

Université de Montréal

# **Contribution de la motivation dans les jeux sérieux**

par

Lotfi Derbali

Département d'informatique et de recherche opérationnelle

Faculté des arts et des sciences

Thèse présentée au Département d'informatique et de recherche opérationnelle

en vue de l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)

en Informatique

Mars 2013

© Lotfi Derbali, 2013



Université de Montréal

Cette thèse intitulée :

## **Contribution de la motivation dans les jeux sérieux**

présentée par :

Lotfi Derbali

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

Pascal Vincent, président-rapporteur

Claude Frasson, directeur de recherche

Aude Dufresne, membre du jury

Jean-Marc Labat, examinateur externe

Dominic Arsenault, représentant du doyen



## Résumé

La motivation incite les apprenants à s'engager dans une activité et à persévérer dans son accomplissement afin d'atteindre un but. Dans les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI), les études sur la motivation des apprenants possèdent trois manques importants : un manque de moyens objectifs et fiables pour évaluer cet état, un manque d'évaluation de rôles joués par les facteurs motivationnels conçus dans l'environnement d'apprentissage et un manque de stratégies d'interventions motivationnelles pour soutenir la motivation des apprenants.

Dans cette thèse, nous nous intéressons à mieux comprendre l'état de la motivation des apprenant ainsi que les facteurs et stratégies motivationnels dans un environnement d'apprentissage captivant : les jeux sérieux.

Dans une première étude, nous évaluons la motivation des apprenants par l'entremise d'un modèle théorique de la motivation (ARCS de Keller) et de données électro-physiologiques (la conductivité de la peau, le rythme cardiaque et l'activité cérébrale). Nous déterminons et évaluons aussi quelques situations ou stratégies favorisant la motivation dans l'environnement des jeux sérieux étudié.

Dans une deuxième étude, nous développons un prototype de jeux sérieux intégrant – dans une première version – quelques éléments motivationnels issus de jeux vidéo et – dans une deuxième version – des stratégies motivationnelles d'un modèle théorique de la motivation. Nous espérons, avec une évaluation motivationnelle de notre prototype, soutenir les apprenants à atteindre des hauts niveaux de motivation, de persévérance et de performance.

**Mots-clés :** Motivation, jeux sérieux, stratégies motivationnelles, données physiologiques, EEG.

## **Abstract**

Motivation encourages learners to be engaged in an activity and to persevere in its accomplishment in order to achieve a goal. In Intelligent Tutoring Systems (ITS), different studies of learners' motivation have showed three major lacks: a lack of objective and reliable means to assess this state, a lack of evaluation of the roles played by motivational factors developed by learning environments, and a lack of motivational interventions to support learners' motivation.

In this thesis, we are interested in understanding the state of motivation, as well as motivational factors and strategies in an exciting learning environment: serious games.

First, we carry out an empirical study to assess learners' motivation using Keller's ARCS psychological model combined with electro-physiological recordings, namely skin conductance, heart rate, and brain activity. We also identify and evaluate different situations and strategies that promote motivation in a serious game environment.

Second, we develop a serious game which has some motivational elements (version 1) as well as different motivational strategies (version 2). Our serious game intends to support learners to reach high levels of motivation, perseverance and performance. We conduct an empirical assessment of learners' motivation during interaction with our serious game.

**Keywords** : Motivation, serious games, motivational strategies, physiological data, EEG.

# Table des matières

Liste des tableaux.....	v
Liste des figures.....	vii
Remerciements .....	ix
<b>Chapitre 1 : Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1 Contexte général.....	1
1.2 Problématiques.....	2
1.3 Buts de cette thèse .....	4
1.4 Organisation de la thèse .....	6
<b>Chapitre 2 : État de l'art .....</b>	<b>9</b>
2.1 Introduction.....	9
2.2 Systèmes tutoriels intelligents.....	9
2.2.1 Présentation .....	9
2.2.2 Composantes d'un STI.....	10
2.2.3 Quelques travaux sur les STI .....	12
2.2.4 Conclusion.....	19
2.3 Jeux sérieux.....	20
2.3.1 Présentation .....	20
2.3.2 Bienfaits du jeu vidéo .....	21
2.3.3 Exemples de jeux sérieux.....	22
2.3.4 Quelques travaux sur les jeux sérieux .....	24
2.3.5 Conclusion.....	25
2.4 Étude de la motivation.....	26
2.4.1 Définition .....	26
2.4.2 Modèles théoriques.....	26
2.4.3 Mesure de la motivation.....	30
2.4.4 Déterminants, indicateurs et stratégies motivationnels.....	35
2.5 Incidence de l'utilisation de jeux sérieux sur la motivation .....	38
2.6 Conclusion .....	40

<b>Chapitre 3 : Évaluation de la motivation dans les jeux sérieux : Food-Force comme exemple.....</b>	<b>41</b>
3.1 Introduction .....	41
3.2 Hypothèse et choix faits .....	41
3.2.1 Environnement de jeux sérieux.....	42
3.2.2 Questionnaire de motivation et test de performance.....	43
3.2.3 Différents capteurs électro-physiologiques .....	44
3.3 Étude expérimentale : Expérience de juin 2009 .....	46
3.3.1 Procédure.....	46
3.3.2 Détails techniques .....	47
3.3.3 Collecte des données .....	51
3.3.4 Analyse des données .....	52
3.4 Résultats obtenus .....	55
3.4.1 Évaluation de la performance .....	55
3.4.2 Évaluation de la motivation .....	56
3.5 Conclusion.....	67
<b>Chapitre 4 : Étude de catégories et de stratégies motivationnelles.....</b>	<b>69</b>
4.1 Introduction .....	69
4.2 Approche théorique.....	69
4.2.1 Modèle ARCS de motivation.....	70
4.2.2 Étude de deux sous-catégories d'Attention A2 et A3 .....	72
4.2.3 Stratégies motivationnelles dans Food-Force.....	75
4.3 Étude expérimentale.....	80
4.3.1 Ratio d'attention Thêta/Bêta1 .....	80
4.3.2 Différents indices PoT.....	81
4.4 Résultats obtenus .....	83
4.4.1 Sous-catégorie A2 attentionnelle .....	83
4.4.2 Sous-catégorie A3 attentionnelle .....	87
4.4.3 Stratégies motivationnelles .....	90
4.5 Conclusion.....	94



<b>Chapitre 5 : HeapMotiv, un environnement d'apprentissage immersif à base de jeux.....</b>	<b>95</b>
5.1 Introduction.....	95
5.2 Quelques aspects motivationnels .....	95
5.2.1 Environnement 3D.....	97
5.2.2 Différentes missions .....	98
5.3 Description et Réalisation.....	99
5.3.1 Le marketing .....	99
5.3.2 Le scénario .....	100
5.3.3 Les ressources.....	101
5.3.4 La conception du jeu.....	102
5.4 HeapMotivV2.....	108
5.5 Conclusion .....	113
<b>Chapitre 6 : Évaluation motivationnelle de HeapMotiv.....</b>	<b>115</b>
6.1 Introduction.....	115
6.2 Principaux éléments utilisés.....	115
6.2.1 Compétence et expérience antérieure .....	116
6.2.2 Essais et répétition .....	118
6.2.3 Stratégies motivationnelles .....	119
6.3 Étude expérimentale : expérience de novembre 2011 .....	121
6.3.1 Procédure .....	121
6.3.2 Collecte et analyse de données.....	123
6.3.3 HMM pour les stratégies motivationnelles .....	124
6.4 Résultats obtenus.....	128
6.4.1 Performance .....	128
6.4.2 Motivation.....	129
6.5 Conclusion .....	139
<b>Chapitre 7 : Conclusion .....</b>	<b>141</b>
7.1 Contributions.....	141
7.2 Limites et futurs travaux.....	143
<b>Bibliographie.....</b>	<b>145</b>

<b>Annexe A : Questionnaire IMMS .....</b>	<b>157</b>
<b>Annexe B : Processus de classification.....</b>	<b>159</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1 Exemples de jeux sérieux.....	23
Tableau 2 Résultats du test de Wilcoxon .....	56
Tableau 3 Résultats de l'ANOVA de Friedman.....	58
Tableau 4 Résultats des régressions linéaires multiples .....	66
Tableau 5 Modèle ARCS de motivation .....	71
Tableau 6 Trois meilleurs classifieurs de la sous-catégorie A2 .....	86
Tableau 7 Modèles régressifs de la sous-catégorie A3 .....	88
Tableau 8 Régressions logistiques: tests Omnibus.....	91
Tableau 9 Régressions logistiques: tableaux des variables dans l'équation.....	92
Tableau 10 Régressions logistiques: tableaux de classification .....	93
Tableau 11 Répartition des participants.....	122
Tableau 12 Résultats de différents tests de Wilcoxon .....	128
Tableau 13 Répartition de participants dans les deux classes « faible » et « forte » .....	132
Tableau 14 Résultats de différents tests de Mann-Whitney U .....	136
Tableau 15 Performances du processus de classification à base de HMM.....	138



