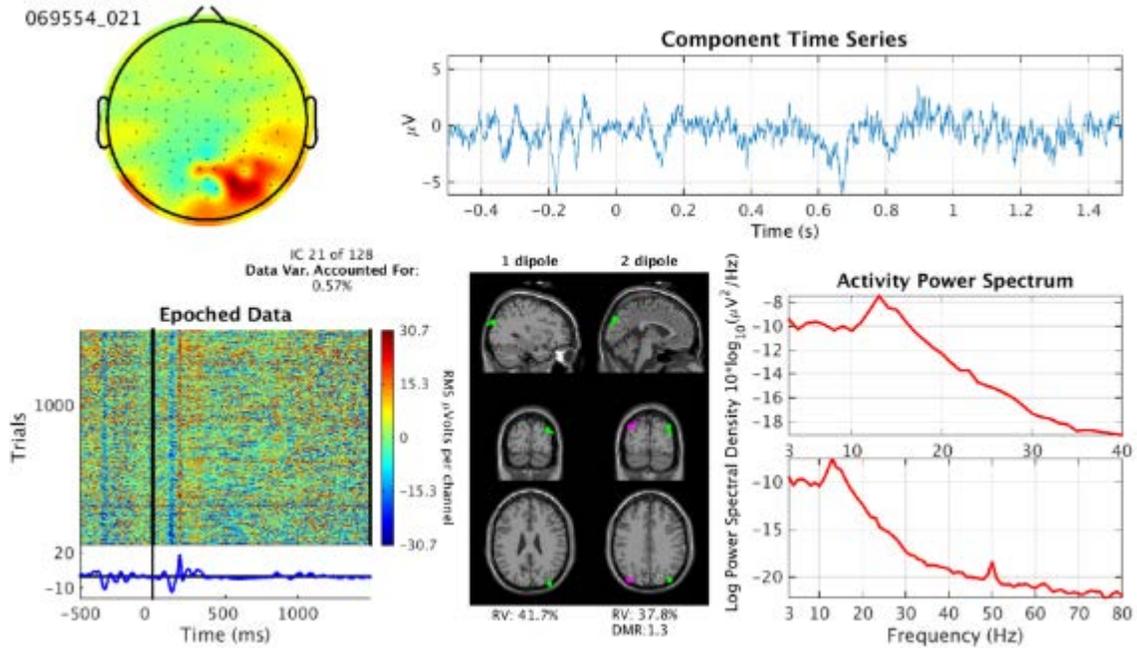


Figure 2.4 : Composante de l'activité électrique du cerveau avec d'autres éléments [9]

La composante de la figure 2.4 a aussi un pic près de 10 Hz qui devrait provenir d'un procédé mental, mais sa localisation est moins précise; on peut voir dans la représentation graphique des signaux qui viennent de plusieurs directions. Le pic à 50 Hz pouvant provenir d'une ligne électrique est également présent. Un tel pic serait présent à 60Hz en Amérique du nord. Rejeter cette composante risquerait d'affecter le reste des ondes cérébrales puisque d'autres composantes potentielles vont être rejetées en même temps, au moins partiellement.

### 2.3.2.5.2 Composantes des artefacts des yeux

Ces composantes sont concentrées autour de 5 Hz en fréquence, les mouvements verticaux sont identifiables par des pics et les mouvements horizontaux par des plateaux dans les représentations en onde format temps-puissance.

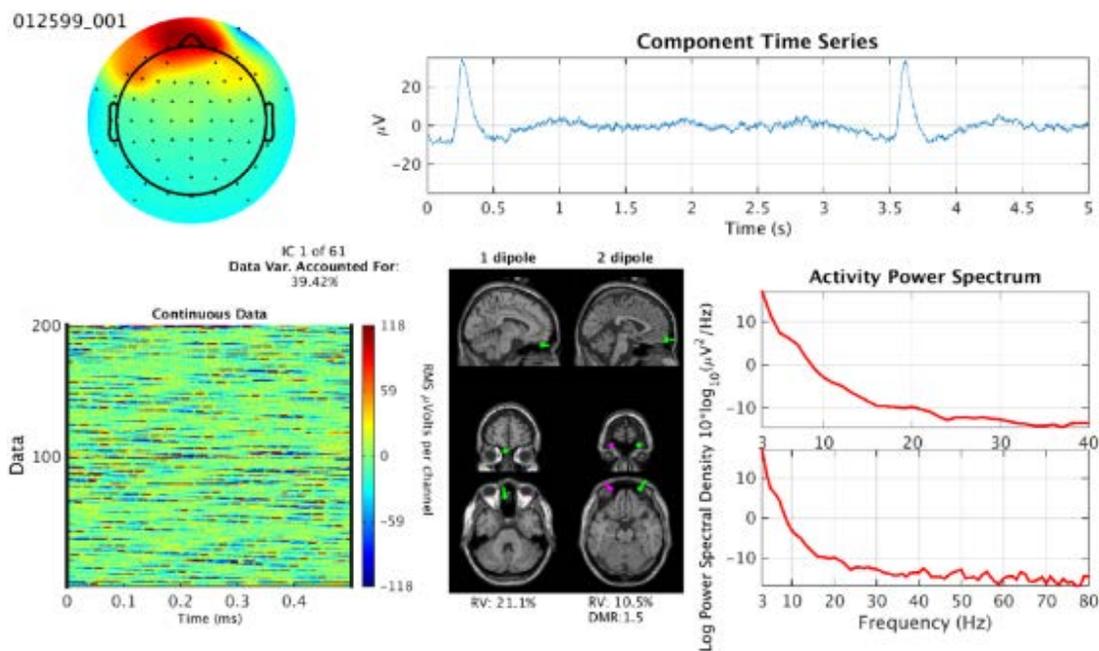


Figure 2.5 : Artefact de mouvements des paupières [9]

La composante de la figure 2.5 est identifiable par le fait que la localisation est concentrée vers les yeux. Le spectre de l'image ERP a des éléments apparents sur une fréquence régulière et les dipôles sont positionnés au niveau des yeux, Lorsqu'on regarde l'onde sous forme temps-puissance, on peut voir des pics distincts qui représentent des clignements de paupières.

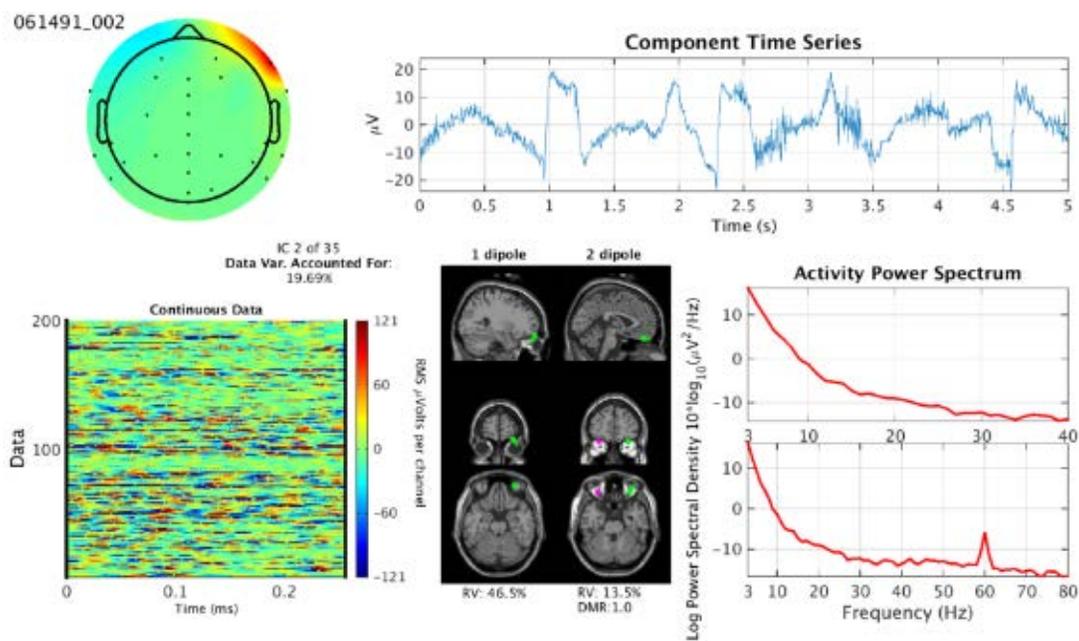


Figure 2.6 : Artefact de mouvement des yeux [9]

On peut voir un effet d'artefact des yeux dans un tel cas (voir figure 2.6), mais l'effet dans la représentation temps-puissance a des pics avec un apogée d'amplitude de plus longue durée. L'effet représente un mouvement des yeux tel un déplacement latéral. L'emplacement des dipôles, selon la section représentant un scan du cerveau dans la figure, indique aussi un effet provenant des yeux.

### 2.3.2.5.3 Composantes musculaires

Les ondes de composantes musculaires sont plus fortes et se situent à 20 Hz et plus.

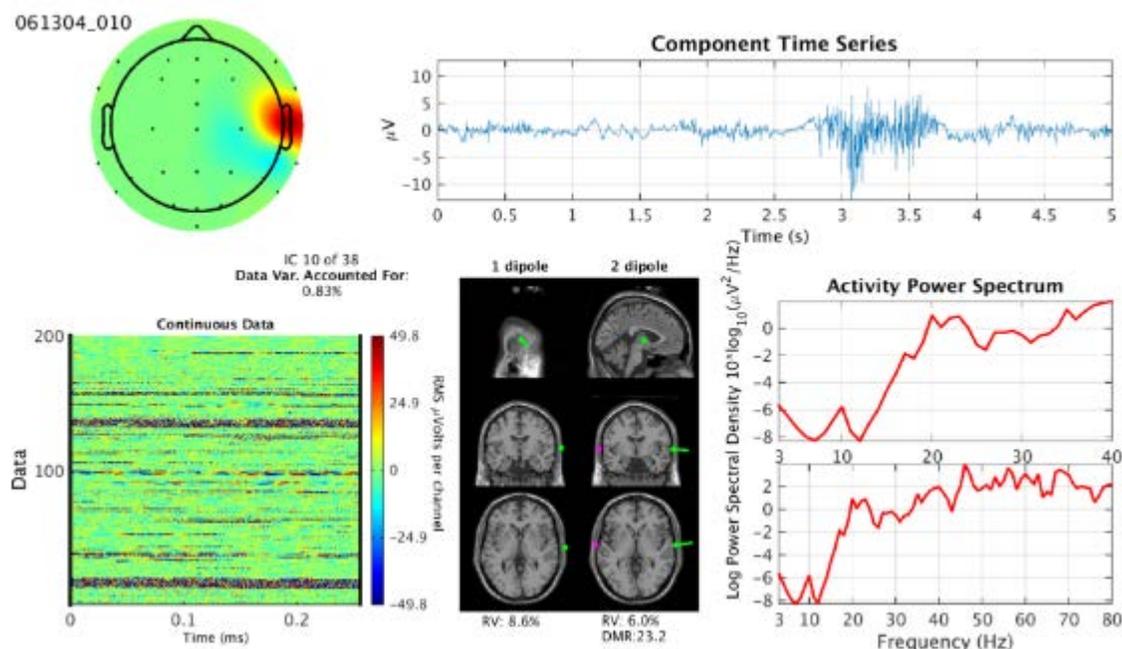


Figure 2.7 : Artefact de mouvement musculaire [9]

Une composante musculaire (voir figure 2.7) est causée par un mouvement et aura normalement un effet plus concentré aux abords de la tête, avec des ondes prononcées et condensées en temps-puissance. L'activité en fréquence-puissance sera plus forte dans les hautes fréquences et plus faible dans les basses fréquences si la composante est bien distincte en tant qu'artefact musculaire.

### 2.3.2.5.4 Composantes cardiaques

Les composantes cardiaques ont un effet topographique diffus de façon linéaire, avec des pics réguliers dans la représentation temps-puissance de l'onde.

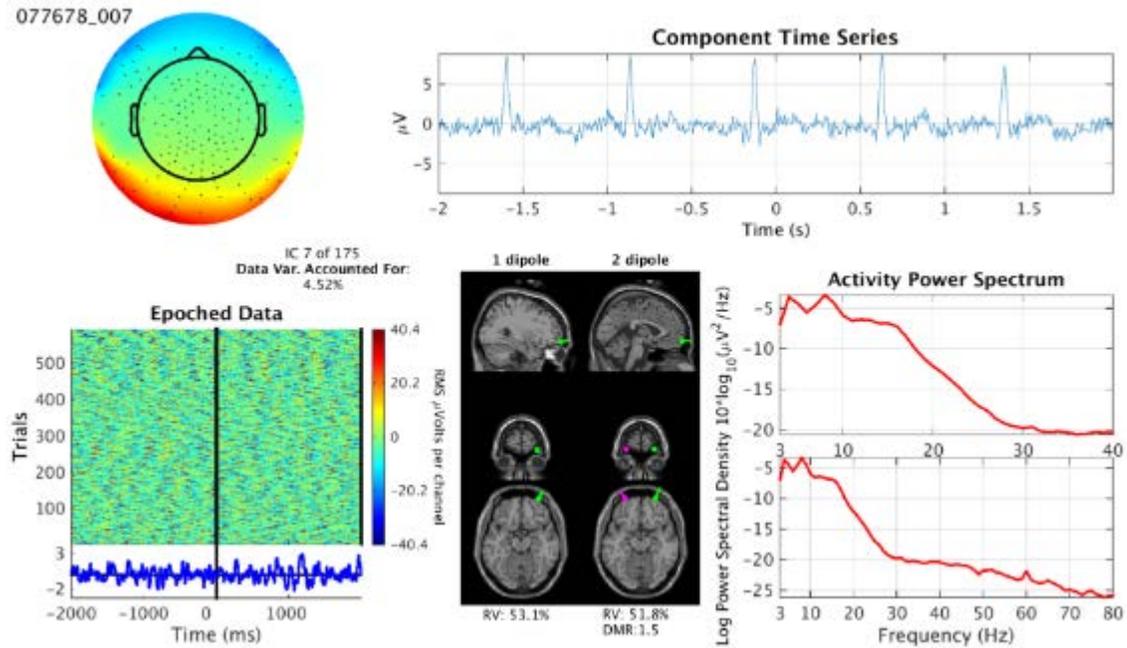


Figure 2.8 : Artefact de pulsation cardiaque [9]

La régularité des pics en temps-puissance et la forme d'onde de ces pics forment un complexe QRS (voir figure 2.9). Chaque lettre est associée à une fonction dans l'onde d'un battement cardiaque. P, QRS et T sont trois ondes qu'on peut identifier dans un battement. La détection du complexe QRS, la plus grande onde, est un facteur important pour identifier un artefact de pulsation cardiaque (voir figure 2.8).

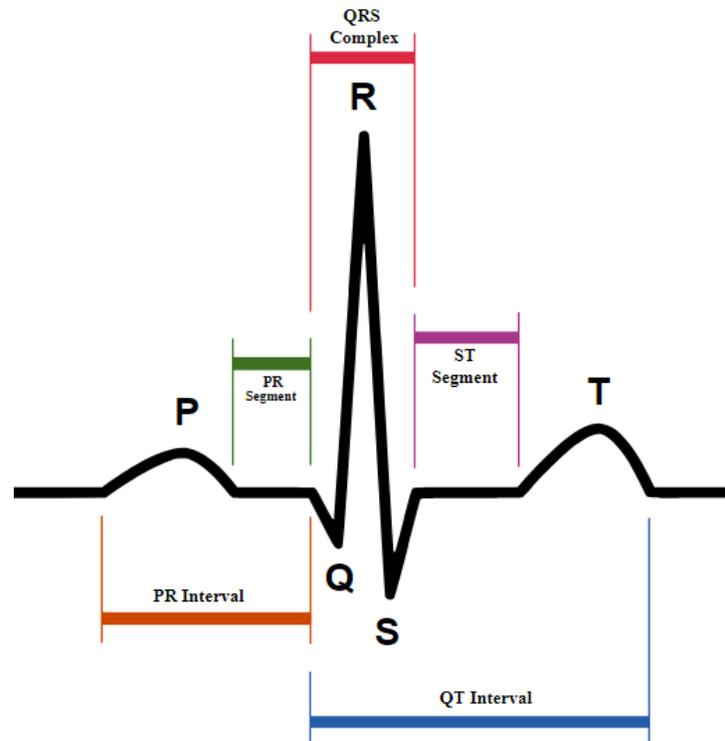


Figure 2.9 : Forme d'onde de pulsation cardiaque et le complexe QRS. Image du domaine public. [10]

#### 2.3.2.5.5 Composante de l'artefact de ligne électrique

Le bruit causé par une ligne électrique se traduit par un pic à des fréquences de 50 Hz, principalement dans les pays d'Europe et d'Asie, ou 60 Hz, principalement en Amérique du nord, Amérique centrale et certains pays d'Amérique du sud, dans l'onde sous forme fréquence-puissance. Le signal en temps-puissance peut aussi contenir du bruit visible.