## Liste des figures

Figure 1 Système tutoriel intelligent.....	10
Figure 2 Différentes bandes de fréquences EEG (Velly, et al. 2012).....	19
Figure 3 Pyramide de Maslow de besoins (Hattem 2011) .....	27
Figure 4 Modèle d'autodétermination (Toffoli 2003).....	28
Figure 5 Modèle ARCS de motivation (Belzile 2011) .....	29
Figure 6 Espace 2D valence/excitation émotionnel.....	45
Figure 7 PAM et Food-Force.....	46
Figure 8 Protocole expérimental.....	47
Figure 9 Système international 10-20 (Malmivuo et Plonsey 1995).....	48
Figure 10 Enregistrements électro-physiologiques.....	50
Figure 11 Sites EEG enregistrés .....	50
Figure 12 Une question du pré-test (A) et des items du questionnaire IMMS (B)...	51
Figure 13 Moyennes des mesures RC (A) et CP (B) dans les différentes missions jouées.....	60
Figure 14 Quadrant des mesures RC et CP dans l'espace émotionnel .....	61
Figure 15 Densités spectrales de puissance DSP des bandes de fréquences Thêta (A), Alpha (B), Bêta (C) et Gamma (D) pour les différentes missions jouées.	62
Figure 16 Alarme sonore et lumineuse .....	72
Figure 17 Exemples d'un bon largage (A) et d'un mauvais largage (B) dans la mission 3.....	73
Figure 18 Différents obstacles rencontrés durant la mission 5.....	74
Figure 19 Différentes stratégies motivationnelles dans Food-Force .....	76
Figure 20 Stratégie de résolution de problèmes .....	77
Figure 21 Stratégie de vidéo pédagogique .....	78
Figure 22 Stratégie d'affichage du score obtenu .....	79
Figure 23 Indice PoT du ratio EEG d'attention .....	82
Figure 24 Tendances physiologiques entre les 3 alarmes .....	84
Figure 25 Tendances physiologiques de deux apprenants de groupes différents.....	85
Figure 26 Comportements physiologiques dans les missions 3 et 5 de Food-Force	89
Figure 27 Architecture d'un STI enrichi avec un module motivationnel .....	96

---

Figure 28 Un tas-max binaire (Cormen, et al. 2004).....	99
Figure 29 Environnement du jeu HeapMotiv .....	100
Figure 30 Diagramme des classes principales .....	103
Figure 31 Mission Tetris : construction d'un tas max.....	104
Figure 32 Mission Shoot.....	105
Figure 33 Mission Sort : opération <i>Insérer</i> .....	107
Figure 34 Mission Sort : opération <i>Supprimer</i> .....	108
Figure 35 Présentation de l'objectif général du jeu (A) et des tâches à accomplir avant chaque mission (B).....	109
Figure 36 Possibilités de choix du niveau de jeu (A) et de plusieurs tentatives (B) dans la mission Tetris.....	110
Figure 37 Temps imparti, jokers et score dans Tetris (niveau normal).....	111
Figure 38 Rencontre avec Sinbad à la porte de sortie .....	112
Figure 39 Protocole expérimental .....	122
Figure 40 Une question du pré-test (A) et des items du questionnaire de motivation (B).....	123
Figure 41 Un HMM de chaque catégorie du modèle ARCS .....	125
Figure 42 Processus de classification utilisant les HMM.....	127
Figure 43 Fluctuations de données électro-physiologiques pendant les différents essais .....	133
Figure 44 Fluctuations de données électro-physiologiques dans la mission Sort..	135

## Remerciements

En tout premier lieu, je tiens à exprimer ma sincère gratitude à mon directeur - le professeur Claude Frasson - de m'avoir appris les sens d'exigence et de rigueur et de m'avoir encouragé tout au long de cette thèse.

J'adresse mes remerciements sincères à Jean-Marc Labat - Professeur à l'université Pierre et Marie Curie -, Pascal Vincent et Aude Dufresne - Professeurs à l'université de Montréal - pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à ce travail et pour avoir accepté de faire partie du jury.

Je remercie le gouvernement Tunisien pour m'avoir octroyé la bourse d'excellence doctorale, ce qui m'a permis de mener à terme ce travail dans des bonnes conditions.

Je tiens aussi à remercier les membres du laboratoire HERON. J'adresse une pensée particulière à Pierre Chalfoun, Timothée Autin et Ramla Ghali qui ont participé à certains travaux de cette thèse.

Je remercie également deux personnes à Tunis, Sana et Abdelkarim, et tous mes amis à Montréal qui m'ont entouré durant ces quelques années passées à Montréal et qui ont rendu cette période de ma vie particulièrement agréable.

Je pense enfin à mes parents, frères et sœur qui m'ont donné le goût d'apprendre.

A toutes ces personnes, un immense merci.





# Chapitre 1 : Introduction

## 1.1 Contexte général

La recherche sur la motivation des apprenants dans le domaine des technologies de l'éducation vise à trouver des outils scientifiques destinés à aider les enseignants à mieux comprendre les processus d'apprentissage. Les enseignants peuvent alors se servir de ces outils scientifiques pour élaborer des stratégies d'intervention moins spontanées (sociales, affectives, etc.) et plus rigoureuses (pédagogiques, disciplinaires, organisationnelles, etc.). Ce besoin d'étudier la motivation s'explique par la place importante qu'occupe cette variable psychologique – conçue comme une variable pédagogique par quelques modèles cognitifs utilisés en pédagogie – parmi les variables influençant le processus d'apprentissage. La motivation d'un apprenant interfère avec l'apprentissage et oriente son comportement, son action et sa performance vers un but donné.

Dans les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI) qui ont pour vocation l'adaptation intelligente de l'enseignement à des individus, les chercheurs s'intéressent aux besoins spécifiques de l'apprenant en évaluant ses problèmes afin que le système lui propose l'aide et le soutien nécessaires. La question de la motivation des apprenants et son apport est au centre de récentes recherches, non seulement pour mieux évaluer cette variable, mais aussi pour en cerner les limites. Ces recherches sont particulièrement importantes dans les jeux vidéo, par exemple, pour soutenir la motivation des apprenants. Dans ce contexte, l'exploitation des jeux vidéo en des applications qui ne sont plus exclusivement ludiques, mais de plus en plus sérieuses, notamment éducatives, est en plein essor. Les jeux sérieux (*serious games*) sont une nouvelle génération d'outils de connaissance et de communication combinant une intention pédagogique et des aspects ludiques issus de jeux vidéo. Ils offrent un contenu riche de graphismes, jouabilité et scénario et impliquent un fort engagement du joueur dans des situations d'interactivité, immersion, apprentissage par l'erreur, valeur de la récompense et rétroaction.

Certains chercheurs considèrent les jeux sérieux dans la conception des STI dans le but de placer l'apprenant au centre d'une situation d'apprentissage captivante et motivante (Bergeron 2008; Johnson et Wu 2008). Ils affirment que l'efficacité des jeux sérieux réside dans la présentation et la structuration des connaissances; les performances en termes de rétention et d'acquisition d'informations; l'implication du cerveau dans la concentration sur des fonctions indépendantes sans pour autant provoquer de fatigue; l'action sur les émotions et la génération du plaisir; etc.

Actuellement, plusieurs recherches visent à développer des STI capables de suivre de plus près le cheminement psychologique et cognitif des apprenants et de simuler les stratégies d'interventions des tuteurs humains. Cependant, l'impact psychologique et cognitif des jeux sérieux sur les apprenants, notamment sur leur motivation, n'a jusqu'à présent pas fait l'objet de beaucoup d'évaluations empiriques formelles. Des études plus approfondies s'avèrent maintenant nécessaires, d'autant que ces jeux commencent à susciter un intérêt croissant dans plusieurs secteurs. C'est dans ce contexte que la présente thèse a été définie.

## 1.2 Problématiques

Des états négatifs – émotionnels ou cognitifs – influencent les apprenants en interagissant avec des STI et posent aujourd'hui un problème majeur (Arroyo, et al. 2007; Baker, et al. 2006). L'apprenant se retrouve par exemple isolé et sans assistance face aux situations complexes qui influencent sa motivation et son intérêt d'apprentissage. Une première série de solutions, centrées *problème*, concerne des stratégies pédagogiques avec des interventions pour faciliter la compréhension de la matière enseignée ou l'accomplissement de la tâche donnée; mais elles ne tiennent pas compte de l'état cognitif et émotionnel de l'apprenant. Une deuxième série de solutions, centrées *apprenant*, utilise des stratégies mises en place récemment dans des STI qui visent à soutenir l'apprenant dans ces différents états; mais elles considèrent rarement l'évaluation et le soutien de la motivation, essentiellement de façon empirique. De ce fait, une étude de l'état de la motivation des apprenants à la fois théorique, basée sur un modèle de la motivation, et empirique, exploitant des

données réelles des apprenants – en particulier leurs réactions physiologiques –, nous paraît manquante dans le domaine des STI.

Avec l'utilisation des jeux sérieux, l'hypothèse est toujours faite que ce médium est naturellement captivant et que les apprenants sont intrinsèquement motivés pour l'expérimenter. Cependant, cette hypothèse n'a pas été totalement validée et une éventuelle émergence des émotions négatives et des états de désengagement est quand même connue après une certaine période d'interaction. En lui présentant un jeu sérieux, l'apprenant captivé par les jeux vidéo et les aspects ludiques risque d'être déçu en faisant des comparaisons avec les jeux vidéo qu'il a expérimentés. Il risque aussi d'être moins curieux et de lâcher prise en apercevant que la jouabilité n'est pas attrayante. Il existe un problème, dans les conceptions actuelles des jeux sérieux, de manque d'études sur les aspects motivationnels de ces jeux sérieux, les techniques de maintien de l'attention des joueurs tout au long de jeu et les stratégies intelligentes qui peuvent renforcer la motivation.

De manière générale, le développement des jeux sérieux est complexe et coûteux. Il implique de nombreuses données humaines, techniques, ergonomiques, ludiques, etc. De plus, ce sont les chercheurs et les professeurs académiques qui développent généralement leurs jeux sérieux dans le cadre de leur fonction d'enseignement ou de leurs travaux de recherche. Ces personnes n'ont pas souvent les ressources humaines et budgétaires pour obtenir un produit comparable aux jeux développés par les entreprises spécialisées. Elles sont aussi soucieuses de l'atteinte des objectifs pédagogiques bien plus que la conception ludique lors du développement de leurs propres jeux sérieux. Ainsi, les jeux développés dans un cadre académique finissent par avoir l'air très sérieux et manquent d'aspects ludiques et ergonomiques. Ceci est en dissonance avec les recommandations données par des concepteurs de jeux sérieux qui cherchent à établir un équilibre entre les aspects ludiques et pédagogiques (Kasbi 2012). La question de l'atteinte d'un équilibre entre les objectifs pédagogiques et la conception ludique des jeux sérieux, des moyens déterminants dans cet équilibre souhaité et de son évaluation objective n'est pas assez évoquée et sa réponse reste fonction des appréciations des concepteurs des jeux sérieux et/ou des questionnaires donnés au public cible concerné par le jeu en question.

Du point de vue applicatif, l'enjeu pour les enseignants et les formateurs est de prendre des initiatives pour intégrer les jeux sérieux dans leurs pratiques pédagogiques en fonction de leurs ressources financières, technologiques et humaines. Un réflexe de rejet caractérise certains enseignants et formateurs malgré la « réhabilitation » des jeux en leur associant le terme sérieux pour désamorcer ce réflexe et inciter les différents acteurs – tuteurs et apprenants – à se saisir d'un tel outil. Il existe des craintes parmi les enseignants et les formateurs que le jeu sérieux soit trop ludique pour apporter un enseignement, concurrent plutôt qu'un outil d'aide à l'apprentissage, source d'addiction et de développement de comportements violents, etc. Quelques expérimentations ont été faites afin de montrer l'impact positif des jeux sérieux sur les performances des apprenants, mais des efforts supplémentaires, en termes d'études empiriques, sont encore demandés pour mettre fin à tout réflexe de rejet de l'application des jeux sérieux dans un contexte éducatif.

### **1.3 Buts de cette thèse**

La présente thèse cherche à étudier la motivation des apprenants dans un environnement de jeux sérieux. Les problématiques évoquées ci-dessus y sont abordées pour définir et recenser les éléments d'analyse et contribuer à leur résolution. Cette thèse vise à combler le manque d'évaluation et de soutien de la motivation dans les jeux sérieux. Elle propose aussi de créer un jeu sérieux motivant pour expérimenter et évaluer certaines stratégies de renforcement de la motivation des apprenants. La mesure se fera par le biais de capteurs biométriques spécialisés dans l'enregistrement des réactions cérébrales et émotionnelles des apprenants. De façon plus précise, nous souhaitons :

- trouver un moyen pour mesurer la motivation et son niveau auprès des apprenants,
- identifier des patrons physiologiques de l'apprenant caractérisant son niveau de motivation,
- identifier les sources des problèmes de motivation,
- extraire des facteurs motivationnels dans un environnement de jeux sérieux,
- proposer un jeu sérieux intégrant l'ensemble des caractéristiques et des facteurs de la motivation,

- soutenir la motivation des apprenants dans ce jeu avec l'application de certaines stratégies motivationnelles basées sur un modèle de motivation,
- réfléchir à une méthode de modélisation de réactions électro-physiologiques en fonction de stratégies motivationnelles implémentées,
- trouver, dans les stratégies motivationnelles, une solution pour pallier le déséquilibre entre les aspects ludiques et pédagogiques.

Pour y arriver, nous avons mis au point une première étude expérimentale pour recenser les caractéristiques physiologiques de la motivation des apprenants et les facteurs motivationnels de l'environnement des jeux sérieux. Cette étude s'est basée sur différents choix : un modèle psychologique théorique de la motivation, des capteurs électro-physiologiques pour mesurer la motivation, un environnement de jeux sérieux pour conduire une étude empirique. Dans le cadre de cette première étude, nous posons les hypothèses de recherche suivantes :

*(H1) La motivation de l'apprenant est caractérisée par des patrons physiologiques et cérébraux, combinés avec la performance de l'apprenant dans un environnement de jeux sérieux et sa perception de sa motivation.*

*(H2) Un environnement de jeux sérieux regroupe des facteurs motivationnels influençant la motivation des apprenants.*

*(H3) Il est possible de modéliser les réactions et les tendances physiologiques des apprenants associées à des stratégies motivationnelles.*

Dans un deuxième temps, nous avons procédé au développement d'un jeu sérieux en se basant sur les constatations faites dans la première étude. Notre objectif est de montrer l'intérêt d'intégrer certaines situations et stratégies motivationnelles pour soutenir la motivation des apprenants. Ce jeu sérieux, appelé HeapMotiv, propose à la fois une solution, centrée *application*, qui incorpore quelques éléments motivationnels dans sa conception (une première version HeapMotivV1); et une solution, centrée *apprenant*, qui implémente quelques stratégies motivationnelles d'un modèle théorique de la motivation (une deuxième version HeapMotivV2). Dans ce cadre, une deuxième étude expérimentale été faite pour valider les hypothèses de recherche suivantes :

*(H4) Les éléments conçus dans la première version HeapMotivV1 influencent la motivation des apprenants.*

*(H5) Les stratégies motivationnelles implémentées dans la deuxième version HeapMotivV2 augmentent la motivation des apprenants.*

## **1.4 Organisation de la thèse**

Dans le chapitre suivant, nous présentons l'état de l'art des trois domaines importants de cette thèse : les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI), les jeux sérieux et la motivation. Nous commençons par discuter des caractéristiques et travaux faits dans les STI et les jeux sérieux. Puis nous présentons l'état des recherches en motivation, facteurs et indicateurs déterminants pour la mesurer. Nous discutons aussi l'incidence de l'utilisation des jeux sérieux sur la motivation des apprenants.

Dans le chapitre 3, nous présentons la méthode choisie dans notre première étude expérimentale d'évaluation de la motivation dans un environnement de jeux sérieux. Nous proposons, d'une part, différents choix faits à base théorique et empirique et nous rapportons, d'autre part, les résultats obtenus tout en discutant leurs interprétations dans l'évaluation de la motivation des apprenants.

Dans le chapitre 4, nous continuons l'analyse de la première étude faite et nous présentons l'impact des situations spécifiques ainsi que des stratégies motivationnelles conçues dans un environnement de jeux sérieux sur la motivation des apprenants

Nous décrivons, dans le chapitre 5, le prototype de jeu sérieux HeapMotiv que nous avons mis au point et qui développe les solutions retenues dans les précédents chapitres. Les détails de l'implémentation, la démarche de la conception ainsi que les deux versions, HeapMotivV1 et HeapMotivV2, de ce jeu sont aussi détaillés dans ce chapitre.

Le chapitre 6 présente l'évaluation motivationnelle de trois éléments principaux : (1) le rôle d'une expérience antérieure dans la tâche actuelle et (2) l'impact d'offrir plusieurs essais dans une tâche; enfin (3) les capacités de stratégies motivationnelles et leurs modélisations. Les résultats de cette deuxième étude sont présentés et la contribution de la motivation dans ce prototype est discutée.

En conclusion, nous résumons les apports de cette thèse, les limitations de nos recherches avant de parler des travaux que nous prévoyons effectuer dans le futur, afin d'améliorer les méthodes de l'évaluation motivationnelle choisie et le prototype développé.





## **Chapitre 2 : État de l'art**

### **2.1 Introduction**

L'avènement des Systèmes Tutoriels Intelligents (STI) en tant qu'application informatique pour l'enseignement intelligent assisté par ordinateur est très remarquable. Ces systèmes appliquent des principes et des techniques de l'Intelligence Artificielle (IA) dans leur conception, développement, implémentation et évaluation pour résoudre des problèmes d'apprentissage humain. Ils utilisent des nouvelles technologies, comme par exemple les jeux vidéo - donnant naissance au courant des jeux sérieux-, et offrent des opportunités d'engagement et de motivation. Dans cet état de l'art, nous présenterons les STI ainsi que les jeux sérieux. Nous ne ferons pas une description exhaustive de chacun de ces systèmes mais nous insisterons sur les points qui les particularisent dans l'étude de la motivation des apprenants. Le lecteur pourra se référer aux lectures suivantes (Kasbi 2012; Nkambou, et al. 2010; Prensky 2001) pour avoir un panorama des fonctionnalités étendues de ces systèmes. Nous présenterons aussi la notion de la motivation ainsi que les principales études portant sur son évaluation. Nous nous restreindrons à présenter les moyens de mesure ainsi que et les stratégies de maintien et/ou d'intensification de la motivation qui seront exploités dans nos travaux.

### **2.2 Systèmes tutoriels intelligents**

#### **2.2.1 Présentation**

Les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI) forment un courant particulier de l'enseignement intelligent assisté par ordinateur qui a pour principe l'individualisation dans l'enseignement. Ils répondent à la nécessité de placer l'apprenant au centre de la situation d'apprentissage. En effet, un STI doit être en mesure de déterminer les besoins spécifiques de l'apprenant, évaluer et diagnostiquer ses problèmes, et fournir l'aide nécessaire. Les STI fournissent une assistance aux différents acteurs de l'apprentissage (apprenant ou tuteur). Ils

s'appuient sur les techniques d'Intelligence Artificielle (IA) pour représenter des connaissances et effectuer un raisonnement. Précisément, un STI commence par évaluer les connaissances acquises par l'apprenant, en comparant ses activités et les informations sur le domaine. Il propose ensuite une assistance adaptée. Il peut par exemple suivre l'apprenant dans ses activités, lui donner des instructions pour mieux l'accompagner dans son apprentissage, analyser ses difficultés et proposer au tuteur des interventions pédagogiques adaptées, etc.