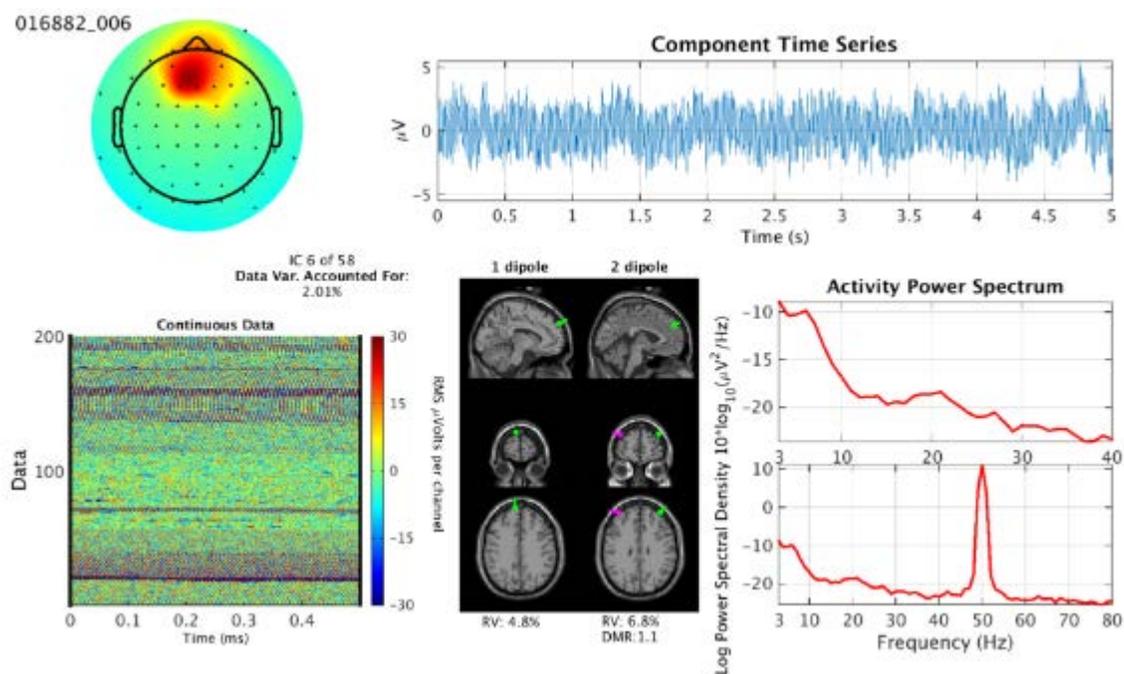


Figure 2.10 : Artefact de ligne électrique dans un signal EEG [9]

L'effet de l'artefact de la figure 2.10 est visible à 50 Hz et, en temps-puissance, le signal est peu défini. Un effet dans le spectre d'image ERP est aussi présent et indique que le bruit n'est pas stationnaire, chose commune au bruit de ligne.

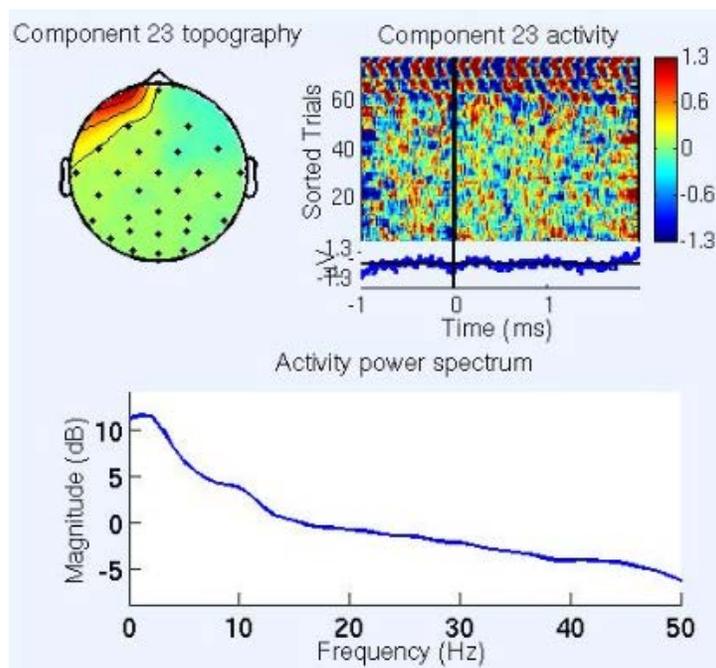


Figure 2.11 : Artefact de ligne électrique dans un signal EEG [11]

Certaines composantes sont moins facilement identifiables comme celle qui est illustrée à la figure 2.11 ; c'est un artefact de ligne, identifiable dans l'image d'activité en haut (sorted trials) à partir des essais 65 et plus. La fréquence en faute serait à 60 Hz mais elle n'est pas visible dans le spectre en bas.

### 2.3.2.5.6 Composante bruit de canal

Le bruit peut provenir directement des électrodes, soit à cause d'un mauvais contact ou d'un mouvement d'électrode. Cet artefact est généralement très localisé sur un site d'électrode puisqu'il n'est pas dû à une activité électrique du cerveau qui aurait plutôt tendance à s'étendre, grâce à la conductivité de la peau.

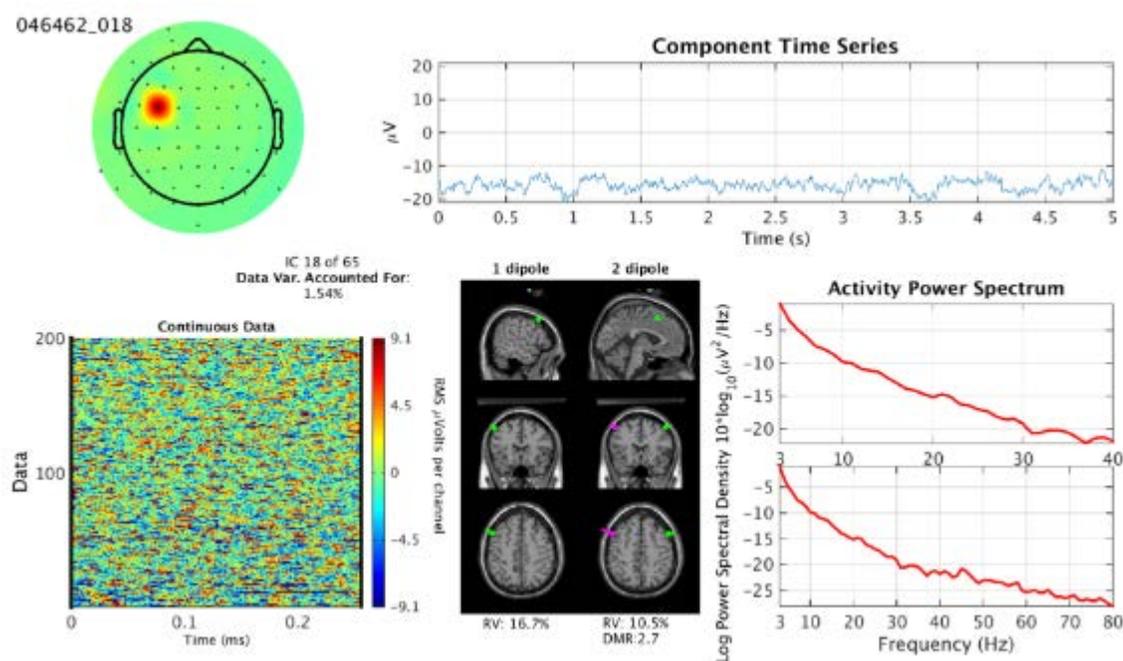


Figure 2.12 : Bruit provenant du canal d'une électrode dans un signal EEG [9]

Dans cet exemple, sur la carte topographique de la tête (voir figure 2.12), on voit un effet concentré sur un site, ce qui identifie clairement un bruit de l'électrode. La composante pourrait être enlevée en tant que composante indépendante nuisible.

### **2.3.2.6 Séparer les données continues en époques**

Le but de séparer les événements marqués qu'on voudrait étudier séparément est de voir des effets distincts. On peut diviser les ondes en séquences basées sur des amorces pouvant être par exemple des séquences d'images ayant chacune une époque qui pourra être analysée. Des chevauchements de 1 à 2 secondes entre les séquences sont recommandés pour limiter les coupures possibles des effets qui pourraient nous intéresser (IMotions, 2016). Cependant, vu la rapidité d'enchaînement des événements de la seconde expérimentation, surtout dans les niveaux de difficulté modérés et difficiles, un chevauchement a été jugé potentiellement problématique puisque l'effet d'événements précédents affecterait les résultats d'événements à analyser. Donc, l'attention a porté particulièrement sur l'isolement des événements. Une dernière vérification est faite pour s'assurer que les époques restantes sont utilisables. Le même procédé a été appliqué pour les deux expérimentations, excepté pour le chevauchement de 1 seconde par époque qui a été fait pour la première expérimentation seulement. Vu l'irrégularité et la fréquence des événements, un chevauchement variable de 0 à 1 seconde est présent pour les époques de la seconde expérimentation.

## **2.4 Analyse de données**

L'analyse des données peut être faite avec plusieurs méthodes, certaines sont censées évaluer les mêmes construits. Selon le guide de iMotions pour le calcul de l'asymétrie frontale, il est possible d'opérer comme suit :

### **2.4.1 Appliquer des transformations de fréquences**

Des transformations sont appliquées de façon à séparer l'information en bandes de fréquences, pour qu'on puisse se concentrer par exemple sur les données de la bande de fréquence Beta (12-25 Hz). Une technique fréquemment utilisée est la transformation de Fourier rapide (FFT) qui permet d'extraire les données temps-fréquences dans un format fréquences (hertz, en  $x$ ) et puissance (voltage, en  $y$ ) dans différentes bandes sans tenir compte du temps. Plus puissante sera une fréquence, plus on pourra s'attendre à y voir un état cognitif-affectif, donc un signal

potentiellement significatif. La méthode utilisée tente de voir des similitudes à une forme sinusoïdale de façon à séparer des fréquences pures (Harmon-Jones & Allen, 1998).

## 2.4.2 Calculer l'asymétrie frontale, l'engagement et l'éveil

Plusieurs méthodes de mesure des aspects émotifs ont été tentées de façon à maximiser les probabilités de voir des effets dans les résultats. Les puissances au niveau des bandes sont en absolu, elles ne peuvent donc être que positives. L'index d'asymétrie frontale peut cependant être négatif (motivation d'évitement, valence négative) ou positif (motivation d'approche, valence positive). L'utilisation du logarithme dans certaines formules est pour les mettre à un niveau similaire aux autres formules dans les tableaux.

Les formules utilisées dans l'étude sont les suivantes :

Index d'asymétrie frontale :

$$F3F4\text{-FAI} = \text{Log} (\text{AlphaF4} / \text{AlphaF3})$$

La formule F3F4-FAI est équivalente à la forme  $\text{Log} (\text{Alpha F4}) - \text{Log} (\text{Alpha F3})$  (Allen, Urry, Hitt, & Coan, 2004).

Index d'éveil :

$$F3F4\text{-Éveil} = (\text{BetaF3} + \text{BetaF4}) / (\text{AlphaF3} + \text{AlphaF4})$$

Index d'engagement :

$$\text{BAT-Engagement} = \text{Beta} / (\text{Alpha} + \text{Thêta})$$

(McMahan et al., 2015)

Les formules utilisées sont donc celles de l'étude sur les échecs dans le jeu « Super Meatboy » par McMahan et al. (2015) sauf pour l'index d'asymétrie frontale, que les auteurs associent à la valence et qui dans leur cas a donné des résultats qui ne semblent pas aller dans le sens d'études sur la colère et l'asymétrie frontale et selon notre hypothèse. La formule choisie pour notre étude est plus typiquement associée à la motivation.

Les formules utilisent la moyenne de la puissance en voltage d'une électrode (les variables marquées F3 ou F4) ou de l'ensemble des électrodes du casque (les variables marquées seulement

Alpha, Beta et Thêta). Les valeurs des variables ont été calculées dans Matlab (voir l'annexe pour les détails du code).

La formule d'asymétrie aura pour effet de mettre en relation les données en puissance recueillies par le casque EEG des sites frontaux de l'hémisphère gauche avec ceux de l'hémisphère droit selon leur puissance en voltage. Le résultat pour la bande alpha sera interprété selon un index plus élevé qui signifiera un comportement d'approche, et plus bas, un comportement d'évitement tel que mentionné plus haut. La bande alpha, selon laquelle une onde plus forte signifiera une activité plus petite, est interprétée à l'inverse des autres bandes. (Coan & Allen, 2004). Les données de F3F4-FAI sont normalisées avec un logarithme de façon à réduire les extrêmes et avoir des valeurs à un niveau similaire aux autres mesures. Pour ce qui est de l'engagement et l'éveil, les formules F3F4-Éveil et BAT-Engagement utilisées sont celles de l'étude de McMahan, Parberry et Parsons qui porte sur l'engagement et l'échec dans le jeu « Super MeatBoy ». La bande beta dans ces formules est associée à l'attention et la concentration, la bande thêta est elle-même directement associée à de l'engagement (Mcmahan et al., 2015).

## CHAPITRE 3 RÉSULTATS

Ce chapitre présente l'analyse des résultats des sujets. On cherche à voir si les résultats vont dans le sens des hypothèses tout en tenant compte du fait que le faible nombre de sujets ne permet pas de conclure de façon forte. Les résultats du pré-test et de l'expérimentation sont présentés séparément. Davantage de données du pré-test et de l'expérimentation se trouvent à l'annexe B. Les valeurs des colonnes dans les tableaux à barres sont les résultats des formules d'index de l'asymétrie frontale, de l'éveil et de l'engagement qui comprennent, quant à elles, des variables qui proviennent de moyennes de puissance en voltage tel qu'expliqué dans la section précédente.

### 3.1 Résultats du pré-test

Les données recueillies durant le pré-test proviennent du casque EEG et des réponses des sujets aux questions du test SAM. Une augmentation du score de l'asymétrie frontale signifie une augmentation de la motivation d'approche ou une valence positive (mise à part une émotion de colère selon ce qui a été vu précédemment). De la même façon, une augmentation du score de l'éveil et de l'engagement signifie une augmentation de l'éveil et de l'engagement. Le pré-test a servi de référence pour valider les signaux obtenus.

Les quatre catégories d'images utilisées pour le pré-test sont les suivantes : « éveil » : les images devraient provoquer un éveil élevé mais une valence neutre; « négative » : les images devraient évoquer une valence négative/basse; « neutre » : les images devraient évoquer une valence neutre et un éveil bas; « positive » : les images devraient évoquer une valence élevée/positive. Chaque catégorie d'images est présentée avec une bande de couleur différente.

Les résultats des signaux physiologiques et des questionnaires SAM, qui sont disponibles à l'annexe B avec des rapports d'observations plus détaillées, montrent qu'il existe de fortes différences entre les sujets. Lorsqu'on examine les résultats des signaux physiologiques sujet par sujet, on voit des similitudes avec ceux des tests SAM dans des comparaisons par types d'images. Il n'y a cependant pas de cas parfait, il faut s'attendre alors à certaines inexactitudes des résultats.

### 3.2 Résultats de l'expérimentation

Les principaux résultats de l'expérimentation sont présentés ici. Malgré le plan expérimental détaillé que nous avons présenté dans le chapitre précédent, nous avons décidé de limiter notre

analyse et les tests statistiques à l'effet de la variable indépendante (niveau de difficulté du jeu) sur les trois variables dépendantes (motivation, engagement et éveil du joueur), sans tenir compte des conséquences des échecs sur le jeu et les joueurs (arrêt du jeu et perte des points vs non arrêt du jeu et non perte de points).

### **3.2.1 Résultats de l'analyse de variance**

Le tableau 3.1 présente les moyennes des résultats de chaque sujet pris individuellement par niveau de difficulté : facile, modéré et difficile; il présente aussi le nombre d'échecs au jeu correspondant à chaque niveau de difficulté, et les impressions des sujets par rapport à chaque niveau de difficulté. Le tableau 3.2 présente les moyennes des résultats par niveau de difficulté pour tous les sujets.