### 2.2.2 Composantes d'un STI

Un STI est composé de quatre modules (Murray 1999): un expert du domaine qui représente le domaine à enseigner, un tuteur incluant les méthodes pédagogiques, un module de l'apprenant spécifiant des connaissances sur l'apprenant humain et une interface qui représente le moyen de communication entre le système et l'apprenant (voir Figure 1).

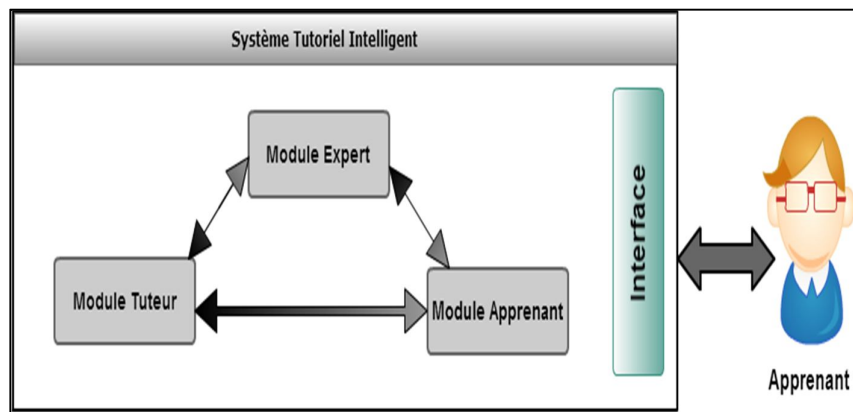


Figure 1 Système tutoriel intelligent

#### 2.2.2.1 Module Expert

Ce module représente l'expertise de l'enseignant sur le domaine. Il contient une description des compétences à acquérir et aussi une représentation de la compétence à construire. Ce module doit être en mesure de générer des solutions aux problèmes dans le même contexte que celui où se trouve l'apprenant, afin que les réponses respectives puissent être comparées. Ainsi, un STI est capable de déterminer les différences et les correspondances entre les actions de l'apprenant et les actions qui sont attendues. Les connaissances sur le domaine permettent de

générer des explications relatives à la solution de l'expert. Pour représenter les connaissances au sein du module Expert, plusieurs méthodes sont souvent utilisées à savoir les réseaux sémantiques (Quillian 1968), les réseaux à propagation de marqueurs (Fahlman 1979), les graphes conceptuels (Sowa 1984), etc.

#### **2.2.2.2 Module Tuteur**

Le module Tuteur est la composante centrale d'un STI, il en est responsable de son fonctionnement global. D'abord, ce module contient toutes les données pédagogiques utilisées dans un STI. Il est utilisé pour sélectionner et adapter le rôle du tuteur, sa stratégie pédagogique et les activités qu'il va présenter à l'apprenant. Ensuite, il permet de fournir des explications adaptées aux besoins et aux préférences de l'apprenant et il permet également de choisir la manière (prendre l'initiative ou attendre des questions ou bien laisser l'apprenant faire des erreurs ou l'arrêter) et le moment (avant, pendant ou après l'action de l'apprenant) de l'intervention. Enfin, ce module ordonne un STI d'exécuter plusieurs actions : interpréter les réponses de l'apprenant, donner des explications de solutions, donner des explications alternatives du même concept, répondre aux questions arbitraires de l'apprenant, etc.

#### **2.2.2.3 Module Apprenant**

Le module Apprenant apporte une mesure des connaissances de l'apprenant humain et sa progression durant le processus d'apprentissage (Leman, et al. 1996; Py 1998; Webber et Pesty 2002). Il doit contenir une représentation du profil de l'apprenant, établie et mise à jour, soit par un dispositif hors ligne (questionnaire par exemple) soit directement à partir des interactions que l'apprenant opère avec son environnement. La modélisation de l'apprenant est un problème difficile (Bruillard 1997). Selon Etienne Wenger (Wenger 1987), le module Apprenant joue trois tâches principales :

1. Il doit recueillir des données sur l'apprenant. Ces données peuvent être explicites (en demandant par exemple à l'élève de résoudre des problèmes spécifiques) ou implicites (en suivant par exemple les interactions de l'apprenant puis en les comparant avec les réponses des apprenants similaires).

2. Il doit utiliser ces données pour créer une représentation des connaissances de l'apprenant et du processus d'apprentissage. Cela prend souvent la forme d'un modèle « buggy » qui représente les connaissances de l'apprenant en termes d'écart de la connaissance d'un expert. Le STI utilise ensuite ce modèle pour prédire le type de réponses de l'apprenant dans des situations données. Il compare cette prédiction avec les réponses réelles et utilise ces informations pour raffiner le modèle de l'apprenant.
3. Il doit tenir compte de ces données en effectuant un certain type de diagnostic, à la fois de l'état des connaissances de l'apprenant et du choix optimal des stratégies pédagogiques. Un des plus grands défis est de considérer le « bruit » des données. En effet, les apprenants ne répondent pas toujours de façon cohérente, en particulier lorsqu'ils donnent des réponses incertaines à cause du manque des connaissances.

#### **2.2.2.4 Module Interface**

Le module Interface se charge de la communication entre l'apprenant et le système. Il joue un rôle important dans la présentation et la compréhension de la matière enseignée. Il doit être facile à utiliser, clair et bien conçu pour aider l'apprenant à mieux comprendre le cours et donc améliorer le processus d'apprentissage (une interface riche et bien structurée influe positivement le processus d'apprentissage). Il doit aussi permettre à l'apprenant de s'exprimer et de représenter ses connaissances afin de résoudre un problème.

#### **2.2.3 Quelques travaux sur les STI**

Les travaux sur les STI ont reflété une première tendance en ce qui concerne les modélisations de l'apprenant et des stratégies pédagogiques du tuteur. Cherchant aussi à enrichir les STI et permettre un apprentissage adapté au rythme et aux particularités de l'apprenant, d'autres travaux ont reflété une deuxième tendance en ce qui concerne, dans un premier temps, les techniques de mesure des quelques états cognitifs et émotionnels de l'apprenant et, dans un deuxième temps, l'évaluation de certaines stratégies appliquées pour le maintien et/ou l'intensification de ses états.

### 2.2.3.1 Approches de modélisation

Le modèle de l'apprenant représente les connaissances de l'apprenant humain. Il a alors besoin de recueillir des informations de différentes natures : des informations implicites issues de l'analyse du comportement de l'apprenant pendant la session d'apprentissage, des informations explicites issues du « dialogue » direct entre le système et l'apprenant, etc. À travers les interactions entre l'apprenant et le tuteur durant la session d'apprentissage, le portrait de l'apprenant se raffine et le système s'adapte mieux aux besoins particuliers des apprenants (Shiri, et al. 1998). Dans ce cadre, de nombreuses recherches se sont appuyées sur la théorie cognitive ACT-R (Adaptive Control of Thought-Rational) de John Anderson (Anderson 1993) pour développer des tuteurs cognitifs (un modèle computationnel permettant de résoudre les problèmes posés à l'apprenant) et soutenir les actions de apprenants pendant les sessions d'apprentissage. Ces tuteurs ont ainsi été développés et testés en laboratoire et dans des classes dans plusieurs domaines principalement la programmation (Lisp Tutor (Anderson, et al. 1989)), la géométrie (Geometry Tutor (Anderson, et al. 1985)) et l'algèbre élémentaire (Algebra Tutor (Milson, et al. 1990)).

De nos jours, les développeurs s'orientent de plus en plus vers des systèmes auteurs. Un système auteur peut être défini comme un environnement de développement logiciel de haut niveau qui permet en théorie, grâce à une interface graphique, de réaliser l'essentiel d'une application multimédia, voire la totalité de celle-ci, sans recourir à un langage de programmation. Vincent Alevin (Alevin 2010) mentionne deux types de modèles cognitifs fréquemment utilisés dans les systèmes auteurs : les modèles basés sur des règles (Vanlehn, et al. 2005) et ceux basés sur des contraintes (Mitrovic, et al. 2001). Les modèles basés sur des règles capturent les connaissances impliquées dans l'élaboration, étape par étape, de solutions ; alors que les modèles basés sur des contraintes expriment les exigences auxquelles doit satisfaire toutes les solutions. Les deux types de modèles ont été utilisés et intégrés dans des systèmes auteurs (Alevin, et al. 2006; Mitrovic, et al. 2009) en offrant des suites d'outils de développement efficaces pour la réalisation de tuteurs informatiques.

D'autres études affirment qu'acquérir des nouveaux savoirs et savoir-faire sollicite non seulement des processus cognitifs (activation des connaissances antérieures, emploi de stratégies d'études adaptées, mémorisation des nouvelles connaissances, etc.), mais aussi des processus métacognitifs (planification, auto-évaluation, régulation de l'activité, etc.). Elles admettent que la métacognition est un facteur important dans la modélisation et elles développent par conséquent des modèles métacognitifs pour mieux comprendre le comportement de l'apprenant et améliorer ses performances (Roll, et al. 2005).

De plus en plus de recherches enrichissent le modèle de connaissances de l'apprenant par un modèle psychologique de celui-ci, contenant des informations sur l'état affectif, les émotions, les intentions de l'apprenant. À cet égard, une grande partie des recherches ont visé à inclure les modèles computationnels des émotions dans des STI. Par exemple, Magy Seif El-Nasr et ses collègues (El-Nasr, et al. 2000) ont proposé un modèle computationnel des émotions FLAME (Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions) qui peut être intégré dans des agents intelligents. FLAME est fondé sur différents modèles existants d'évaluation émotionnelle, principalement le modèle OCC (Ortony, et al. 1990) et le modèle de Roseman (Roseman, et al. 1990). Il utilise la logique floue pour représenter des émotions en fonction de la désirabilité d'un événement perçu et de sa probabilité d'être réalisé. La modélisation émotionnelle de l'apprenant nécessite des actions émotionnelles de la part du tuteur pour soutenir les émotions de l'apprenant et les corriger si nécessaire (Chaffar, et al. 2009a; Chalfoun, et al. 2006). On parle des stratégies émotionnelles du tuteur.

### **2.2.3.2 Stratégies émotionnelles**

Grâce à l'utilisation du modèle apprenant, le tuteur personnalise l'environnement d'apprentissage en adaptant les stratégies pédagogiques d'apprentissage afin de répondre intelligemment aux besoins des apprenants, à ses objectifs et à ses intérêts. Par exemple, quand un apprenant tente à résoudre des problèmes, le tuteur peut l'assister en donnant de la rétroaction visant à rappeler ou clarifier, il peut intervenir dans la résolution d'une partie des problèmes mais cette

intervention diminue progressivement lorsque l'apprenant démontre une certaine maîtrise de l'activité (Anohina 2007; Collins, et al. 1991), etc.

Dans les dernières années, la dynamique d'apprentissage a évolué vers un enseignement assisté par des tuteurs émotionnels. Certains chercheurs se sont orientés vers des théories psychologiques pour induire des émotions positives chez les apprenants et se sont servis d'une variété de politiques de soutien basées sur les tâches pour répondre aux états émotionnels de l'apprenant. Par exemple, Soumaya Chaffar et ses collègues (Chaffar, et al. 2009b) ont étudié l'effet de certaines actions (centrées *problème* et centrées *émotion*) du tuteur virtuel sur l'état émotionnel de l'apprenant. Sidney D'Mello et Arthur Graesser (D'Mello et Graesser 2009) ont présenté un tuteur qui détecte l'état d'ennui chez l'apprenant et l'engage dans une variété de tâches stimulantes, un défi ou un jeu particulier. Si l'état de frustration est détecté, le tuteur fournit des instructions ou corrige certaines informations que l'apprenant a peut-être mal assimilées. Ivon Arroyo et ses collègues (Arroyo, et al. 2007) ont étudié un STI qui interagit différemment avec des états de frustration des apprenants. Leur système donne une indication ou une série de problèmes similaires pour aider l'apprenant. En cas d'ennui, et en fonction de la situation courante, le tuteur propose un problème plus facile pour motiver l'apprenant à le résoudre, ou augmente le niveau de difficulté si le problème est trop facile.

D'autres approches intègrent des technologies plus sophistiquées de compagnie en utilisant des agents pédagogiques virtuels permettant des interactions affectives en temps réel avec les apprenants. Ces agents, paraissant se soucier des progrès de l'apprenant, peuvent avoir une apparence humaine dans leur dialogue avec les apprenants, communiquent différents messages d'encouragement ou de félicitations, etc. Certains agents peuvent travailler avec les apprenants sur la même tâche, en tant que partenaires de l'étude (Woolf, et al. 2009). Ils peuvent aussi adopter un caractère empathique. Dans les travaux de Helmut Prendinger et Mitsuru Ishizuka (Prendinger et Ishizuka 2005), un compagnon virtuel empathique a été créé afin de préparer un apprenant à la recherche d'un emploi. Un agent virtuel fait passer l'entretien d'embauche et un compagnon virtuel accompagne l'apprenant. Ce compagnon est capable de reconnaître au fil du temps les émotions (calme, joie et

frustration) de l'apprenant à partir de senseurs permettant de mesurer son activité physiologique. Suivant les émotions reconnues, le compagnon adopte un comportement empathique particulier. Par exemple, si l'apprenant a une émotion de frustration, le compagnon empathique exprime de la sollicitude à travers un énoncé.

Cependant, avant de choisir et d'appliquer une stratégie émotionnelle quelconque, le tuteur a besoin d'évaluer l'état émotionnel courant de l'apprenant. Ceci lui permet d'enrichir sa capacité d'intervention avec des stratégies beaucoup plus appropriées tenant compte du contexte d'apprentissage et de l'état affectif de l'apprenant. Cette évaluation de l'état de l'apprenant est faite par le biais de plusieurs techniques présentées dans la prochaine section.

### **2.2.3.3 Évaluation d'états émotionnels**

Les chercheurs dans le domaine des STI ont étudié différentes méthodes pour déterminer l'émotion ressentie par l'apprenant. Parmi ces méthodes de la reconnaissance d'émotions, nous citons les quatre suivantes :

*Les questionnaires d'auto-évaluation « self-report »* : Ces questionnaires interrogent des sujets sur leurs états émotionnels. Ils sont souvent formés d'un ensemble fini d'items. Le questionnaire doit être clair, facile et attirant pour donner à l'apprenant envie de continuer son auto-évaluation. Chacune de dimensions émotionnelles à évaluer doit être traduite en un ou plusieurs items pour que l'apprenant ne soit pas informé directement de ce que le questionnaire cherche. L'apprenant exprime son degré d'accord ou désaccord relatif à chaque item du questionnaire proposé sur une échelle d'attitude (de Likert) comprenant 3 à 7 degrés.

Plusieurs études font recours aux à la méthode d'auto-évaluation « self-report » pour mesurer (ou estimer) l'état émotionnel des apprenants. On peut mentionner, à titre d'exemples, l'étude de Patricia Jaques et ses collègues (Jaques, et al. 2004) qui ont utilisé un agent pédagogique pour la déduction de l'état émotionnel de l'apprenant. Cette étude commence par évaluer les événements comme ils étaient perçus par l'apprenant humain grâce à un questionnaire et via une fonction d'évaluation basée sur la typologie OCC. Puis elle fournit une prédiction de l'état émotionnel de l'apprenant. Cette méthode permet au tuteur d'anticiper la



réaction émotionnelle de l'apprenant et d'induire une émotion particulière chez lui par le choix d'une action (ou stratégie) adaptée. Mais en raison de l'aspect subjectif de cette méthode d'auto-évaluation, les expressions non-verbales telles les expressions faciales et les changements physiologiques – qui sont cependant d'une importance capitale dans l'expression des émotions – sont jugées beaucoup plus caractéristiques et objectives que les questionnaires de « self-report ».

*Les signaux physiologiques :* Cette technique consiste à utiliser des mesures physiologiques (la fréquence cardiaque, la conductance de la peau, la tension musculaire, etc.) dans la reconnaissance d'émotions. Par exemple, Rosalind Picard et ses collègues (Picard, et al. 2001) ont développé par exemple une machine émotionnelle capable d'identifier 8 émotions (neutre, irrité, détestant, peine, amour platonique, amour romantique, joie et révérence) à partir de 4 capteurs électro-physiologiques (l'électromyogramme EMG, la fréquence cardiaque, la conductance de la peau et la respiration). Cristina Conati (Conati 2002) a développé un modèle probabiliste prenant en considération des émotions spécifiques. Ce modèle se fonde sur des réseaux de décision dynamiques qui intègrent des informations sur les causes des réactions émotionnelles des apprenants et leurs effets sur l'expression corporelle. Il découle aussi du modèle OCC et il a été conçu pour évaluer les émotions des apprenants durant leur interaction avec un jeu éducatif. Helmut Prendinger et Mitsuru Ishizuka (Prendinger et Ishizuka 2005) ont surveillé les signaux physiologiques de l'apprenant et la direction de son regard pour associer un label d'émotion à ces informations. Ils se sont basés sur quelques travaux existants (Levenson 2003; Picard 1997) pour détecter les moindres changements de l'émotion du sujet, mais cette méthode semble être intrusive et risque d'affecter le déroulement normal d'un processus d'apprentissage.

La méthode des signaux physiologiques a l'avantage de détecter les changements physiologiques dus à des réactions émotionnelles de façon plus objective que la méthode précédente d'auto-évaluation. Cependant, l'établissement de liens directs entre des changements physiologiques et des émotions spécifiques (satisfaction, anxiété, etc.) n'est pas vraiment faisable si on connaît que deux émotions différentes pourraient engendrer les mêmes changements physiologiques.

Ceci implique le recours de nouveau aux questionnaires de « self-report » pour valider les constations faites et par la suite établir ces liens.

Les expressions faciales : Le moyen le plus naturel pour exprimer les émotions utilise les expressions faciales. Au cours des vingt dernières années, il y a eu beaucoup de recherches sur la reconnaissance de l'émotion à travers les expressions faciales. Paul Ekman et Wallace Friesen (Ekman et Friesen 1978) ont mis au point, du point de vue psychologique, cette méthode. Plusieurs méthodes automatiques de reconnaissance d'émotions à partir des expressions faciales ont été construites en utilisant des images ou des vidéo enregistrées (Cohen, et al. 2003).