Tableau 3.1 : Résultats de l'état « jeu » des blocs de l'expérimentation finale par sujet

Moyennes par niveau de difficulté - Sujet 7					
Condition de jeu	F3F4-FAI1 (Motivation)	BAT-Engagement	F3F4-Éveil	Nombre d'échecs au jeu	Impressions du niveau de difficulté
Facile	0.025	0.343	0.335	0 - 1	"Ennuyant"
Modéré	0.036	0.317	0.335	1 - 4	"Correct"
Difficile	0.016	0.370	0.322	31 - 35	"Frustrant"
Moyennes par niveau de difficulté - Sujet 8					
Condition de jeu	F3F4-FAI1 (Motivation)	BAT-Engagement	F3F4-Éveil	Nombre d'échecs au jeu	Impressions du niveau de difficulté
Facile	0.179	0.207	0.585	0 - 1	"Très facile et ennuyant"
Modéré	0.191	0.229	0.579	9 - 19	"Bon défi, parfois frustrant"
Difficile	0.169	0.210	0.564	34 - 53	"Très difficile, parfois impossible"
Moyennes par niveau de difficulté - Sujet 9					
Condition de jeu	F3F4-FAI1 (Motivation)	BAT-Engagement	F3F4-Éveil	Nombre d'échecs au jeu	Impressions du niveau de difficulté
Facile	0.172	0.476	0.385	0 - 1	"Redondant, prévisible, long"
Modéré	0.116	0.477	0.405	6 - 8	"Challengeant, accessible"
Difficile	0.149	0.519	0.400	33 - 53	"Injuste, Imperceptible"
Moyennes par niveau de difficulté - Sujet 11					
Condition de jeu	F3F4-FAI1 (Motivation)	BAT-Engagement	F3F4-Éveil	Nombre d'échecs au jeu	Impressions du niveau de difficulté
Facile	0.163	0.394	0.395	0 - 3	"On voit vite pattern qui suit les mouvements. On pourrait presque jouer sans regarder. Pas de stresse."
Modéré	0.119	0.404	0.511	4 - 13	"Bonne vitesse. Idéale pour voir les blocs arriver"
Difficile	0.127	0.418	0.533	40 - 54	"Beaucoup trop rapide et dur. On ne voit pas les blocs arriver d'assez loin"
Moyennes par niveau de difficulté - Sujet 12					
Condition de jeu	F3F4-FAI1 (Motivation)	BAT-Engagement	F3F4-Éveil	Nombre d'échecs au jeu	Impressions du niveau de difficulté
Facile	0.300	0.337	0.456	0 - 1	"Trop facile"
Modéré	0.278	0.357	0.442	29 - 48	"Déjà difficile pour un niveau médium donc un peu énervant"
Difficile	0.221	0.367	0.504	47 - 72	"Beaucoup trop difficile donc pénible et agaçant"

La direction des résultats du tableau 3.1 n'est pas claire.

Seuls deux sujets, les sujets 7 et 8, montrent un effet d'augmentation de motivation entre le niveau facile et modéré. Cet effet n'est pas visible de façon consécutive sur les trois niveaux.

Pour ce qui est de l'engagement, on peut voir des effets plus constants. Chez quatre sujets (8, 9, 11 et 12) une augmentation des valeurs est présente entre le niveau facile et modéré, et chez trois de ces sujets (9, 11 et 12) l'effet est aussi visible avec le niveau de difficulté difficile.

Dans le cas de l'éveil, deux sujets, les sujets 9 et 11, ont une augmentation du niveau facile à modéré et on ne peut voir qu'une augmentation qui continue avec le niveau difficile qu'avec le sujet 11.

Les moyennes du tableau 3.2 montrent globalement que face à un niveau de difficulté qui va de facile à modéré à élevé, le niveau de motivation du sujet baisse (contrairement aux attentes et à l'hypothèse) et les niveaux d'engagement et d'éveil montent (ce qui va dans le sens des attentes des hypothèses).

Tableau 3.2 : Moyennes des résultats de l'état « jeu » des blocs de l'expérimentation finale pour tous les sujets

Moyennes par niveau de difficulté			
	F3F4-FAI (Motivation)	BAT-Engagement	F3F4-Éveil
Niveau facile	0.168	0.351	0.431
Niveau modéré	0.148	0.357	0.454
Niveau difficile	0.136	0.377	0.465

Le tableau 3.3 montrent que les résultats des analyses de variance à mesures répétées exécutées sur l'ensemble des états « jeu » sont significatifs statistiquement ( $p < .05$ ) pour les mesures de motivation mais ne le sont pas pour les mesures d'engagement et d'éveil. Cependant, les mesures

de motivation vont dans le sens opposé de l'hypothèse. L'ensemble des résultats des ANOVA est disponible en annexe.

Tableau 3.3 : Résultats des analyses de variance

P-Values selon niveau de difficulté pour tous les sujets		
F3F4-FAI (Motivation)	BAT-Engagement	F3F4-Éveil
0.003	0.838	0.151

### 3.2.2 Vérifications des hypothèses

H1 – Les résultats vont sans le sens opposé de l'hypothèse (l'augmentation du degré de frustration du joueur créé par la difficulté du jeu a un impact positif sur la motivation), contrairement à toute attente. Les résultats sont significatifs sur le plan statistique, mais comme ils vont dans le sens opposé de l'hypothèse, celle-ci est infirmée. Ces résultats sont difficiles à expliquer.

H2 – Les résultats vont dans le sens de l'hypothèse (l'augmentation du degré de frustration du joueur créé par la difficulté du jeu a un impact positif sur l'engagement) mais ils ne sont pas significatifs sur le plan statistique. L'hypothèse est donc infirmée.

H3 – Les résultats vont dans le sens de l'hypothèse (l'augmentation du degré de frustration du joueur créé par la difficulté du jeu a un impact positif sur l'éveil) mais ils ne sont pas significatifs sur le plan statistique. L'hypothèse est donc infirmée.

### 3.3 Questionnaire post-expérimental

Selon les réponses recueillies dans le questionnaire donné à la fin des expérimentations, les niveaux de difficulté ont été perçus de façon similaire par tous les sujets, soit le niveau facile comme étant ennuyant, le niveau modéré comme étant difficile mais intéressant, et le niveau difficile comme étant impossible et frustrant. Le fait que les collisions causent un arrêt du jeu est considéré comme frustrant par la majorité des sujets mais deux sujets soulignent que cela joue de façon positive sur l'engagement ou permet de prendre une pause (pour se concentrer davantage). L'absence d'arrêt lors de collision provoquerait une certaine nonchalance de la part des sujets qui voient l'échec comme moins important. La performance des joueurs corrobore ces points puisque le fait de ne pas arrêter la partie a causé une plus grande quantité d'échecs chez tous les sujets dans tous les essais du niveau difficile et chez une faible majorité de sujets dans les essais du niveau modéré. Il n'y a pas assez d'échecs au niveau facile pour voir un tel effet. La présence ou l'absence des indices de performance a peu ou pas d'effet si l'on en juge par les réponses au questionnaire, la performance et les données physiologiques des sujets.

## CONCLUSION

Cette recherche de nature exploratoire visait à connaître l'effet de la frustration créée par l'échec au jeu (variable indépendante) sur la motivation, l'engagement et l'éveil des sujets (variables dépendantes) dans un jeu vidéo à haute intensité. Douze sujets ont participé à la recherche durant environ une heure mais à cause de problèmes techniques on a dû ne retenir que les données de cinq sujets. La tâche expérimentale a consisté à utiliser un jeu vidéo à haute intensité dans les conditions suivantes : trois niveaux de difficulté (facile, modéré, difficile), une condition de collision causant un arrêt et une réinitialisation (ou une perte) du pointage, une condition de collision ne causant pas d'arrêt et de réinitialisation, un affichage d'indices de performance ou non. Les résultats globaux montrent que la motivation, de façon inattendue, décroît avec la difficulté du jeu, et que l'engagement et l'éveil tendent à augmenter avec la difficulté du jeu; les résultats sont significatifs sur le plan statistique pour la motivation, mais dans le sens contraire de nos prédictions, et ils ne sont pas significatifs pour l'engagement et l'éveil. Les trois hypothèses de l'étude, qui prédisaient un effet positif de la variable indépendante sur les trois variables dépendantes, sont infirmées.

### Limites de l'étude

Dans le prétest, les images « neutres » ne sont pas nécessairement vides d'effet, ou ayant l'effet désiré dans le cas de tests visant à identifier une motivation d'approche ou d'évitement.

Il pourrait y avoir un effet d'apprentissage et de lassitude avec la répétition des séquences, comme on peut le voir dans les cas d'absence d'indices de performance qui apparaissent tous dans la seconde moitié de l'expérimentation; un ordre de séquences aléatoire donnerait des résultats plus fiables.

Le faible nombre de sujets ne permet pas d'avoir des statistiques fiables ; de plus, il y a de différences entre les sujets au niveau physiologique, et en termes d'expérience et de préférences dans les jeux.

Le faible nombre d'époques et les divisions dans les signaux physiologiques qui sont analysés pour certains événements peuvent fausser les résultats à cause de données aberrantes qui, autrement, auraient une plus faible représentation dans les données avec un plus grand nombre d'époques, c'est en partie pourquoi l'analyse porte sur les événements de type « jeu ».

Le casque est rigide et les électrodes peuvent avoir été placées de façon imprécise sur la tête à cause des différentes dimensions de têtes des sujets. La conséquence est que des effets peuvent être mélangés et moins prononcés. Les électrodes T7 et T8 n'avaient aucun contact avec la tête sur quatre des cinq sujets vu leur emplacement peu pratique et la rigidité du casque, et des électrodes avaient peu de contact dans la zone pariétale ou occipitale. Ceci a pu réduire la possibilité de détection de composantes par l'ACI et a également empêché l'utilisation d'autres techniques pour calculer des index émotifs.

Le plus grand défi auquel on a dû faire face dans ce projet a sans doute été d'avoir des signaux propres; même après les filtres et les ACI, les signaux contenaient quelques artefacts mélangés à du bruit et des signaux cérébraux. La validité des données peut être affectée. Un casque de meilleure qualité comportant davantage d'électrodes aurait donné des signaux mieux définis et contenant moins d'artefacts après le traitement.

## Projections

Certaines approches pourraient améliorer la fiabilité des résultats; elles sont à prendre en considération dans de prochaines études.

Pour avoir une méthode plus fiable de calcul de l'index d'engagement, Vi *et al.* (2014) ont utilisé des données supplémentaires avec des valeurs extrêmes pour calibrer et enlever des maximum et minimum pouvant fausser la moyenne. Leur méthode de calcul de la valeur d'engagement (VE) est la suivante :

$$VE = (IE - \min(IE)) / (\max(IE) - \min(IE))$$

où IE est l'index d'engagement avant la calibration obtenue avec une manipulation utilisant un index d'état d'engagement minimal, soit  $\min(IE)$  obtenu les yeux fermés et un index d'état d'engagement maximal, soit  $\max(IE)$  obtenu lors d'une tâche à haute intensité (Vi, Alexander, Irani, Babae, & Subramanian, 2014). Cette méthode aurait été difficile à utiliser dans notre recherche puisque le jeu fait pour la recherche est à haute intensité, donc le degré d'engagement maximum serait déjà atteint dans les tests présentés. Il faudrait donc trouver une façon d'obtenir la mesure d'engagement maximal pour faire le calcul.

Pour améliorer les résultats du prétest, l'ajout d'un écran noir entre les images ou l'allongement du temps de présentation de la croix de fixation permettrait d'avoir une base neutre plus sûre si on en croit l'utilité d'une plus longue période de pause (3 secondes incluant la croix de fixation) dans l'étude de Hidalgo-Muñoz *et al.* qui utilise la banque d'images IAPS (Hidalgo-Muñoz *et al.*, 2017). Sinon, comme mentionné précédemment, les vidéos ont des effets plus marqués, elles pourraient être une solution viable pour voir des effets plus concluants (Ohme *et al.*, 2010).

Dans une étude utilisant le système IAPS, des ondes thêta frontales et occipitales ont été décelées comme étant des marqueurs de valence positive; un effet centro-pariétal a également été détecté, l'effet est plutôt dans une zone préfrontale et centrale pour une image de valence négative. Pour l'état d'éveil, l'effet est visible dans les zones préfrontale, frontale, centrale et postérieure selon divers critères. Les effets sont localisés sur plusieurs sites d'électrodes et pourraient ne pas convenir pour le casque de la compagnie Emotiv parce qu'il n'a que 14 électrodes qui sont surtout concentrées au niveau frontal (Gaeta, Susac, Supek, Babiloni, & Vecchiato, 2015).

L'utilisation d'un contrôleur de jeu serait sans doute préférable pour une utilisation plus confortable en comparaison avec un clavier qui cause une tension musculaire pouvant paraître dans les signaux. Cela pourrait réduire les artefacts musculaires et donner des signaux plus propres (Luck, 2014).

Les effets pourraient aussi être augmentés en ayant un jeu plus attrayant lequel, de base, augmenterait l'intérêt des sujets, limitant une possible motivation d'évitement par rapport à un jeu qui peut paraître déplaisant. Un concept appelé « game feel » (parfois « juice » ou « screenshake ») décrit ces systèmes visuels, auditifs et mécaniques qui peuvent rendre des jeux plus attrayants (Swink, 2009). Cependant, il y a risque de contaminer les résultats avec des éléments motivateurs non contrôlés; il faudrait alors s'assurer d'un effet constant de l'aspect « game feel » dans toutes les conditions testées.

## **Pistes de recherche**

Nous proposons d'effectuer des tests plus longs et d'avoir un niveau de difficulté facile qui produira un plus grand nombre d'époques pour les événements « échec » et « record », de présenter les blocs de test du jeu dans un ordre aléatoire et de séparer plus nettement les événements avec de plus longues pauses pour limiter l'effet de chevauchement. Finalement,

utiliser un casque comportant un plus grand nombre d'électrodes ou s'assurer d'avoir une connexion fiable des 14 électrodes du casque Epop chez tous les sujets donnerait de meilleurs résultats.

## BIBLIOGRAPHIE

- Allen, J. J. B., Coan, J. A., & Nazarian, M. (2004). Issues and assumptions on the road from raw signals to metrics of frontal EEG asymmetry in emotion. *Biological Psychology*, *67*(1–2), 183–218. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.03.007>
- Allen, J. J. B., Urry, H. L., Hitt, S. K., & Coan, J. A. (2004). The stability of resting frontal electroencephalographic asymmetry in depression. *Psychophysiology*, *41*(2), 269–280. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2003.00149.x>
- Allen, J. J., Iacono, W. G., Depue, R. A., & Arbisi, P. (1993). Regional Electrencephalographic Asymmetries in Bipolar Seasonal Affective Disorder Before and After Exposure to Bright Light. *Biological Psychiatry*, *33*, 642–646.
- Badcock, N. A., Mousikou, P., Mahajan, Y., de Lissa, P., Thie, J., & McArthur, G. (2013). Validation of the Emotiv EPOC ® EEG gaming system for measuring research quality auditory ERPs. *PeerJ*, *1*(1), e38. <https://doi.org/10.7717/peerj.38>
- Bakker, I., van der Voordt, T., Vink, P., & de Boon, J. (2014). Pleasure, Arousal, Dominance: Mehrabian and Russell revisited. *Current Psychology*, *33*(3), 405–421. <https://doi.org/10.1007/s12144-014-9219-4>
- Berkman, E. T., & Lieberman, M. D. (2010). Approaching the Bad and Avoiding the Good: Lateral Prefrontal Cortical Asymmetry Distinguishes between Action and Valence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(9), 1970–1979. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21317>
- Bernhaupt, R. (2010). User Experience Evaluation in Entertainment. In R. Bernhaupt (Ed.), *Lirimm.Fr* (pp. 3–7). London: Springer London. [https://doi.org/10.1007/978-1-84882-963-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-84882-963-3_1)
- Bradley, M., & Lang, P. J. (1994). Measuring Emotion: The Self-Assessment Semantic Differential Manikin and the. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *25*(1), 49–59. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)
- Coan, J. A., & Allen, J. J. B. (2004). Frontal EEG asymmetry as a moderator and mediator of

- emotion. *Biological Psychology*, 67(1–2), 7–49.  
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.03.002>
- Csikszentmihalyi, M. (1990). The psychology of optimal experience. *Harper&Row, New York*.  
<https://doi.org/10.5465/AMR.1991.4279513>
- Dan-Glauser, E. S., & Scherer, K. R. (2011). The Geneva affective picture database (GAPED): a new 730-picture database focusing on valence and normative significance. *Behavior Research Methods*, 43(2), 468–77. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0064-1>
- Davidson, R. J. (2004). What does the prefrontal cortex “do” in affect: Perspectives on frontal EEG asymmetry research. *Biological Psychology*, 67(1–2), 219–233.  
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.03.008>
- Davidson, R. J., Saron, C. D., Senulis, J. A., Ekman, P., & Friesen, W. V. (1990). Approach-Withdrawal and Cerebral Asymmetry: Emotional Expression and Brain Physiology I. *Journal of Personality and Social Psychology*, 58(2), 330–341.  
<https://doi.org/10.1037/0022-3514.58.2.330>
- Debener, S., Minow, F., Emkes, R., Gandras, K., & de Vos, M. (2012). How about taking a low-cost, small, and wireless EEG for a walk? *Psychophysiology*, 49(11), 1617–1621.  
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2012.01471.x>
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134(1), 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>
- Dixon, D. (2011). Player Types and Gamification. *CHI 2011 Workshop Gamification Using Game Design Elements in NonGame Contexts*, 12–15. [https://doi.org/ACM 978-4503-0268-5/11/05](https://doi.org/ACM%20978-4503-0268-5/11/05)
- Drinnan, M. J., Murray, A., White, J. E. S., Smithson, A. J., Griffiths, C. J., & Gibson, G. J. (1996). Automated Recognition of EEG Changes Respiratory Sleep Disorders. *Sleep*, 19(4), 296–303.

- Ducheneaut, N. (2006). Building an MMO With Mass Appeal: A Look at Gameplay in World of Warcraft. *Games and Culture*, 1(4), 281–317. <https://doi.org/10.1177/1555412006292613>
- Duvinage, M., Castermans, T., Petieau, M., Hoellinger, T., Cheron, G., & Dutoit, T. (2013). Performance of the Emotiv Epoc headset for P300-based applications. *Biomedical Engineering Online*, 12, 56. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-12-56>
- Ekanayake, H. (2010). P300 and Emotiv EPOC: Does Emotiv EPOC capture real EEG? *Web Publication Http://neurofeedback. Visaduma. Info/ ...*, 16. Retrieved from <http://www.visaduma.info/neurofeedback/P300nEmotiv.pdf>
- Ekman, P., & Davidson, R. J. (1994). The nature of emotions: Fundamental questions. *American Scientist*, 89(4), 344+. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(96\)05205-2](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(96)05205-2)
- Ekman, P., Friesen, W. V., O'Sullivan, M., Chan, A., Diacoyanni-Tarlatzis, I., Heider, K., ... Tomita, M. (1987). Universals and cultural differences in the judgments of facial expressions of emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 53(4), 712–717. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.53.4.712>
- Epoc, E., & Labs, I. M. (2013). The neurosciences at home with Emotiv Epoc, 1–13.
- Gaeta, G., Susac, A., Supek, S., Babiloni, F., & Vecchiato, G. (2015). Analysis of EEG variables to measure the affective dimensions of arousal and valence related to the vision of emotional pictures. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS, 2015–Novem*, 2518–2521. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2015.7318904>
- Hajcak, G., & Dennis, T. A. (2009). Brain potentials during affective picture processing in children. *Biological Psychology*, 80(3), 333–338. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2008.11.006>
- Harmon-Jones, E., & Allen, J. J. B. (1998). Anger and Frontal Brain Activity: EEG Asymmetry Consistent With Approach Motivation Despite Negative Affective Valence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(5), 1310–1316.

3514.74.5.1310

Hidalgo-Muñoz, A. R., López, M. M., Santos, I. M., Vázquez-Marrufo, M., Lang, E. W., & Tomé, A. M. (2017). Affective Valence Detection from EEG Signals Using Wrapper Methods. In *Emotion and Attention Recognition Based on Biological Signals and Images*. InTech. <https://doi.org/10.5772/66667>

Holtgraves, T. (2013). Cognitive consequences of individual differences in arousal asymmetry. *Brain and Cognition*, 83(1), 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.06.002>

Hosseini, A. H., & Holroyd, C. B. (2015). Reward feedback stimuli elicit high-beta EEG oscillations in human dorsolateral prefrontal cortex. *Scientific Reports*, 5(April), 13021. <https://doi.org/10.1038/srep13021>

IMotions. (2016). EEG: Pocket Guide, 1–64.

JUNG, T.-P., MAKEIG, S., HUMPHRIES, C., LEE, T.-W., McKEOWN, M. J., IRAGUI, V., & SEJNOWSKI, T. J. (2000). Removing electroencephalographic artifacts by blind source separation. *Psychophysiology*, 37(2), S0048577200980259. <https://doi.org/10.1017/S0048577200980259>

Kallio, K. P., Mayra, F., & Kaipainen, Kk. (2010). At least nine ways to play: Approaching gamer mentalities. *Games and Culture*, 6(4), 327–353. <https://doi.org/10.1177/1555412010391089>

Karat, J., & Vanderdonckt, J. (2009). *Evaluating User Experience in Games*. Lirmm.Fr. <https://doi.org/10.1007/978-1-84996-272-8>

Le Jeune, F., & Robert, G. (2012). Emotions et motivation. *Neurologies*, 15(152).

Loo, S. K., Hale, T. S., Macion, J., Hanada, G., McGough, J. J., McCracken, J. T., & Smalley, S. L. (2009). Sustained attention. *Neuropsychologia*, 47(10), 2114–2119. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.04.013>.Cortical

Luck, S. J. (2005). An Introduction to the Event-Related Potential Technique. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 78(3), 388. <https://doi.org/10.1118/1.4736938>

- Luck, S. J. (2014). Setting Up and Running an ERP Lab. *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*, Online Chapter 16.
- Martey, R. M., Kenski, K., Folkestad, J., Feldman, L., Gordis, E., Shaw, A., ... Strzalkowski, T. (2014). Measuring Game Engagement Multiple Methods and Construct Complexity. *Simulation & Gaming*, *14*(2), 1046878114553575. <https://doi.org/10.1177/1046878114553575>
- McMahan, T., Parberry, I., & Parsons, T. D. (2015). Evaluating Player Task Engagement and Arousal Using Electroencephalography. *Procedia Manufacturing*, *3*(Ahfe), 2303–2310. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.376>
- Mcmahan, T., Parsons, T. D., McMahan, T., Parberry, I., & Parsons, T. D. (2015). Evaluating Electroencephalography Engagement Indices During Video Game Play.
- Ohme, R., Reykowska, D., Wiener, D., & Choromanska, A. (2010). Application of frontal EEG asymmetry to advertising research. *Journal of Economic Psychology*, *31*(5), 785–793. <https://doi.org/10.1016/j.joep.2010.03.008>
- Oude Bos, D. (2007). EEG-Based Emotion Recognition : the Influence of Visual and Auditory Stimuli, 1–17. <https://doi.org/10.1.1.226.8188>
- Pérez-Edgar, K., Kujawa, A., Nelson, S. K., Cole, C., & Zapp, D. J. (2013). The relation between electroencephalogram asymmetry and attention biases to threat at baseline and under stress. *Brain and Cognition*, *82*(3), 337–343. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.05.009>
- Plutchik, R. (2000). *Emotions in the practice of psychotherapy: Clinical implications of affect theories*. *Psychotherapy Research*. Washington: American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/10366-000>
- Propper, R. E., Pierce, J., Geisler, M. W., Christman, S. D., & Bellorado, N. (2012). Asymmetry in Resting Alpha Activity: Effects of Handedness. *Open Journal of Medical Psychology*, *1*(October), 86–90. <https://doi.org/10.4236/ojmp.2012.14014>
- Rani, P., Sarkar, N., & Liu, C. (2006). Maintaining Optimal Challenge in Computer Games

- through Real-Time Physiological Feedback Mechanical Engineering. *Task-Specific Information Processing in Operational and Virtual Environments: Foundations of Augmented Cognition*, (September), 184–192.
- Rank, S., & Lu, C. (2015). PhysSigTK: Enabling engagement experiments with physiological signals for game design. *2015 International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction, ACII 2015*, 968–969. <https://doi.org/10.1109/ACII.2015.7344692>
- Renshaw, T., Stevens, R., & Denton, P. D. (2009). Towards understanding engagement in games: an eye-tracking study. *On the Horizon*, 17(4), 408–420. <https://doi.org/10.1108/10748120910998425>
- Rozenkrants, B., & Polich, J. (2008). Affective ERP processing in a visual oddball task: Arousal, valence, and gender. *Clinical Neurophysiology*, 119(10), 2260–2265. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.07.213>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 54–67. <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020>
- Schaffer, C. E., Davidson, R. J., & Saron, C. (1983). Frontal and parietal electroencephalogram asymmetry in depressed and nondepressed subjects. *Biological Psychiatry*, 18(7), 753–762. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(92\)90021-D](https://doi.org/10.1016/0278-2626(92)90021-D)
- Schaffer, O. (2013). Crafting Fun User Experiences: A Method to Facilitate Flow. *International Human Factors*, 20.
- Schaufeli, W. (2013). What is engagement? *Employee Engagement in Theory and Practice*, 1–37. <https://doi.org/10.15171/ijhpm.2015.12>
- Scheirer, J., Fernandez, R., Klein, J., & Picard, R. W. (2002). Frustrating the user on purpose: a step toward building an affective computer. *Interacting with Computers*, 14(2), 93–118. [https://doi.org/10.1016/S0953-5438\(01\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0953-5438(01)00059-5)
- Skinner, B. F. (1953). *Science and Human Behavior*. (Macmillan, Ed.). New York.

- Swink, S. (2009). *Game Feel: A Game Designer's Guide to Virtual Sensation*. *Game Feel*.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374328-2.00019-6>
- Tiago Manuel Rocha, F. (2011). Emotions Recognitions Using EEG During Frustrating Human-Computer Interaction: the Influence of Artifact Removal Using ICA.
- Vi, C., Alexander, J., Irani, P., Babaee, B., & Subramanian, S. (n.d.). Quantifying EEG Measured Task Engagement for use in Gaming Applications. Retrieved from <http://www.cs.bris.ac.uk/publications/Papers/2001718.pdf>
- Wehbe, R. R., & Nacke, L. E. (2013). Games User Research using EEG Techniques. *Proceedings of CHI '13 GUR Workshop*, 1–4.
- Wen, J. T., & Morris, J. D. (2015). Empowerment: The Overlooked Dimension of Emotional Response, (August), 1–26.
- Winkler, I., Jäger, M., Mihajlović, V., & Tsoneva, T. (2010). Frontal EEG Asymmetry based classification of emotional valence using common spatial patterns. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 70(9), 373–378. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-78651582817&partnerID=tZOtx3y1>
- Yee, N. K. (2005). Motivations of Play in MMORPGs. *DiGRA 2005 Conference: Changing Views--Worlds in Play*. Retrieved from <http://www.digra.org/dl/db/06276.26370.pdf>

## WEBOGRAPHIE

- [1] N. Yee, The Daedalus Project. 1999-2006. [Site internet]. Available:  
[http://www.nickyee.com/daedalus/arch\\_cat.php](http://www.nickyee.com/daedalus/arch_cat.php).
- [2] Emotiv, Forums - What is Emotiv Epoc made of?. 11 Août 2011. [Forums en ligne].  
Available: [https://www.emotiv.com/forums/topic/What\\_is\\_Emotiv\\_EPOC\\_made\\_of\\_/](https://www.emotiv.com/forums/topic/What_is_Emotiv_EPOC_made_of_/).
- [3] S. Busti, Freeware. December 1999. [Site internet]. Available:  
<http://www.lspace.nildram.co.uk/freeware.html>.
- [4] HHD Software, Virtual Serial Ports. Octobre 2015. [Site internet]. Available:  
<https://freevirtualserialports.com/>.
- [5] Emotiv, EmotivPro. 2017. [Site internet]. Available: <https://www.emotiv.com/emotivpro/>.
- [6] M. Miyakoshi, Makoto's Preprocessing Pipeline. Swartz Center for Computational Neuroscience, Août 2017. [Site internet]. Available:  
[https://sccn.ucsd.edu/wiki/Makoto%27s\\_preprocessing\\_pipeline](https://sccn.ucsd.edu/wiki/Makoto%27s_preprocessing_pipeline).
- [7] Emotiv, Forums - How do I get started to export to EEGlab. 2013. [Site internet].  
Available:  
[https://www.emotiv.com/forums/topic/How\\_do\\_I\\_get\\_started\\_to\\_export\\_to\\_EEGLAB\\_/](https://www.emotiv.com/forums/topic/How_do_I_get_started_to_export_to_EEGLAB_/).
- [8] Swartz Center for Computational Neuroscience, Chapter 01: Rejecting Artifacts. Septembre 2011. [Site internet]. Available:  
[https://sccn.ucsd.edu/wiki/Chapter\\_01:\\_Rejecting\\_Artifacts](https://sccn.ucsd.edu/wiki/Chapter_01:_Rejecting_Artifacts).
- [9] Université de Californie, San Diego, ICLabel Tutorial: EEG Independent Component Labeling - Practice. [Site internet]. Available:

<http://reaching.ucsd.edu:8000/tutorial/practice>.

- [10] Université de Californie, San Diego, ICLabel Tutorial: EEG Independent Component Labeling - Telling Components Apart. [Site internet]. Available:

<http://reaching.ucsd.edu:8000/tutorial/>.

- [11] Variés, QRS Complex. Wikipedia, [Site internet]. Available:

[https://en.wikipedia.org/wiki/QRS\\_complex](https://en.wikipedia.org/wiki/QRS_complex).

- [12] A. D. e. S. Makeig, EEGLAB Tutorial - Data Analysis. Swartz Center for Computational Neuroscience, [Site internet]. Available:

[http://cognitrn.psych.indiana.edu/busey/temp/eeglabtutorial4.301/maintut/ICA\\_decomposition.html](http://cognitrn.psych.indiana.edu/busey/temp/eeglabtutorial4.301/maintut/ICA_decomposition.html).

- [13] Université de Californie, San Diego, Chapter 04: Preprocessing Tools. [Site internet].

Available: [https://scn.ucsd.edu/wiki/Chapter\\_04:\\_Preprocessing\\_Tools](https://scn.ucsd.edu/wiki/Chapter_04:_Preprocessing_Tools).

## ANNEXE A – PROTOCOLES ET QUESTIONNAIRES

### Protocole d'expérimentation

- 1 - Accueil du sujet en lui souhaitant la bienvenue et en le remerciant de vouloir participer à l'expérimentation.
- 2 - Demande au sujet de lire et de signer un formulaire de consentement.
- 3 - Demande au sujet de répondre à un court questionnaire sur son état physique, mental, et ses expériences de jeux vidéo.
- 4 - Mettre de l'eau saline/conductrice dans l'hydrateur pour les électrodes pour que les coussins des électrodes soient imbibés.
- 5 - Installer les électrodes sur le casque EEG.
- 6 - Demander au sujet de s'asseoir confortablement sur la chaise pour faire l'installation du casque EEG.
- 7 - Installer le casque EEG sur la tête du sujet : les électrodes antérieures frontales AF3 et AF4 à une distance d'environ 3 à 4 cm des sourcils et les électrodes au niveau pariétal sur les mastoïdes derrière les oreilles pour les électrodes CMS et DRL.
- 8 - Exécuter serproxy.exe.
- 9 - Exécuter Free Virtual Serial Ports et créer un bridge com2 à com3.
- 10 - Exécuter Pure.EEG et se connecter sur un compte usager (besoin d'une connexion internet).
- 11 - Dans Pure.EEG, modifier les paramètres du port série pour que le logiciel écoute le port com3 afin qu'il reçoive les marqueurs.
- 12 - Dans Pure.EEG, à l'aide du diagramme indicateur de qualité de connexion, s'assurer que les électrodes ont une bonne connexion, particulièrement les électrodes placées sur les zones frontale, préfrontale et de référence. Les déplacer au besoin.
- 13 - Expliquer le test à suivre au sujet.

- 14 - Dans Pure.EEG, lancer l'enregistrement et entrer les spécifications du sujet.
- 15 - Lancer l'application "Pré-test", et encourager le sujet à faire le test.
- 16 - À la fin du test, lorsqu'une boîte de dialogue apparaît, ajouter l'identification du sujet au nom du fichier et sauvegarder le fichier, puis fermer l'application de l'expérimentation.
- 17 - Dans Pure.EEG, arrêter l'enregistrement et nommer et sauvegarder le fichier.
- 18 - Expliquer au sujet le second test à faire.
- 19 - Dans Pure.EEG, lancer l'enregistrement et entrer les spécifications du sujet.
- 20 - Lancer l'application "Expérimentation", et encourager le sujet à faire le test.
- 21 - À la fin du test, lorsqu'une boîte de dialogue apparaît, ajouter l'identification du sujet au nom du fichier et sauvegarder le fichier puis fermer l'application de l'expérimentation.
- 22 - Dans Pure.EEG, arrêter l'enregistrement et nommer et sauvegarder le fichier.
- 23 - Faire remplir par le sujet un questionnaire de fin de test
- 24 - Remercier le sujet et lui donner 20 \$.
- 25 - Faire signer par le sujet un accusé de réception de 20 \$.