Le déroulement du mécanisme de la reconnaissance d'émotions passe par une première étape d'extraction et une deuxième étape de classification des caractéristiques faciales. L'extraction peut être appliquée sur le visage en entier en le considérant comme un ensemble ou sur les parties les plus expressives du visage, qui changent selon les expressions faciales. Selon Frederic Parke et Keith Waters (Parke et Waters 1996), la génération de l'émotion se fait à travers des muscles spécifiques. Pendant une émotion de joie, les sourcils sont détendus, la bouche est large avec les coins tirés vers le haut (vers les oreilles). Quand on est triste, les parties intérieures des sourcils sont empilées vers le haut au-dessus de la paupière supérieure et la bouche est détendue. Les sourcils sont rassemblés en bas dans un état de colère et la bouche est fermée avec la lèvre supérieure légèrement comprimée. En ce qui concerne le dégoût, la partie intérieure des sourcils est légèrement abaissée et la bouche est fermée avec la lèvre supérieure élevée. Pour la peur, les sourcils sont élevés, rassemblés et pliés vers le haut, la bouche peut être légèrement ouverte et relâchée. Enfin pour la surprise, les sourcils sont élevés en haut, les paupières supérieures sont ouvertes et la bouche est ouverte et relâchée.

Le signal EEG : Le signal EEG peut être divisé en plusieurs bandes de fréquences différentes, à savoir la bande Delta  $\delta$  (<4 Hz), la bande Thêta  $\theta$  (4-7 Hz), la bande Alpha  $\alpha$  (8-12 Hz), la bande Bêta  $\beta$  (12-30 Hz) et la bande Gamma  $\gamma$  (>30 Hz).

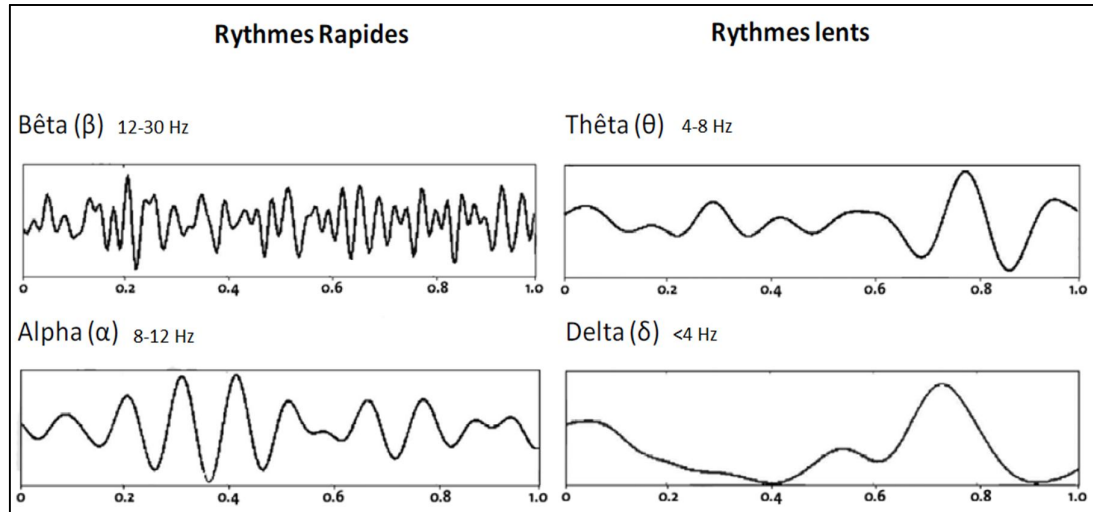


Figure 2 Différentes bandes de fréquences EEG (Velly, et al. 2012)

Spécialement, l'activité rythmique sensorimotrice (12-15 Hz) est également utilisée dans les plusieurs systèmes de neuro-feedback. Chaque bande de fréquence est liée à différentes fonctions cérébrales. L'aspect de l'EEG normal est de faible amplitude et dominé, chez un sujet éveillé au repos et les yeux fermés, par une activité de fréquence de 8-12 Hz (bande  $\alpha$ ). C'est le rythme  $\alpha$ , prédominant au niveau des électrodes occipitales et disparaissant lorsque le sujet ouvre les yeux. Lorsque le sujet est engagé dans une tâche cognitive, le rythme  $\alpha$  disparaît et fait place à une activité peu ample, peu synchronisée et plus rapide : le rythme  $\beta$  (12-30 Hz). Un élément important de l'EEG est sa réactivité aux différents facteurs intrinsèques et extrinsèques comme l'état de vigilance (éveil, sommeil), l'ouverture des yeux, les stimulations nociceptives et le bruit. En règle générale, la bande  $\delta$  est très répandue dans l'EEG lorsque le sujet est endormi, la bande  $\theta$  est très répandue dans l'EEG lorsque le sujet se sent somnolence, la bande  $\alpha$  est significatif lorsque le sujet est détendu, la bande  $\beta$  est associée aux activités rapides et la bande  $\gamma$  est liés à la résolution de problèmes et la mémorisation (Demos 2005).

### 2.2.4 Conclusion

Dans cette section, nous avons décrit les STI et l'évolution du module de l'apprenant en termes de modélisation et du module tuteur en termes d'application de stratégies pédagogiques. Une série de travaux tentant à identifier plusieurs états

émotionnels de façon automatique a été essentiellement décrite. Nous consacrerons la section suivante pour parler de l'usage de nouvelles méthodes, précisément les jeux sérieux, dans l'apprentissage et le développement des états d'engagement et de motivation chez les apprenants.

## 2.3 Jeux sérieux

### 2.3.1 Présentation

Les jeux éducatifs classiques sont apparus dans les années 1970-1980 et s'adressent aux enfants et adolescents. Les plus classiques permettent d'améliorer essentiellement la logique ou les compétences lexicales et syntaxiques. Les jeux de simulation sont définis comme étant des « jouets logiciels », représentant un « monde », et ils sont dépourvus d'objectifs clairement établis qui permettent à l'utilisateur de gagner. Les jeux sérieux proposent, quant à eux, une réelle formation qui ne s'adresse pas seulement aux enfants mais à une cible beaucoup plus large. Dès la phase de conception d'un jeu sérieux, une dimension utilitaire est visée et un scénario utilitaire ou pédagogique est associé à celui de la base vidéo-ludique. Ceci distingue le jeu sérieux du jeu de simulation où l'utilisateur n'a pas de but précis à atteindre.

Donner une définition exacte et précise d'un jeu sérieux ne serait pas facile vu le nombre important de domaines concernés. Néanmoins, nous avons choisi une définition simple et condensée de Julian Alvarez (Alvarez 2007). Ce chercheur définit les jeux sérieux comme « une application informatique, dont l'intention initiale est de combiner, avec cohérence, à la fois des aspects sérieux (*serious*) tels, de manière non exhaustive et non exclusive, l'enseignement, l'apprentissage, la communication, ou encore l'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo (*game*) ». Les jeux sérieux ont pour principale vocation d'apprendre, d'informer, d'expérimenter, de s'entraîner tout en jouant. Ils peuvent être appliqués dans plusieurs domaines, par exemple, militaires, gouvernementaux, éducatifs, des entreprises, des soins de santé. Le premier titre significatif des jeux sérieux était *America's Army*, lancé le 4 juillet 2002. Ce jeu propose de simuler des exercices

d'entraînements militaires et des missions de combat pour le recrutement dans l'armée américaine.

### **2.3.2 Bienfaits du jeu vidéo**

Le jeu vidéo est tout d'abord considéré comme un élément de rupture entre générations et suscite beaucoup de méfiance de la part d'adultes qui peuvent se sentir en décalage. Le premier réflexe envers ce média est de rechercher ce qui peut ressortir de néfaste (violence, sexisme, isolation des joueurs, perte de temps, etc.) (Anderson et Bushman 2001; Dietz 1998; Provenzo 1991). Cependant, les perceptions commencent à changer par rapport aux jeux vidéo. En effet, en observant qu'ils peuvent constituer un support éducatif éventuellement riche, les jeux vidéo sont utilisés pour créer des méthodes d'apprentissage efficaces. Des nombreux travaux confirment que les possibilités d'association entre jeu vidéo et éducation sont majeures et soulignent les caractéristiques susceptibles d'être valorisées et utilisées dans un contexte éducatif en les mettant en rapport avec les théories de l'apprentissage qui s'y rapportent (Annetta 2008; Gee 2003; Prensky 2001). Ils reportent de plus en plus les bienfaits directs des jeux vidéo: nouvelles situations de perception et de représentation (Ryan, et al. 2006), développement de réflexes ou de certaines aptitudes cognitives (de Freitas 2006), apprentissage de métiers ou de tâches (America's-Army 2002), usages des jeux vidéo en éducation (Squire 2003), etc. Même l'ONU s'en sert pour promouvoir l'aide humanitaire (Food-Force 2005).

En outre, la machine (souvent l'ordinateur, même si les alternatives se multiplient : tablettes, netbook, etc.) joue un rôle dans la représentation et l'animation d'une scène de jeu vidéo. Elle définit - implicitement ou explicitement - un ensemble d'actions géré par des règles programmées. Dans ce cadre, l'intervention de la machine consiste à renouveler la scène de jeu et les modalités d'interactions, mettre en place des défis appropriés, autoriser au joueur un niveau du contrôle sur l'environnement (Garris, et al. 2002), etc. Grâce aux techniques d'IA, la machine peut programmer des agents qui ont un comportement évolutif en analysant les actions du joueur (Laird et Lent 2000). Ensuite, le joueur trouve souvent un plaisir à travers le voyage dans le temps, dans l'espace et dans

l'imaginaire d'un jeu vidéo. Le joueur peut avoir un rôle influent dans un monde extraordinaire, ne répondant pas forcément aux lois de la physique par exemple (Juul 2003). Magiciens, animaux, agents secrets, sportifs de haut niveau ou personnages historiques peuvent être contrôlés au sein de systèmes de plus en plus immersifs, amplifiant ainsi la portée symbolique de l'interaction. Plusieurs paramètres discriminants d'un jeu vidéo sont révélateurs des différentes manières de s'amuser : avancer dans le scénario, incarner un personnage fantastique, collaborer, entrer en compétition ou battre des records. Les jeux vidéo sont donc considérés comme un modèle de situations réelles ou fictives, permettant à l'apprenant d'exercer des compétences diverses de multiples façons et en fonction de paramètres variables dans un contexte interactif.