### **Protocole de traitement de signaux**

- 1 - Exécuter HeaderConverter et y convertir le fichier .edf voulu.
- 2 - Exécuter Matlab, puis EEGLab.
- 3 - Dans EEGLab importer le fichier .edf converti avec l'outil BIOSIG situé dans "File -> Import Data".
- 4 - Dans la fenêtre de l'outil d'importation BIOSIG, importer les canaux 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 20 (3 à 16 sont les 14 électrodes, 20 étant pour les marqueurs) et délimiter le début et la fin de l'expérimentation avec un surplus de 2 secondes au début et 2 secondes à la fin puis appuyer sur "Ok".

5 - Dans la nouvelle boîte de dialogue, nommer le fichier, entrer une description au besoin, puis cliquer sur “Ok”.

6 - Pour faire la localisation des canaux, dans EEGLab, exécuter l’outil “Channel locations” situé dans “Edit -> Channel locations”, et appuyer sur “Ok” à la prochaine fenêtre de dialogue.

7 - Dans la fenêtre de dialogue suivante “Edit channel info” appuyer sur “Read locations” et aller chercher un fichier .ced avec les positionnements d’électrodes (peut être extrait du fichier .edf).

8 - Dans la fenêtre de dialogue suivante, sélectionner “autodetect” (par défaut) et appuyer sur “Ok”, puis appuyer sur “Ok” dans le fenêtre “Edit channel info”.

9- Exécuter “Remove baseline” dans la section “Tools ->Remove baseline”.

10 - Exécuter “Basic FIR filter” dans “Tools -> Filter the data -> Basic FIR filter” et donner la valeur “lower edge” à 1 Hz, appuyer sur “OK” et refaire la même chose mais avec 40 Hz à “higher edge” pour ne conserver que les bandes de fréquences thêta, alpha et beta [12].

11- Exécuter “Channel data (scroll)” dans la section “Plot -> Channel data (scroll)”, et vérifier s’il y a des canaux qui devraient être enlevés.

12- Enlever les canaux avec un excès de bruit continu ou avec un trop haut taux d’artéfacts (suggéré si plus de 5-10% du data) “Edit -> Select data” puis entrer les canaux à enlever et cocher la case à droite.

13- Exécuter “Run ICA” dans la section “Tools -> Run ICA” avec les options par défaut (runica()) suite à ce que les données ont été nettoyées.

14- Exécuter “Components activations (scroll)” dans “Plot -> Components activations (scroll)” et rejeter encore des éléments pouvant poser problème. Puis chercher le numéro de composantes représentant des clignements des yeux ou autres sources de bruits majeurs.

15 - Exécuter “Run ICA” dans la section “Tools -> Run ICA” avec les options par défaut (runica) suite au nettoyage des données.

16 - Vérifier les données à nouveau avec “Components activations (scroll)”, modifier au besoin sinon sauvegarder.

17- Exécuter “Remove components” dans “Tools -> remove components” pour enlever des composantes nuisibles.

18 - Exécuter “Extract epochs” dans le menu “Tools -> Extra epochs” pour chaque événement marqué. (Exécuter le reste des étapes pour chacun de ces événements).

19 - Vérifier les données pour chaque événement avec “Channel data (scroll)”, modifier au besoin et sauvegarder [5] (Epoc & Labs, 2013).

Note. Dans les étapes de Makoto, une étape de re-référence à la moyenne des électrodes est utilisée. Suite à des essais, il a été jugé préférable de ne pas utiliser cette méthode qui devrait faire une moyenne pour centrer les canaux. Vu la faible quantité d'électrodes et de l'asymétrie des électrodes restantes après le rejet de canaux (même après l'ajout d'un canal de valeur nul et l'interpolation des électrodes enlevées tel que suggéré par la méthode de Makoto), un débalancement important de la puissance entre F3 et F4 qui n'était pas présent avant a été constaté dans plusieurs cas. L'interpolation serait plus efficace avec une plus grande quantité d'électrodes et cela permettrait d'obtenir une meilleure re-référence sur la moyenne des électrodes. Puisque l'asymétrie frontale est étudiée dans ce projet de recherche, il est important de ne pas altérer la différence entre ces hémisphères avec des techniques de moyennage. Cependant il est important de noter que le casque a deux électrodes de référence (CMS : common mode sense, et, DRL : driven right leg) qui ont une fonction similaire au re-référencement pour indiquer une base moyenne de 0 pour le reste des électrodes.

## Code pour l'analyse de données

J'ai modifié une version du code de Makoto disponible sur le site du centre Swartz pour y ajouter d'autres électrodes, utiliser une transformation en onde sous forme puissance-fréquence appelée « fast Fourier transform » et rendre le code plus dynamique.

```
% Initialisation des variables de puissance à 0
thetaPowerAF3=0;
thetaPowerAF4=0;
thetaPowerFC5=0;
thetaPowerFC6=0;
thetaPowerF3=0;
thetaPowerF4=0;
thetaPowerF7=0;
thetaPowerF8=0;
alphaPowerF3=0;
alphaPowerF4=0;
alphaPowerF7=0;
alphaPowerF8=0;
betaPowerF3=0;
betaPowerF4=0;
betaPowerF7=0;
betaPowerF8=0;

%trouver l'index des canaux
for e=1:size(EEG.chanlocs, 2)
    if strcmp(EEG.chanlocs(e).labels, 'AF3')
        AF3chanNum = e;

        % Calcule la puissance selon le data avec utilisation de 'nfft' Fast
        Fourier transform
        [spectra,freqs] = spectopo(EEG.data(AF3chanNum,:,:), 0, EEG.srate,
        'nfft', 4096);

        % Trouver les données des bandes fréquences suivantes: thêta=4-8
        thetaIdxAF3 = find(freqs>=4 & freqs<8);

        % Calcule la puissance absolue
        thetaPowerAF3=mean(10.^(spectra(thetaIdxAF3)/10));

        break;
    end
end
%trouver l'index des canaux
for f=1:size(EEG.chanlocs, 2)
    if strcmp(EEG.chanlocs(f).labels, 'AF4')
        AF4chanNum = f;
        % Calcule la puissance selon le data avec utilisation de
        'nfft' Fast Fourier transform
```

```

    [spectra,freqs] = spectopo(EEG.data(AF4chanNum,:,:), 0, EEG.srate,
'nfft', 4096);

% Trouver les données des bandes fréquences suivantes : thêta=4-8
    thetaIdxAF4 = find(freqs>=4 & freqs<8);

    % Calcule la puissance absolue
    thetaPowerAF4=mean(10.^(spectra(thetaIdxAF4)/10));
    break;
end
end

%trouver l'index des canaux
for g=1:size(EEG.chanlocs, 2)
    if strcmp(EEG.chanlocs(g).labels, 'FC5')
        FC5chanNum = g;
        % Calcule la puissance selon le data avec utilisation de 'nfft' Fast
Fourier transform
        [spectra,freqs] = spectopo(EEG.data(FC5chanNum,:,:), 0, EEG.srate,
'nfft', 4096);

% Trouver les données des bandes fréquences suivantes: thêta=4-8
        thetaIdxFC5 = find(freqs>=4 & freqs<8);

        % Calcule la puissance absolue
        thetaPowerFC5=mean(10.^(spectra(thetaIdxFC5)/10));
        break;
    end
end

%trouver l'index des canaux
for h=1:size(EEG.chanlocs, 2)
    if strcmp(EEG.chanlocs(h).labels, 'FC6')
        FC6chanNum = h;
        % Calcule la puissance selon le data avec utilisation de 'nfft' Fast
Fourier transform
        [spectra,freqs] = spectopo(EEG.data(FC6chanNum,:,:), 0, EEG.srate,
'nfft', 4096);

% Trouver les données des bandes fréquences suivantes: thêta=4-8
        thetaIdxFC6 = find(freqs>=4 & freqs<8);

        % Calcule la puissance absolue
        thetaPowerFC6=mean(10.^(spectra(thetaIdxFC6)/10));
        break;
    end
end

%trouver l'index des canaux
for i=1:size(EEG.chanlocs, 2)
    if strcmp(EEG.chanlocs(i).labels, 'F3')
        F3chanNum = i;
        % Calcule la puissance selon le data avec utilisation de 'nfft' Fast
Fourier transform

```

```

    [spectra,freqs] = spectopo(EEG.data(F3chanNum, :, :), 0, EEG.srate,
'nfft', 4096);
    % Trouver les données des bandes fréquences suivantes : thêta=4-8,
alpha=8-13, beta=13-30
    thetaIdxF3 = find(freqs>=4 & freqs<8);
    alphaIdxF3 = find(freqs>=8 & freqs<13);
    betaIdxF3 = find(freqs>=13 & freqs<30);

    % Calcule la puissance absolue
    thetaPowerF3=mean(10.^(spectra(thetaIdxF3)/10));
    alphaPowerF3=mean(10.^(spectra(alphaIdxF3)/10));
    betaPowerF3=mean(10.^(spectra(betaIdxF3)/10));
    break;
end
end
%trouver l'index des canaux
for j=1:size(EEG.chanlocs, 2)
    if strcmp(EEG.chanlocs(j).labels, 'F4')
        F4chanNum = j;

        % Calcule la puissance selon le data avec utilisation de 'nfft' Fast
Fourier transform
        [spectra,freqs] = spectopo(EEG.data(F4chanNum, :, :), 0, EEG.srate,
'nfft', 4096);
    % Trouver les données des bandes fréquences suivantes: thêta=4-8, alpha=8-13,
beta=13-30
        thetaIdxF4 = find(freqs>=4 & freqs<8);
        alphaIdxF4 = find(freqs>=8 & freqs<13);
        betaIdxF4 = find(freqs>=13 & freqs<30);

        % Calcule la puissance absolue
        thetaPowerF4=mean(10.^(spectra(thetaIdxF4)/10));
        alphaPowerF4=mean(10.^(spectra(alphaIdxF4)/10));
        betaPowerF4=mean(10.^(spectra(betaIdxF4)/10));
        break;
    end
end
end
%trouver l'index des canaux
for k=1:size(EEG.chanlocs, 2)
    if strcmp(EEG.chanlocs(k).labels, 'F7')
        F7chanNum = k;
        % Calcule la puissance selon le data avec utilisation de 'nfft' Fast
Fourier transform
        [spectra,freqs] = spectopo(EEG.data(F7chanNum, :, :), 0, EEG.srate,
'nfft', 4096);

    % Trouver les données des bandes fréquences suivantes: thêta=4-8, alpha=8-13,
beta=13-30
        thetaIdxF7 = find(freqs>=4 & freqs<8);
        alphaIdxF7 = find(freqs>=8 & freqs<13);
        betaIdxF7 = find(freqs>=13 & freqs<30);

```

```

% Calcule la puissance absolue
    thetaPowerF7=mean(10.^(spectra(thetaIdxF7)/10));
    alphaPowerF7=mean(10.^(spectra(alphaIdxF7)/10));
    betaPowerF7=mean(10.^(spectra(betaIdxF7)/10));

    break;
end
end
%trouver l'index des canaux
for m=1:size(EEG.chanlocs, 2)
    if strcmp(EEG.chanlocs(m).labels, 'F8')
        F8chanNum = m;
% Calcule la puissance selon le data avec utilisation de 'nfft' Fast Fourier
transform
        [spectra,freqs] = spectopo(EEG.data(F8chanNum, :, :), 0, EEG.srate,
'nfft', 4096);

% Trouver les données des bandes fréquences suivantes: thêta=4-8, alpha=8-13,
beta=13-30
        thetaIdxF8 = find(freqs>=4 & freqs<8);
        alphaIdxF8 = find(freqs>=8 & freqs<13);
        betaIdxF8 = find(freqs>=13 & freqs<30);

        % Calcule la puissance absolue
        thetaPowerF8=mean(10.^(spectra(thetaIdxF8)/10));
        alphaPowerF8=mean(10.^(spectra(alphaIdxF8)/10));
        betaPowerF8=mean(10.^(spectra(betaIdxF8)/10));
        break;
    end
end

% Calcule la puissance selon le data avec utilisation de 'nfft' Fast Fourier
transform
[spectra,freqs] = spectopo(EEG.data(:, :, :), 0, EEG.srate, 'nfft', 4096);

% Trouver les données des bandes fréquences suivantes: thêta=4-8, alpha=8-13,
beta=13-30
thetaIdxAll = find(freqs>=4 & freqs<8);
alphaIdxAll = find(freqs>=8 & freqs<13);
betaIdxAll = find(freqs>=13 & freqs<30);

% Calcule la puissance absolue
thetaPowerAll=mean(10.^(spectra(thetaIdxAll)/10));
alphaPowerAll=mean(10.^(spectra(alphaIdxAll)/10));
betaPowerAll=mean(10.^(spectra(betaIdxAll)/10));

%affichage des données calculées
valeursPuissances
=[thetaPowerAF3,thetaPowerAF4,thetaPowerFC5,thetaPowerFC6,thetaPowerF3,thetaPo
werF4,alphaPowerF3,alphaPowerF4,betaPowerF3,betaPowerF4,thetaPowerF7,thetaPowe

```

```
rF8,alphaPowerF7,alphaPowerF8,betaPowerF7,betaPowerF8,thetaPowerAll,alphaPower  
All,betaPowerAll]
```

## Questionnaire biographique

### Section à remplir par le chercheur

Numéro d'identification du sujet

Sexe du sujet

Homme  Femme

Date

---

1. Êtes-vous gaucher ou droitier?

Gaucher  Droitier

2. Dans quel groupe d'âge êtes-vous?

18 à 25  26 à 35  36 à 45  46 à 55  55 et plus

3. Combien d'heures par semaine jouez-vous à des jeux vidéo, incluant les jeux pour appareils mobiles? ([passez à la question 5 si vous répondez "Aucune"](#))

Aucune  Moins de 3  3 à 7  7 à 10  10 et plus

4. Sur quelle plateforme jouez-vous? ([plusieurs réponses possibles](#))

- Mobile/Tablette (ex. iPhone, iPad, Galaxy Note)
- Console (ex. Playstation, XBOX)
- Ordinateur (ex. Steam, UPlay)
- Web dans le navigateur (ex. Internet Explorer, Firefox, Chrome)

5. Avez-vous suffisamment dormi lors de la nuit dernière?

Oui  Non

6. Quel est votre niveau de fatigue actuel?

Aucune fatigue	Légère fatigue	Fatigue modérée	Fatigue élevée	Fatigue très élevée
<input type="radio"/>				

7. Quel est votre degré de motivation à participer à ce test?

Aucune motivation	Motivation faible	Motivation modérée	Motivation élevée	Motivation très élevée
<input type="radio"/>				

### Questionnaire Post-Expérimentation

Numéro d'identification du sujet

---

En quelques mots, décrivez votre impression du niveau facile.

En quelques mots, décrivez votre impression du niveau médium.

En quelques mots, décrivez votre impression du niveau difficile.

En quelques mots, décrivez votre impression du fait qu'échouer arrête la partie.

En quelques mots, décrivez votre impression du fait qu'échouer n'arrête pas la partie.

Comment l'absence d'indicatifs de performance a affecté votre motivation?

En quelques mots, décrivez votre performance en général.

Vous avez des commentaires généraux en lien avec l'expérimentation?

## ANNEXE B – DONNÉES

Tableau Annexe b.1: Données calculées du prétest

Sujet	Stimuli	F3F4-FAI	BAT-Engagement	F3F4-Eveil
7	Éveil	0,238202375	0,339120832	0,38961039
	Négative	0,125275287	0,348644255	0,392744263
	Neutre	0,223199064	0,317023587	0,289736305
	Positive	0,132557607	0,383706816	0,350137958
8	Éveil	0,28771813	0,226908182	0,422864605
	Négative	0,238273449	0,274087736	0,530276423
	Neutre	0,305789918	0,236540885	0,584728975
	Positive	0,314155216	0,217722861	0,489977268
9	Éveil	0,144775427	0,51742342	0,371368405
	Négative	0,101093411	0,408519929	0,376161859
	Neutre	0,079639645	0,4586797	0,423219926
	Positive	0,131647799	0,468268369	0,316459951
11	Éveil	0,138211475	0,365535149	0,418559401
	Négative	0,233831432	0,340864734	0,364840735
	Neutre	0,138534671	0,305083731	0,505157233
	Positive	0,14208764	0,424381635	0,423046418
12	Éveil	0,396475431	0,173826335	0,421040254
	Négative	0,370984059	0,178334239	0,389437783
	Neutre	0,409505692	0,202701272	0,372022121
	Positive	0,356284481	0,245109421	0,450773278

## **INDEX D'ASYMÉTRIE FRONTALE (MOTIVATION/VALENCE)**

La méthode utilisée pour mesurer l'asymétrie frontale est :

$$F3F4\text{-FAI} = \text{Log} (\alpha F4 / \alpha F3)$$

Un index d'asymétrie frontale positif ou plus élevé que des valeurs comparatives dans des conditions avec stimulus plus neutre, signifie une valence plus positive et une motivation d'approche plus forte. Un index plus bas ou négatif signifie une motivation d'évitement plus forte (ou une motivation d'approche moins forte) et une valence plus négative. Le besoin de tenir compte de la comparaison entre les différentes conditions est nécessaire puisque qu'on peut difficilement confirmer avoir une base neutre comme référence et un moyennage sur une base 0 n'a pas pu être fait entre les conditions et entre les sujets qui ont des résultats assez différents les uns des autres.