Enfin, les jeux vidéo proposent aussi d'effectuer plusieurs tâches en parallèle. Ils font appel ainsi à des compétences cérébrales du joueur pour réagir rapidement et de manière appropriée face à des situations inexplorées. Ceci améliore l'aptitude des joueurs à prendre des décisions. Les joueurs deviennent de plus en plus performants en termes de rétention d'information, d'acquisition de connaissances, de transfert de compétences, etc. (Kasbi 2012). Les jeux vidéo s'appuient (et jouent) sur les émotions pour générer par conséquent du plaisir, mais parfois de l'addiction.

### **2.3.3 Exemples de jeux sérieux**

Les exemples d'applications de jeux sérieux ne cessent pas de se multiplier dans l'enseignement, l'armée, l'entreprise, les applications médicales, etc. Plusieurs jeux sérieux ont été conçus et développés pour former, enseigner, sensibiliser, etc. ses utilisateurs. Le tableau 1 présente quelques exemples.

	<p><b>America's Army.</b> C'est probablement le jeu le plus célèbre des jeux sérieux. En effet, il est proposé par l'armée américaine pour susciter des vocations de soldats chez les jeunes américains. Il est téléchargeable gratuitement sur ordinateur ou console de jeux.</p>
	<p><b>Stop Disasters.</b> C'est un jeu développé pour l'ISDR (International Strategy for Disaster Reduction). Son but consiste à limiter au maximum les dégâts humains et matériels occasionnés par des catastrophes naturelles, en agissant sur l'urbanisme.</p>
	<p><b>Food-Force.</b> Ce jeu vidéo vient d'une initiative du programme alimentaire mondial de l'ONU. Il est destiné à sensibiliser les joueurs au problème de la faim dans le monde. Ce jeu sera le sujet d'une première étude dans cette thèse et sera décrit davantage dans les deux prochains chapitres.</p>
	<p><b>Virtual U.</b> Ce jeu offre la possibilité de simuler la gestion d'une université américaine. Dans ce jeu, le joueur est le président de cette université qu'il doit gérer : formations dispensées, personnel, installations sportives, logements, etc.</p>

Tableau 1 Exemples de jeux sérieux

### 2.3.4 Quelques travaux sur les jeux sérieux

L'exploitation de jeux sérieux dans différents domaines est en plein essor. Leur émergence, dans l'industrie de jeux vidéo (Alvarez et Michaud 2008) aussi bien que la recherche académique (Ritterfeld, et al. 2009), est remarquable. En effet, les environnements de jeu sérieux ont un grand potentiel grâce aux expériences d'apprentissage offertes. Il y a une littérature substantielle évaluant l'utilisation de jeux vidéo et leurs impacts sur plusieurs variables telles que l'utilité, l'efficacité, l'expérience utilisateur, la jouabilité, la satisfaction, etc. De nos jours, une partie de cette littérature se concentre sur l'évaluation de jeux sérieux, en particulier les jeux utilisés pour la formation et l'éducation, et discute leur efficacité par rapport aux résultats d'apprentissage.

Plusieurs recherches ont montré que les jeux sérieux peuvent fournir un cadre approprié via des tâches interactives, engageantes et immersives (Johnson et Wu 2008; Malone et Lepper 1987; Prensky 2001). Par exemple, le système de formation de langue tactique et de culture TLCTS (Tactical Language and Culture Training System) aide les gens à acquérir rapidement des compétences fonctionnelles dans les langues et les cultures étrangères (Johnson et Wu 2008). Il comprend des leçons interactives qui mettent l'accent sur les compétences particulières de communication et des jeux interactifs pour que les joueurs appliquent leurs compétences. Richard Sandford et Ben Williamson (Sandford et Williamson 2005) ont étudié le jeu sérieux Civilization III qui est un jeu historique où le joueur doit assurer la suprématie de sa civilisation en bâtissant un puissant empire, alors que d'autres empires contrôlés, soit par l'ordinateur, soit par d'autres joueurs, voient aussi le jour et entrent en compétition pour dominer le monde. Ces chercheurs ont montré que les apprenants ont développé des stratégies de raisonnement plus complexes qu'une simple perception de cause à effet. Dans ce jeu sérieux, les apprenants deviennent capables d'identifier des problèmes, faire des interprétations causales et mettre en œuvre des solutions face aux situations critiques.

D'autres travaux ont étudié, non seulement l'évaluation de l'apprentissage et le suivi de l'apprenant que les jeux sérieux permettent, mais aussi la question de la



conception des tels jeux. Par exemple, Bertrand Marne et ses collègues (Marne, et al. 2011) évoquent six facettes de la pédagogie dont il faut se préoccuper dans la conception d'un jeu sérieux : objectifs pédagogiques (qu'est-ce que l'on veut faire apprendre par ce jeu?), simulation du domaine (quelles connaissances ou compétences disciplinaires veut-on présenter aux étudiants par ce jeu?), interactions avec la simulation (est-ce que l'interface et les actions que peuvent poser les étudiants dans le jeu reposent sur une métaphore appropriée au domaine?), problèmes et progression (quels problèmes devront être résolus pour avancer dans le jeu?), immersion (quels éléments multimédias et scénaristiques favorisent l'immersion de l'étudiant et rendent le jeu plaisant?) et conditions d'utilisation (accèdera-t-on au jeu à distance ou en classe?).

Enfin, des efforts de classifications de jeux sérieux ont été faits. Par exemple, Michael Zyda (Zyda 2005) a défini sept classes des jeux sérieux en fonction de domaines d'application : la formation et la simulation, l'éducation, la santé, la défense, la sécurité civile, la communication, l'évaluation par le jeu. David Michael et Sande Chen (Michael et Chen 2006) ont défini cinq autres domaines d'application : la politique, l'industrie, le gouvernement, la religion et l'art. Julien Alvarez et Laurent Michaud (Alvarez et Michaud 2008) ont mis en évidence sept marchés principaux pour les jeux sérieux : la défense, la formation et l'éducation, la publicité, l'information et la communication, la culture et l'activisme. Il est à noter qu'aucun consensus ne semble être établi autour d'une classification retenue pour les jeux sérieux qui ne cesse d'évoluer de jour en jour.

### **2.3.5 Conclusion**

Nous avons présenté dans cette section les jeux sérieux et l'intérêt d'utiliser cette technologie dans un contexte éducatif. Nous constatons que les recherches conduites sur ce sujet sont récentes. Des études avancées dans ce domaine sont alors indispensables afin de bien comprendre l'impact des jeux sérieux sur l'état des apprenants. Nous aborderons dans la section suivante un état susceptible d'être sollicité tout en interagissant avec les jeux sérieux. C'est l'état de motivation qui nous intéresse particulièrement dans cette thèse.

## **2.4 Étude de la motivation**

### **2.4.1 Définition**

La motivation est un processus psychologique regroupant l'ensemble des facteurs dynamiques qui orientent l'action d'un individu vers un but donné. Ces facteurs déterminent sa conduite et provoquent chez lui un comportement donné ou modifient le schéma de son comportement présent. Ainsi, la motivation est basée sur deux postulats fondamentaux : (1) l'humain est libre du choix de ce qu'il fait et (2) conscient ou pas, ses actions sont toujours orientées vers un objectif.

La motivation est généralement vue comme étant une caractéristique individuelle faisant partie du domaine affectif au même titre que l'anxiété et les émotions. L'anthropologue canadien Rolland Viau (Viau 2009) définit la motivation dans le contexte scolaire comme « un état dynamique qui a ses origines dans les perceptions qu'un élève a de lui-même et de son environnement et qui l'incite à choisir une activité, à s'y engager et à persévérer dans son accomplissement afin d'atteindre un but ». Ainsi définie, la motivation est un phénomène (a) dynamique qui change constamment, (b) dans lequel interagissent les perceptions de l'apprenant, ses comportements et son environnement, (c) qui implique l'atteinte d'un but.

### **2.4.2 Modèles théoriques**

#### **2.4.2.1 Travaux de Maslow**

La théorie des besoins d'Abraham Maslow (Maslow 1970) est une des plus célèbres théories. Elle propose une conception systématique des besoins de l'humain et hiérarchise différents niveaux selon une pyramide. A la base, on retrouve les besoins physiologiques élémentaires et au sommet, on retrouve les besoins psychologiques et affectifs d'ordre supérieur.

Cinq groupes de besoins sont distingués dans la Figure 3. La recherche des besoins est hiérarchisée. L'homme cherche d'abord à satisfaire les besoins fondamentaux pour s'élever ensuite. Toutefois les besoins du premier niveau sont absolus, la réalisation de soi n'est pas possible si en premier lieu les besoins

physiologiques ne sont pas satisfaits. Ce modèle est impératif pour toute étude du comportement humain et ainsi il participe dans la compréhension de l'état de motivation étudié dans cette thèse.