Pour les tests SAM, les valeurs des graphiques correspondent à la moyenne des notes données par chaque sujet qui varient entre 1 et 5 ; plus le chiffre est élevé plus la valence est positive. La représentation est séparée en quartiles donc 4 parties de 25%. Les barres horizontales avec une barre perpendiculaire représentent 25% des valeurs au minimum et 25% des valeurs au maximum, la bande pleine représente la répartition de 25% à 75% des valeurs à mi-chemin et la barre horizontale dans la bande pleine représente la médiane. Ces valeurs ont une précision de 0.5 points ce qui explique l'absence apparente de parties de la représentation en quartiles dans certains cas. Finalement, le « X » représente la moyenne des valeurs.

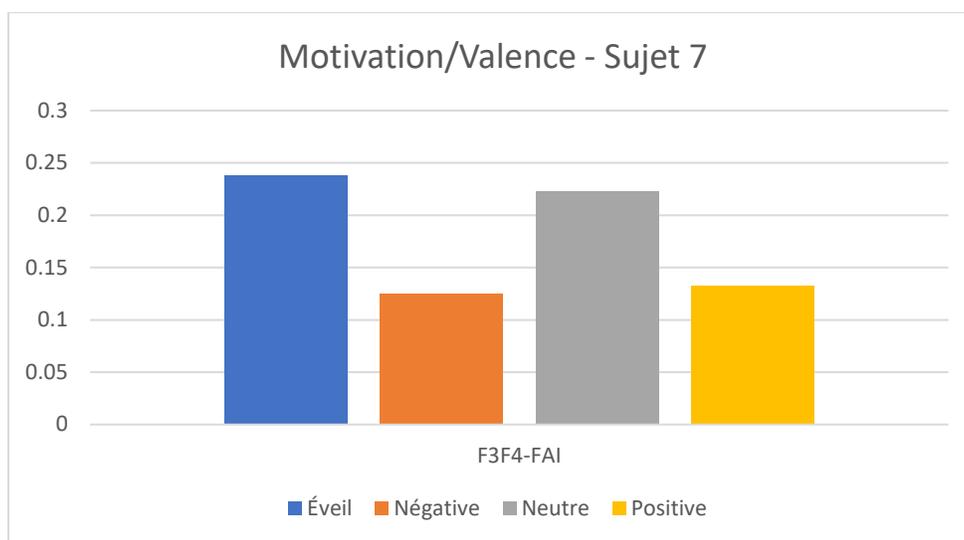


Figure b.1 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 7 - Index d'asymétrie frontale (valence)

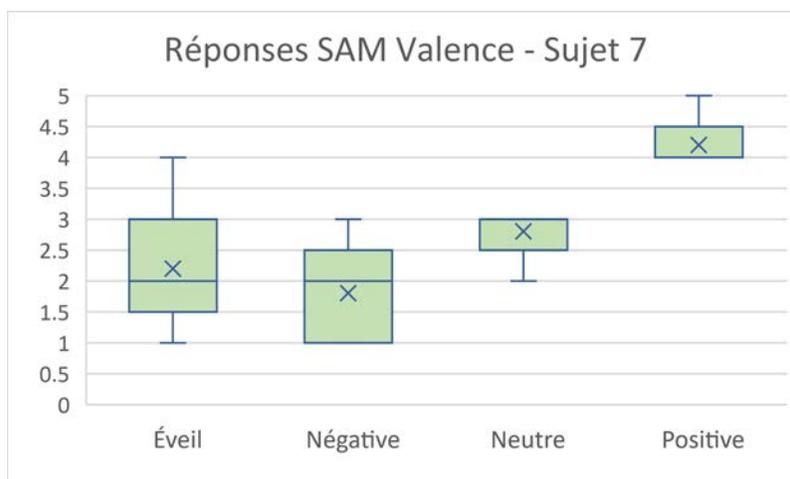


Figure b.2 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 7 - Moyenne du test SAM (valence)

Un effet près de ce qui est attendu, en se basant sur les résultats du test SAM à la figure b.2, est visible avec la méthode F3F4-FAI (figure b.1) avec un index d'asymétrie plus bas pour les images négatives. L'effet des images de catégories « éveil » et « neutre » est plus élevé que pour

les autres catégories dans la majorité des signaux physiologiques, mais le test SAM montre une grande variance dans les réponses données pour les images de catégorie « éveil ». Par contre l'effet des images de la catégorie « positives » est plus près de ce qui est vu pour les images « négatives » ce qui n'est pas représentatif des résultats du test SAM.

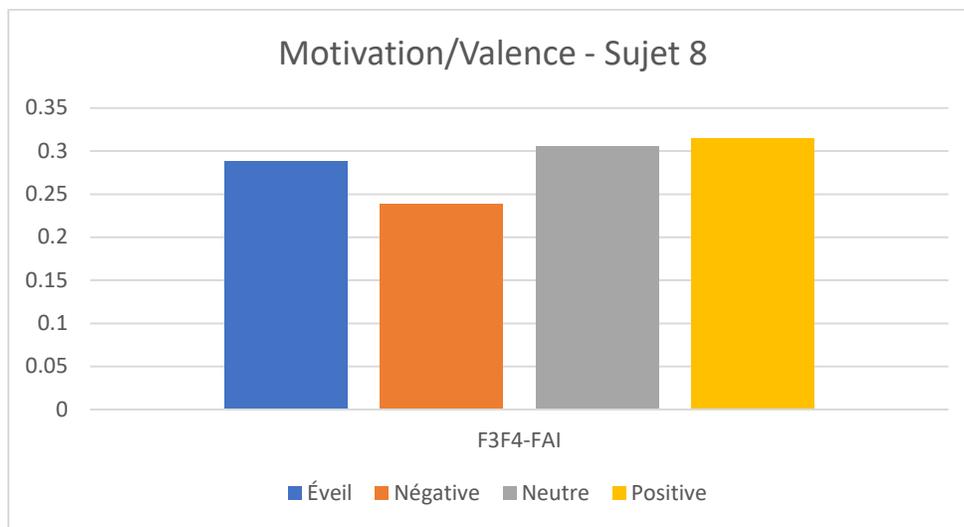


Figure b.3 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 8 - Index d'asymétrie frontale (valence)

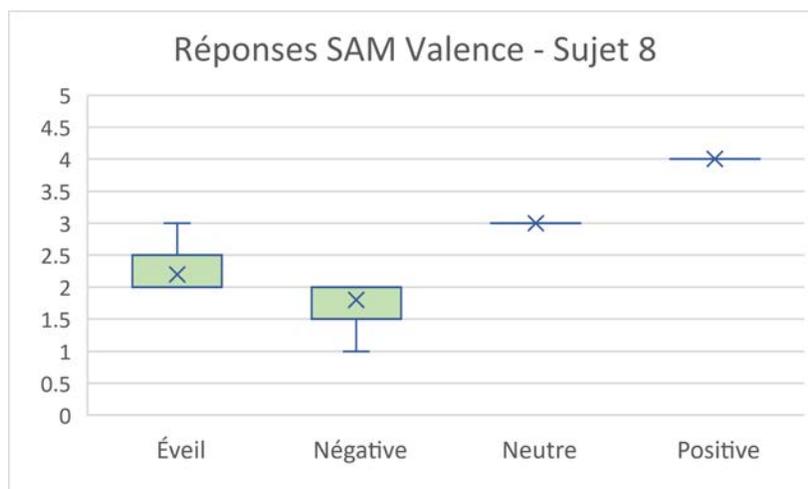


Figure b.4 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 8 - Moyenne du test SAM (valence)

Pour le sujet 8, l'effet le plus près de ce qui est attendu selon les résultats du test SAM, soit un degré de valence plus bas avec les images négatives, un degré de valence plus élevé avec les images positives et des valeurs à mi-chemin pour les images de catégories « éveil » et « neutre », est visible avec la méthode F3F4-FAI qui voit cependant un index d'asymétrie frontale élevé pour les images de catégorie « éveil » (voir figure b.3).

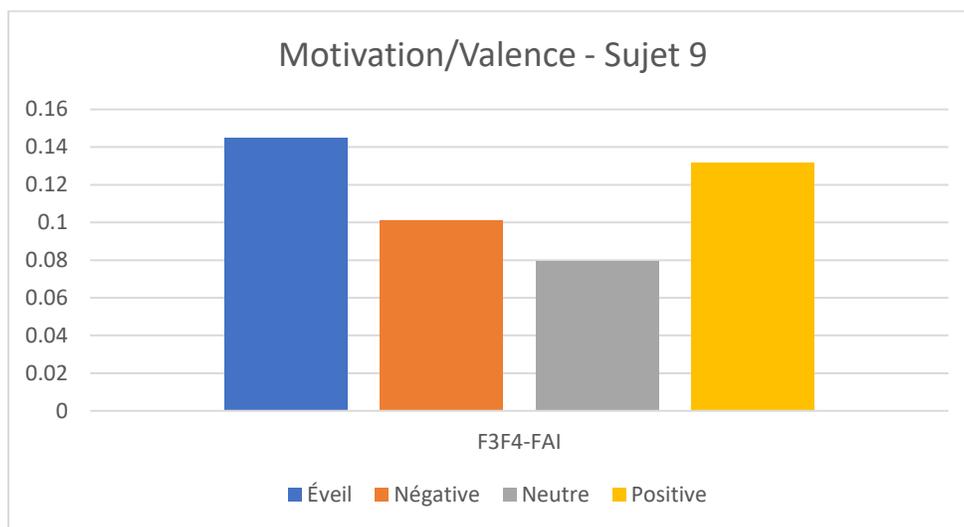


Figure b.5 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 9 - Index d'asymétrie frontale (valence)

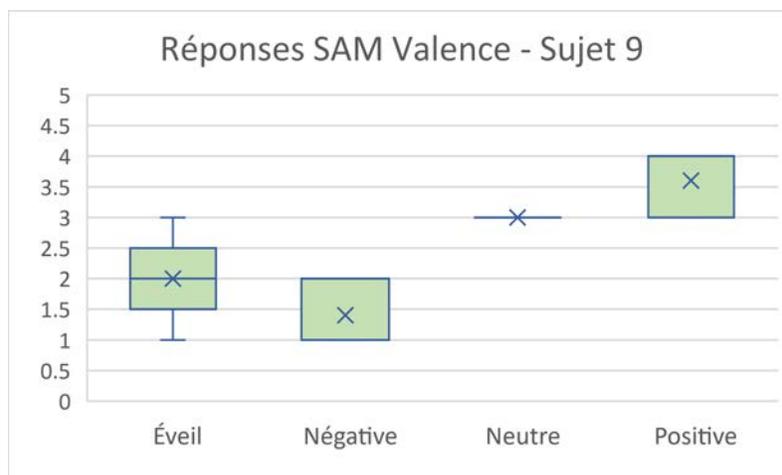


Figure b.6 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 9 - Moyenne du test SAM (valence)

F3F4-FAI a peu de similarités avec le test SAM, les images « éveil » agissant fortement et celles neutres pas suffisamment (voir figure b.6).

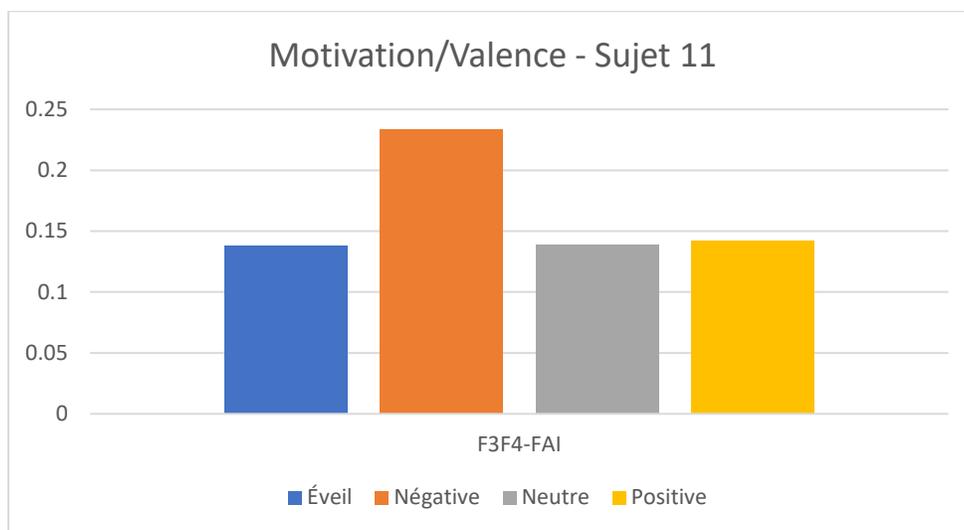


Figure b.7 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 11 - Index d'asymétrie frontale (valence)

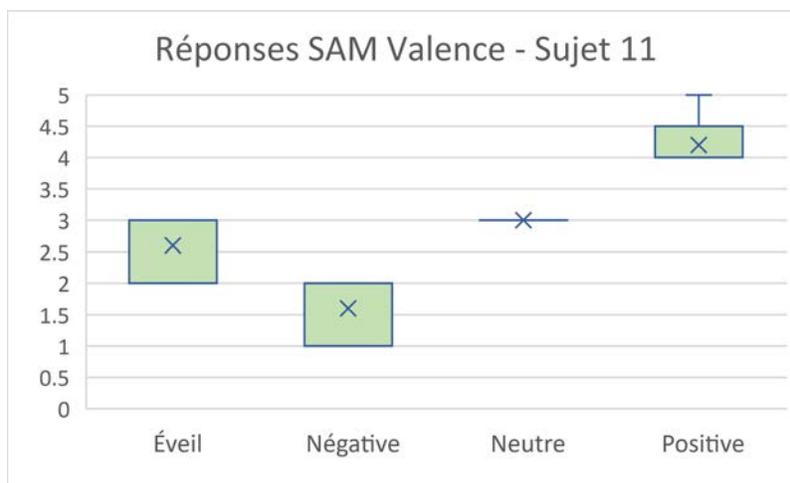


Figure b.8 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 11 - Moyenne du test SAM (valence)

Les données physiologiques ont des similarités avec le test SAM sauf pour les images négatives qui ont un effet beaucoup plus fort que les autres images (voir figure b.8 et figure b.7).

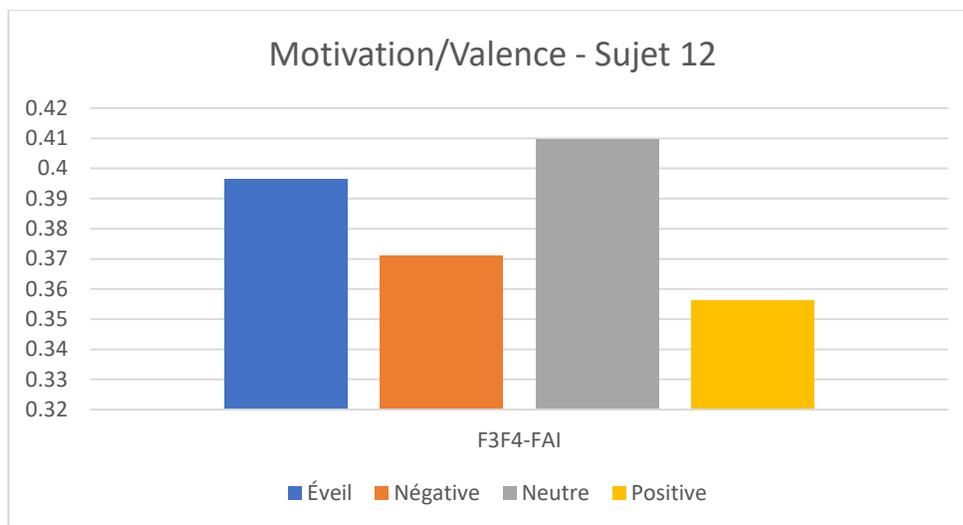


Figure b.9 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 12 - Index d'asymétrie frontale (valence)

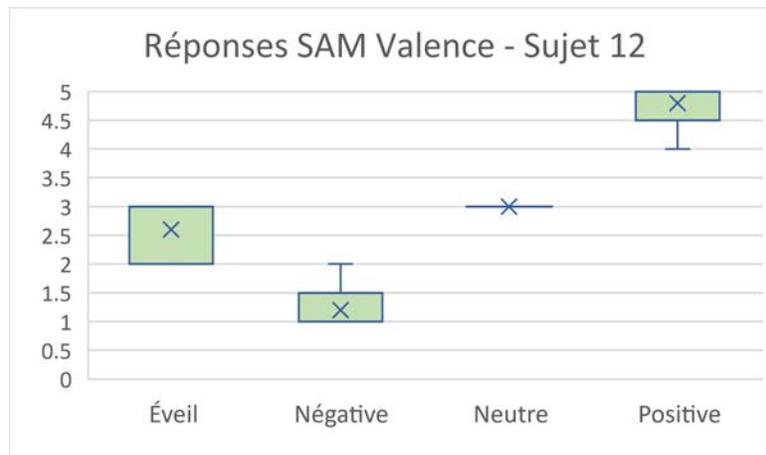


Figure b.10 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 12 - Moyenne du test SAM (valence)

La méthode F3F4-FAI semble être relativement près de ce qui est attendu pour le sujet 12 (voir figure b.9), mais l'effet des images positives ne corrèle pas avec les valeurs du test SAM (voir figure b.10).

## INDEX D'ÉVEIL

L'effet d'éveil est également vérifié et comparé aux résultats d'un test SAM, le tout présenté de la même façon que dans la section précédente. Il est attendu que les images groupées dans la catégorie « éveil » aient des effets élevés. Il est aussi normal d'avoir des images dites « positives » et « négatives » qui ont un fort effet d'éveil puisqu'elles ont été sélectionnées pour leur caractère marqué. La seule catégorie qui devrait avoir un faible effet d'éveil est la catégorie « neutre ». Les méthodes de calculs suivantes ont été utilisées pour voir les effets dans les signaux physiologiques :

$$F3F4\text{-Éveil} = (\text{Beta } F3 + \text{Beta } F4) / (\text{Alpha } F3 + \text{Alpha } F4)$$

Plus les valeurs sont élevées plus l'effet d'éveil est présent chez le sujet.

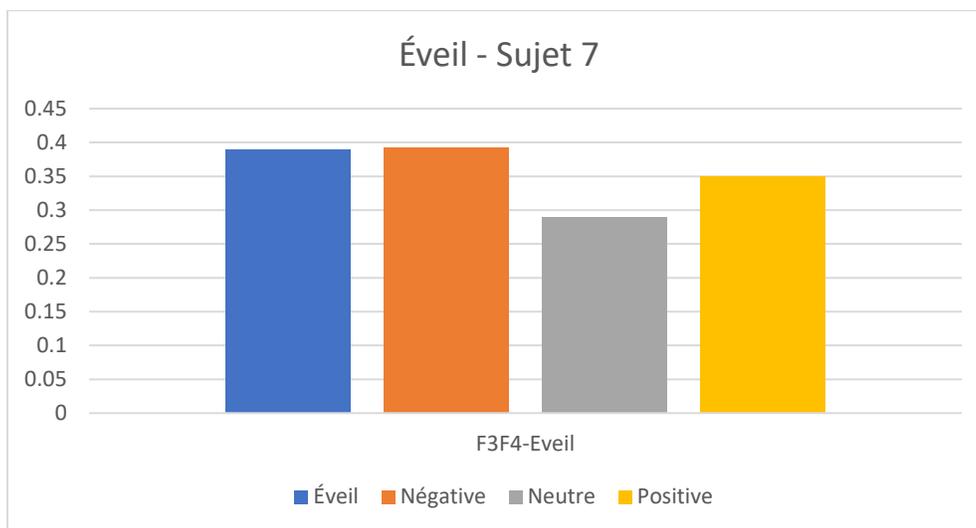


Figure b.11 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 7 - Index d'éveil

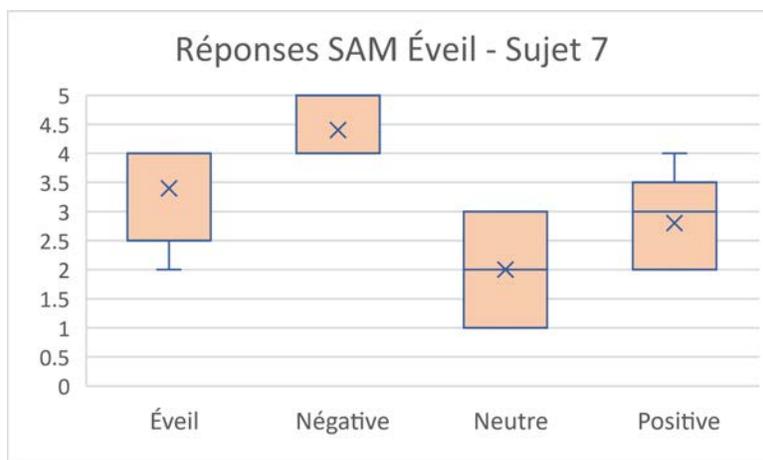


Figure b.12 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 7 - Moyenne du test SAM (Éveil)

La mesure d'éveil donne des résultats relativement proches de ceux du test SAM (voir figure b.12) (voir figure b.11) puisque les images « éveil » ne devraient pas être les plus fortes selon le test SAM.

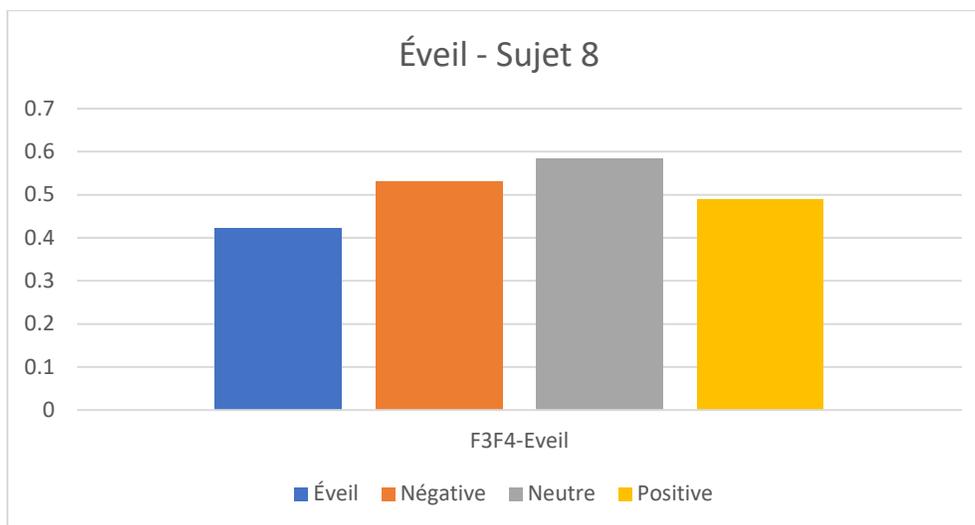


Figure b.13 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 8 - Index d'éveil

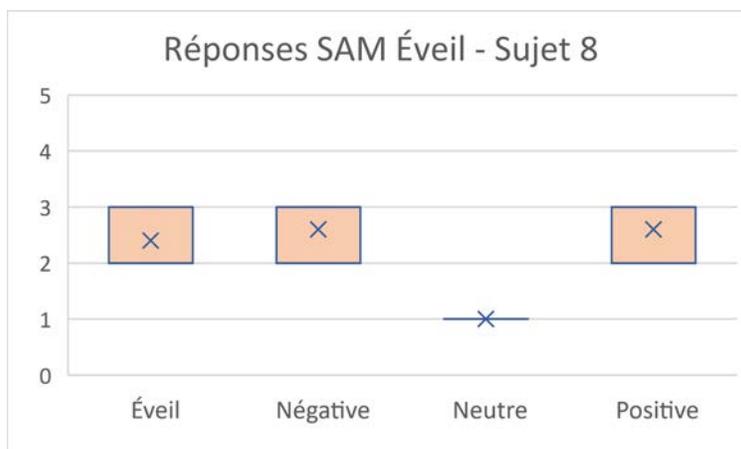


Figure b.14 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 8 - Moyenne du test SAM (Éveil)

Pour le sujet 8, les résultats correspondent peu à ceux du test SAM (voir figure b.14) (voir figure b.13). Il est considéré anormal que les images « neutres » puissent provoquer un état d'éveil plus fort que les images des autres catégories.

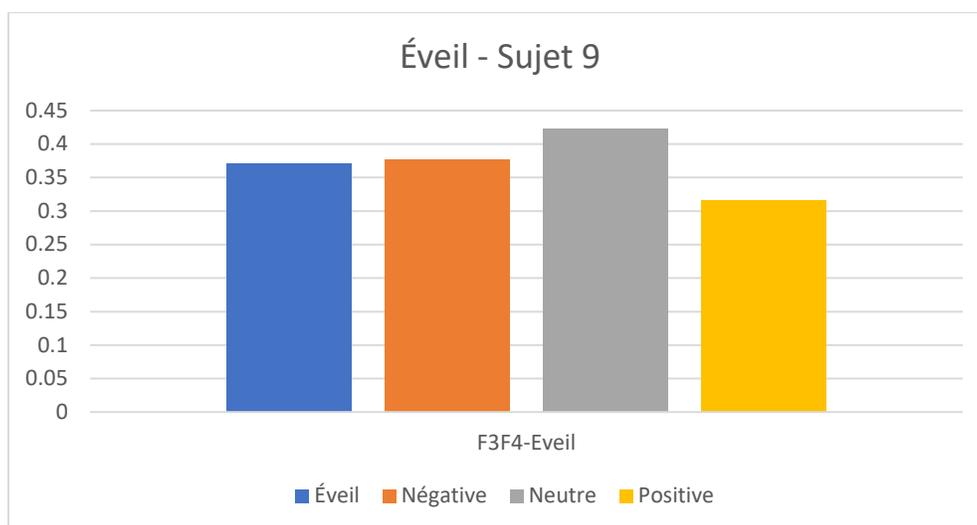


Figure b.15 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 9 - Index d'éveil

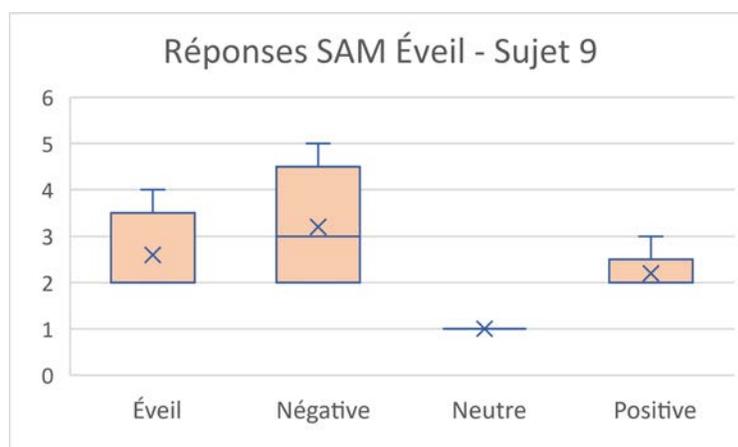


Figure b.16 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 9 - Moyenne du test SAM (Éveil)

Comme pour le sujet 8, la corrélation est faible entre les signaux physiologiques et les résultats du test SAM (voir figure b.16) du sujet 9. L'effet des images « neutres » ne correspond pas à ce qui est attendu (voir figure b.15).

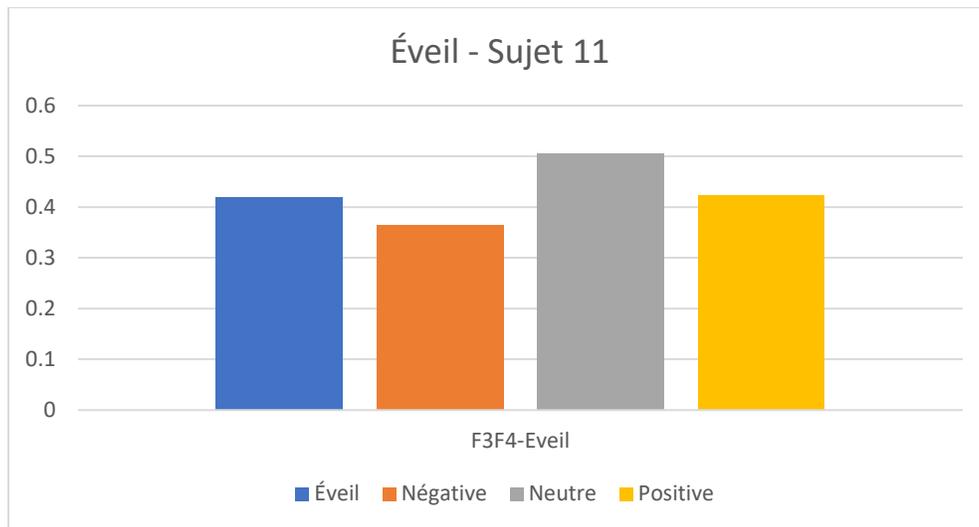


Figure b.17 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 11 - Index d'éveil

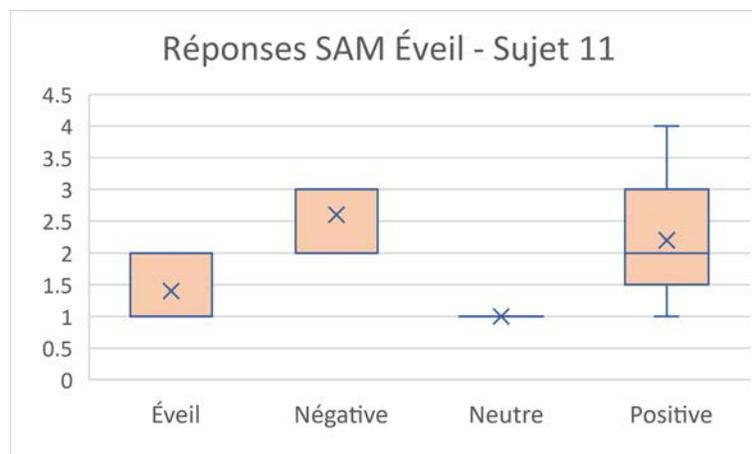


Figure b.18 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 11 - Moyenne du test SAM (Éveil)

Les résultats de F3F4-Éveil (voir figure b.17) du sujet 11 ont peu en commun avec les résultats du test SAM (voir figure b.18).

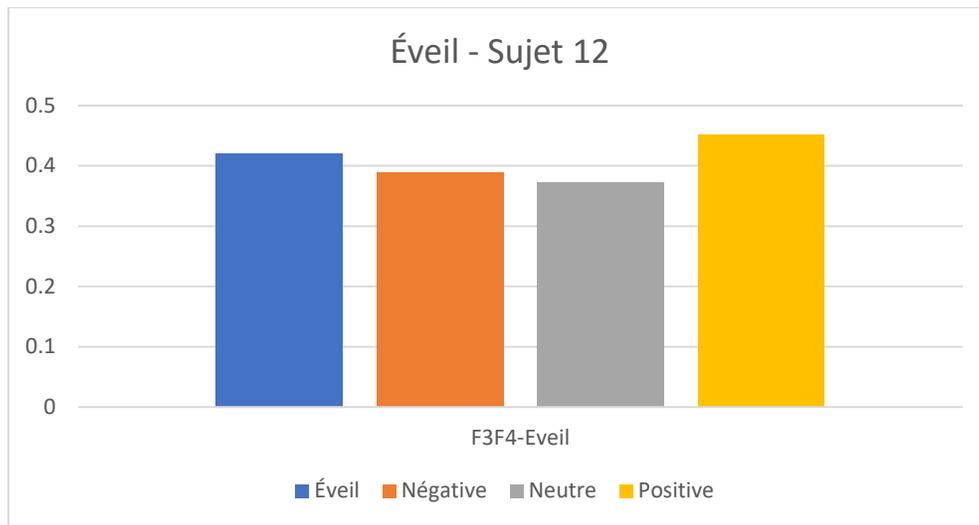


Figure b.19 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 12 - Index d'éveil

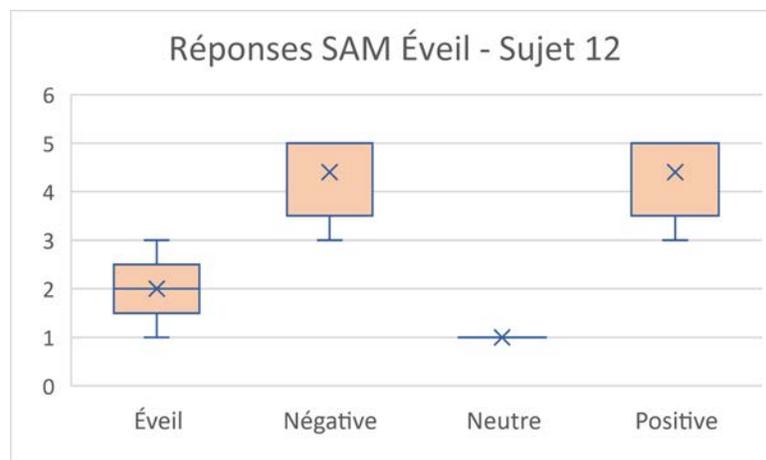


Figure b.20 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 12 - Moyenne du test SAM (Éveil)

L'effet observé sur les images de type « éveil » devrait être moins fort que les images négatives et positives (voir figure b.19) selon les réponses du test SAM (voir figure b.20).

## INDEX D'ENGAGEMENT

La mesure d'engagement n'a pas d'équivalent dans le test SAM, cependant l'article de Mikeal Martey *et al.* (2014) l'associe dans certains cas à l'éveil sans y être directement attaché. La mesure d'engagement pour l'expérimentation a été ajoutée pour des raisons surtout informatives et complémentaires à l'expérimentation finale. La formule suivante a été utilisée pour mesurer le niveau d'engagement :

$$\text{Engagement} = \text{Beta} / (\text{Alpha} + \text{Thêta})$$

Une valeur plus élevée signifie un engagement plus élevé.

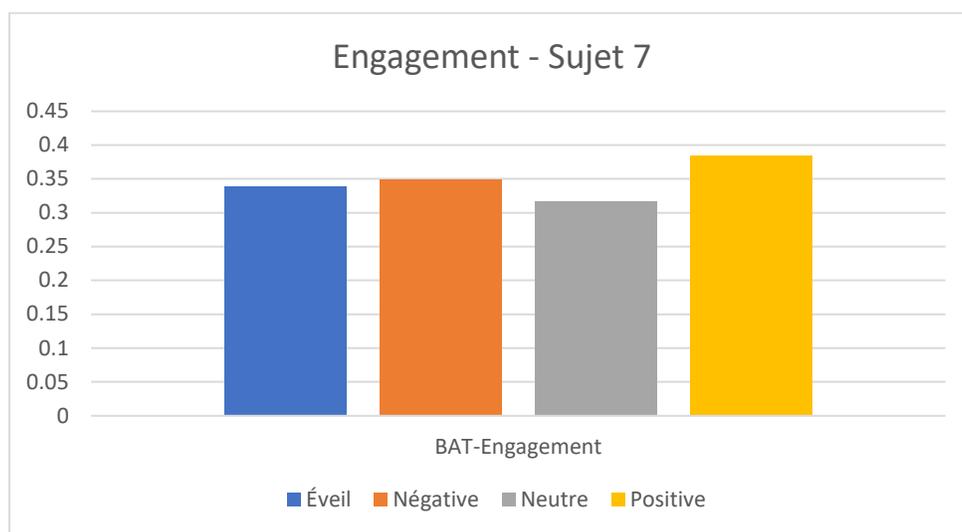


Figure b.21 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 7 - Index d'engagement

Il serait normal que les images « neutres » incitent moins à l'engagement comme à l'éveil.

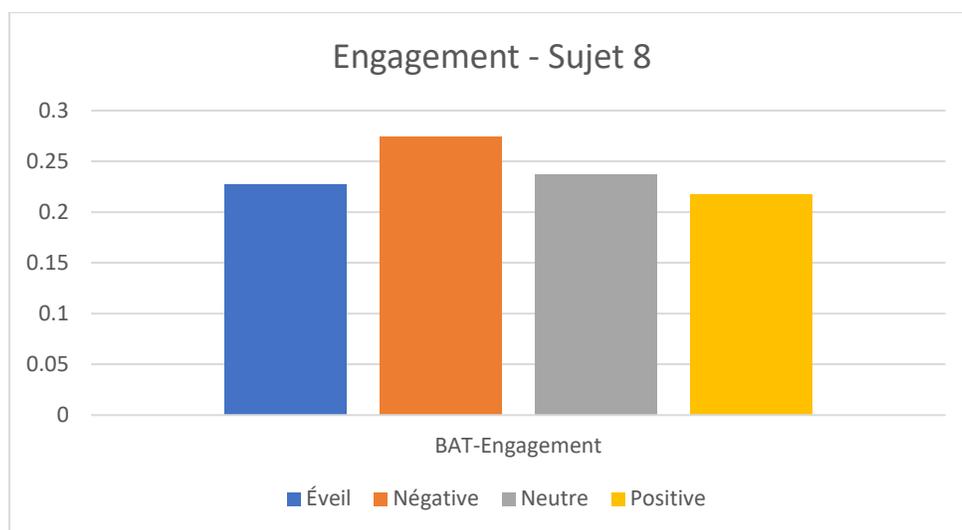


Figure b.22 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 8 - Index d'engagement

Les images « négatives » sont des images assez fortes qui devraient provoquer une réaction émotionnelle forte.

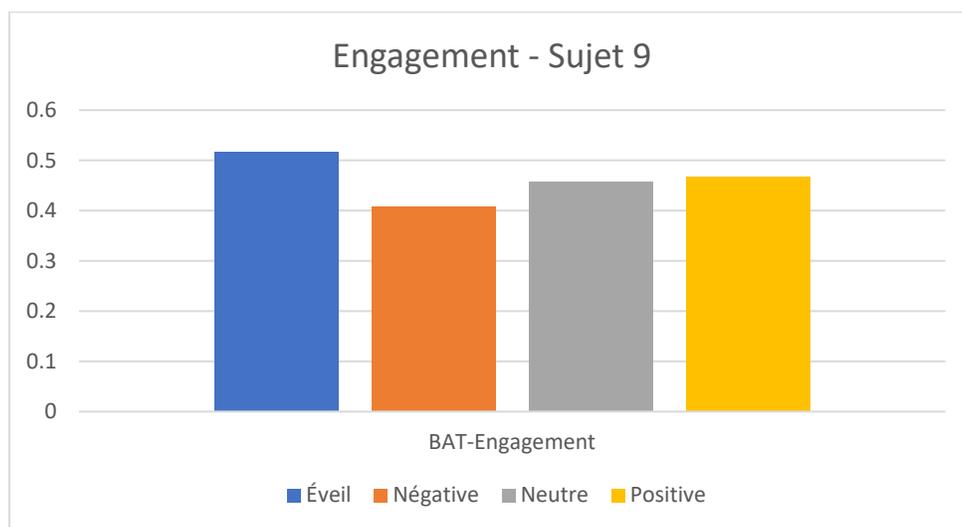


Figure b.23 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 9 - Index d'engagement

Les résultats du sujet 9 se rapprochent des mesures de l'éveil (voir figure b.15) par contre, un effet plus faible des images « neutres » serait attendu (voir figure b.23).

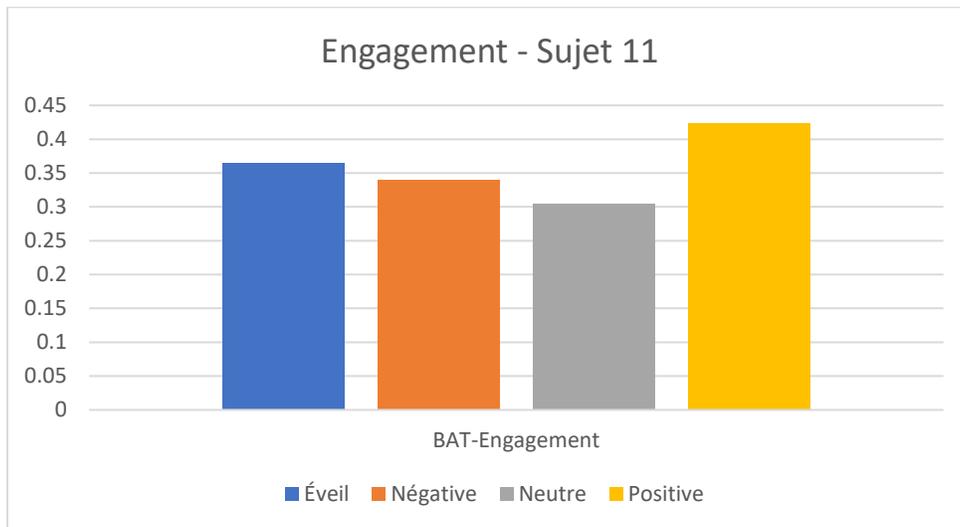


Figure b.24 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 11 - Index d'engagement

Un effet plus faible avec les images « neutres » est tel qu'attendu.

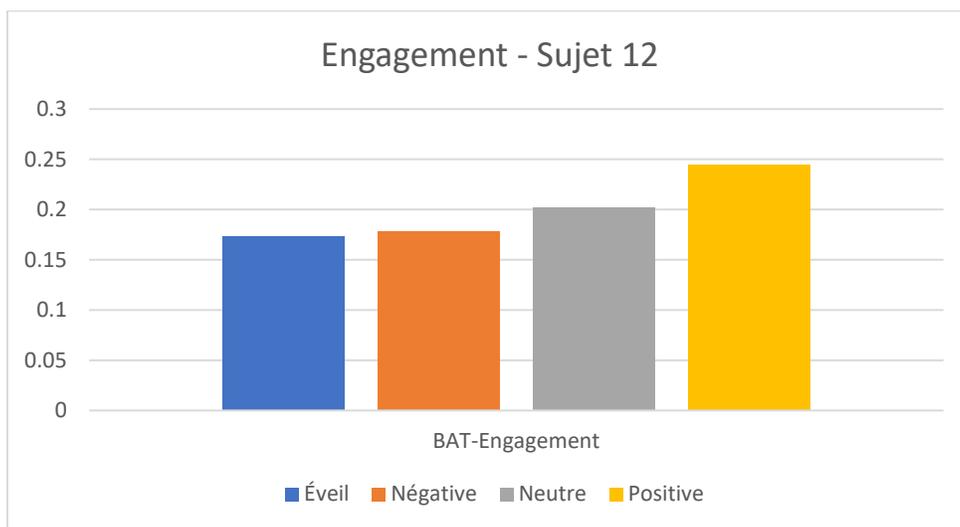


Figure b.25 : Effets de la présentation de différentes catégories d'images - Sujet 12 - Index d'engagement

La mesure d'engagement » (voir figure b.25) correspond partiellement aux valeurs du test SAM pour l'éveil à part les images neutres qui ont un effet trop fort (voir figure b.19).

## Expérimentation

### ANOVA FAI-Motivation

Tableau Annexe b.2: Anova à deux facteurs avec répliquions - FAI-Motivation

Sommaire	Facile	Modéré	Difficile	Total
<i>Sujet 7</i>				
Compte	4	4	4	12
Somme	0.099772	0.145547	0.089663	0.334982
Moyenne	0.024943	0.036387	0.022416	0.027915
Variance	0.001291	0.000109	0.000093	0.000676
<i>Sujet 8</i>				
Compte	4	4	4	12
Somme	0.717292	0.765424	0.677829	2.160545
Moyenne	0.179323	0.191356	0.169457	0.180045
Variance	0.001413	0.00097	0.002672	0.001466
<i>Sujet 9</i>				
Compte	4	4	4	12
Somme	0.689885	0.416997	0.596059	1.702941
Moyenne	0.172471	0.104249	0.149015	0.141912
Variance	0.000339	0.000823	0.003455	0.002133
<i>Sujet 11</i>				
Compte	4	4	4	12
Somme	0.653171	0.118713	0.506802	1.278685
Moyenne	0.163293	0.029678	0.1267	0.106557
Variance	0.004451	0.00323	0.001332	0.005925

*Sujet 12*

Compte	4	4	4	12
Somme	1.20056	1.192255	0.882981	3.275796
Moyenne	0.30014	0.298064	0.220745	0.272983
Variance	0.000308	0.001322	0.004597	0.003187

*Total*

Compte	20	20	20
Somme	3.36068	2.638935	2.753334
Moyenne	0.168034	0.131947	0.137667
Variance	0.009252	0.011857	0.006565

## ANOVA

<i>Source de variance</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Échantillon	0.393602	4	0.098401	54.18287	1.23E-16	2.578739
Colonne	0.015048	2	0.007524	4.142942	0.02231	3.204317
Interaction	0.05049	8	0.006311	3.475236	0.003353	2.152133
Intérieur des groupes	0.081724	45	0.001816			
Total	0.540864	59				

**ANOVA Engagement**

Tableau Annexe b.3: Anova à deux facteurs avec réplifications - Engagement

Sommaire	Facile	Modéré	Difficile	Total
<i>Sujet 7</i>				
Compte	4	4	4	12
Somme	1.372417	1.267165	1.481587	4.121169
Moyenne	0.343104	0.316791	0.370397	0.343431
Variance	0.000274	0.000474	0.002273	0.001346
<i>Sujet 8</i>				
Compte	4	4	4	12
Somme	0.826013	0.914816	0.838323	2.579152

Moyenne	0.206503	0.228704	0.209581	0.214929
Variance	0.00027	0.000563	0.000562	0.000486

*Sujet 9*

Compte	4	4	4	12
Somme	1.903655	1.965682	2.075978	5.945315
Moyenne	0.475914	0.49142	0.518995	0.495443
Variance	0.000741	0.00129	0.001739	0.001374

*Sujet 11*

Compte	4	4	4	12
Somme	1.576546	1.57968	1.672566	4.828791
Moyenne	0.394136	0.39492	0.418141	0.402399
Variance	0.001133	0.001438	0.002839	0.001611

*Sujet 12*

Count	4	4	4	12
Somme	1.346928	1.378046	1.466532	4.191506
Moyenne	0.336732	0.344511	0.366633	0.349292
Variance	0.001644	0.007501	0.001301	0.003024

*Total*

Compte	20	20	20
Somme	7.025559	7.105389	7.534986
Moyenne	0.351278	0.355269	0.376749
Variance	0.00877	0.009721	0.01191

## ANOVA

<i>Source de variance</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Échantillon	0.498854	4	0.124713	77.81304	1.25E-19	2.578739
Colonne	0.007507	2	0.003754	2.342057	0.107742	3.204317
Interaction	0.00662	8	0.000828	0.516317	0.837813	2.152133
Intérieur des groupes	0.072123	45	0.001603			
Total	0.585104	59				

## ANOVA Éveil

Tableau Annexe b.4: Anova à deux facteurs avec réplifications - Éveil

Sommaire	Facile	Modéré	Difficile	Total
<i>Sujet 7</i>				
Compte	4	4	4	12
Somme	1.338027	1.34048	1.287022	3.965529
Moyenne	0.334507	0.33512	0.321755	0.330461
Variance	0.000973	0.002759	0.002789	0.00182
<i>Sujet 8</i>				
Compte	4	4	4	12
Somme	2.341608	2.317588	2.256541	6.915737
Moyenne	0.585402	0.579397	0.564135	0.576311
Variance	0.001971	0.00437	0.000352	0.001913
<i>Sujet 9</i>				
Compte	4	4	4	12
Somme	1.54123	1.628193	1.600196	4.769618
Moyenne	0.385307	0.407048	0.400049	0.397468
Variance	0.000448	0.000791	0.003691	0.001434
<i>Sujet 11</i>				
Compte	4	4	4	12
Somme	1.580823	1.38832	2.1317	5.100843
Moyenne	0.395206	0.34708	0.532925	0.42507
Variance	0.027866	0.009414	0.005331	0.018387
<i>Sujet 12</i>				
Compte	4	4	4	12
Somme	1.825602	1.739088	2.016288	5.580979
Moyenne	0.456401	0.434772	0.504072	0.465082
Variance	0.003234	0.003396	0.009688	0.005365
<i>Total</i>				
Compte	20	20	20	
Somme	8.627291	8.413669	9.291747	
Moyenne	0.431365	0.420683	0.464587	

Variance 0.01327 0.011339 0.01202

## ANOVA

<i>Source de variance</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Échantillon	0.398812	4	0.099703	19.40404	2.44E-09	2.578739
Colonne	0.020969	2	0.010485	2.040509	0.141816	3.204317
Interaction	0.065918	8	0.00824	1.603621	0.150717	2.152133
Intérieur des groupes	0.231221	45	0.005138			
Total	0.716921	59				