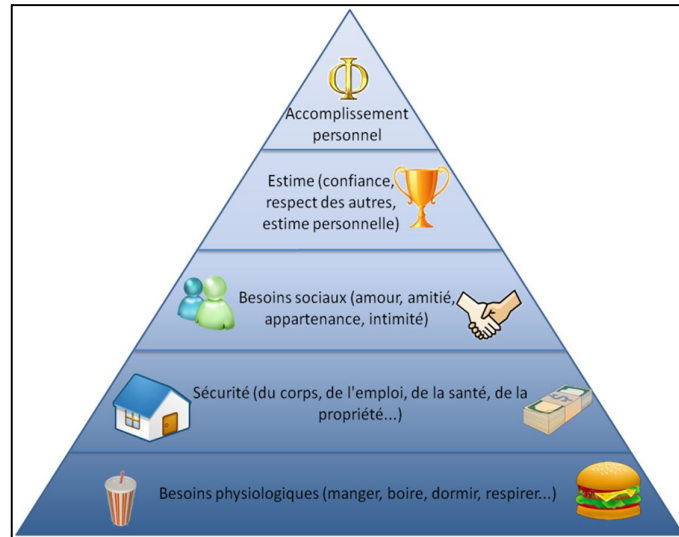


Figure 3 Pyramide de Maslow de besoins (Hattem 2011)

#### 2.4.2.2 Travaux de Bandura

Certaines études dans la théorie béhavioriste définissent le comportement humain comme étant seulement le produit de récompenses ou de punitions. Cependant, les individus possèdent la capacité de réagir de leur propre volonté (Bandura 1976). Cette capacité leur permet d'avoir une certaine maîtrise de leurs propres sentiments, pensées et actions. Le comportement intervient souvent en absence des renforcements externes immédiats. La plupart des actions sont maintenues grâce à la capacité d'autorégulation de l'individu. Dans ce cadre, les individus réagissent à leurs propres actions d'une façon qui est auto-gratifiante ou autopunitive. Ils sont plus indépendants des renforcements externes, et cela s'explique par leur capacité à transformer l'information en images symboliques et par leur capacité auto-réactive face aux événements. Ainsi, la capacité de se représenter en pensée les conséquences futures de l'action fournit une source cognitive de motivation. Les représentations cognitives des résultats futurs servent de facteurs motivants pour le comportement (Bandura 1986). La motivation à agir trouve son origine dans un avantage escompté ou le désir d'éviter des difficultés futures.

### 2.4.2.3 Travaux de Deci et Ryan

Dans leurs travaux de SDT (*Self Determination Theory*), Edward Deci et Richard Ryan (Deci et Ryan 1985) analysent la motivation et abordent la notion du « lieu de contrôle ». Si la personne considère que la tâche qu'il accomplit est directement sous sa responsabilité, il fait appel à son « lieu de contrôle interne ». S'il reçoit des récompenses externes, c'est le « lieu de contrôle externe » qui intervient. Ainsi, ces chercheurs distinguent trois états qui peuvent être classés sur un continuum d'autodétermination (voir Figure 4).

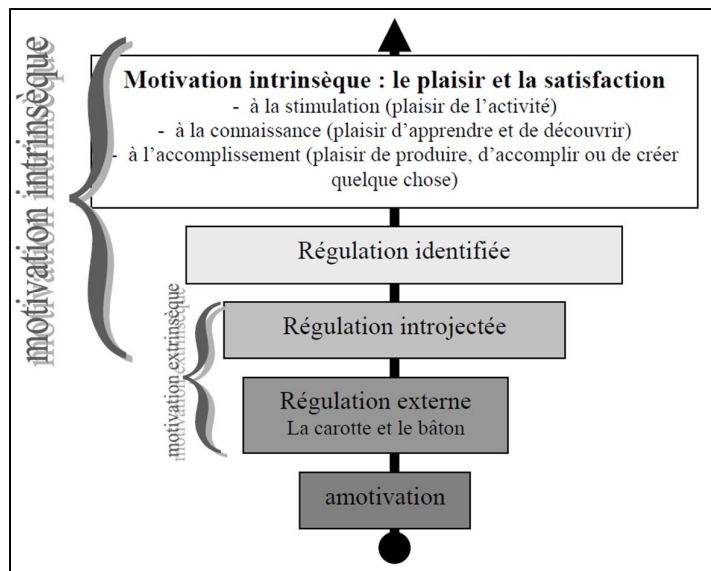


Figure 4 Modèle d'autodétermination (Toffoli 2003)

**L'amotivation** caractérise les individus qui effectuent un travail de façon mécanique. Un état d'aliénation se développe au détriment d'une recherche de satisfaction du besoin d'autodétermination. L'action est perçue comme sans intérêt ou valeur pour l'individu, ou il ne se sent pas compétent pour l'accomplir, ou il ne croit pas que ça va lui apporter un résultat appréciable. La personne ne se sent pas reliée à l'action, ne voit plus de lien entre les gestes et les résultats attendus.

**La motivation extrinsèque** caractérise les individus dont les comportements sont guidés par l'intention d'obtenir une conséquence qui se trouve en dehors de l'activité même; par exemple, recevoir une récompense, éviter de se sentir coupable, gagner l'approbation, etc. Le sentiment d'autodétermination décroît alors selon que l'individu perd la maîtrise de la régulation de ses comportements.

**La motivation intrinsèque** signifie que l'on pratique une activité pour le plaisir et la satisfaction que l'on en retire. Une personne est intrinsèquement motivée lorsqu'elle effectue des activités volontairement et par intérêt pour l'activité elle-même sans attendre de récompense ni chercher à éviter un quelconque sentiment de culpabilité. La motivation intrinsèque caractérise les individus motivés par des besoins de compétence et d'autodétermination.

#### 2.4.2.4 Travaux de Keller

John Keller (Keller 1987) a tenté de répondre à deux questions : (1) peut-on synthétiser plusieurs concepts et théories de la motivation humaine dans un simple schéma significatif qui pourrait être utile aux praticiens ? (2) peut-on développer une approche systématique plutôt qu'intuitive pour décrire la motivation en éducation ? En réponse à ces deux questions, Keller a développé le modèle ARCS : Attention, Pertinence (en anglais *Relevance*), Confiance (en anglais *Confidence*), et Satisfaction. Il a considéré que ce modèle peut décrire l'apprenant motivé. Les quatre catégories du modèle ARCS se présentent comme des idéaux à atteindre par chaque apprenant. Il revient au tuteur d'aider les apprenants à atteindre ces idéaux, ce qui correspondrait à un niveau élevé de motivation. La Figure 5 résume le modèle ARCS.

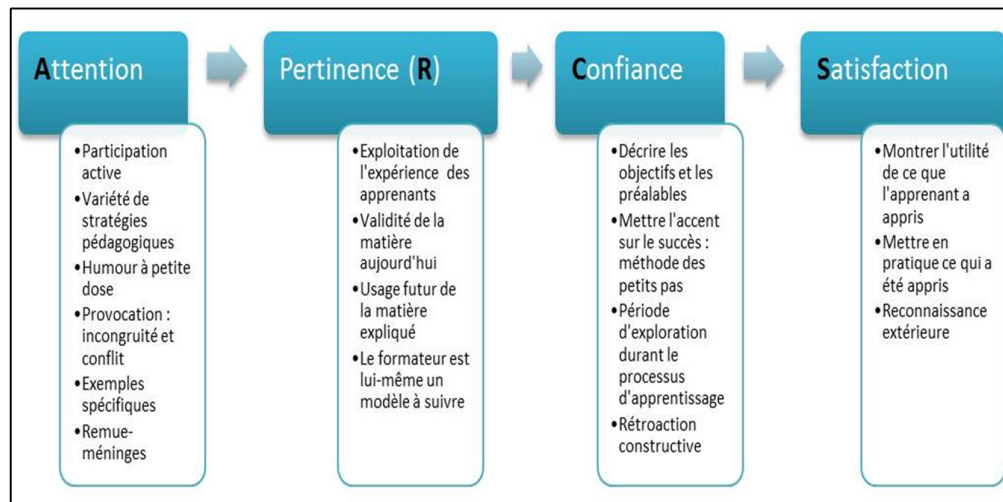


Figure 5 Modèle ARCS de motivation (Belzile 2011)

**Attention (A)** : cette catégorie reflète l'importance de placer l'apprenant dans un environnement propice à l'apprentissage en attirant son attention sur la

tâche à réaliser. Elle est associée au besoin des individus d'un environnement stimulant et varié.

**Pertinence (R) :** cette catégorie représente la valeur de l'activité à réaliser. Elle est justifiée par l'utilité de réaliser une tâche de point de vue de l'apprenant. Pour qu'une activité soit pertinente, l'apprenant doit être informé de ce qui est attendu de lui, des raisons qui font que l'activité est importante, de la place qu'occupe cette activité dans le processus d'apprentissage, etc.

**Confiance (C) :** l'apprenant qui manque de confiance est souvent réticent à participer au processus d'apprentissage. Quand l'apprenant pense qu'il est incapable d'atteindre les objectifs spécifiés, sa motivation décroît d'une manière significative. Pour pallier ce problème, il est intéressant d'établir des objectifs clairs et atteignables, exposer les objectifs du cours et la manière dont les résultats et l'apprentissage seront évalués, organiser le matériel didactique de manière à augmenter peu à peu la difficulté, prévoir des niveaux variables de succès, etc.

**Satisfaction (S) :** l'apprenant tire un certain type de satisfaction ou de récompense de la réalisation de l'activité donnée. Pour faire en sorte que ce soit le cas, le milieu d'apprentissage devrait être confortable, l'expérience d'apprentissage devrait être variée et agréable. La satisfaction d'un apprenant croît lorsqu'il se sent en train de mettre en pratique les connaissances apprises (plus la possibilité d'utiliser les nouvelles compétences est immédiate, mieux c'est). Il est ainsi intéressant de fournir à l'apprenant des situations réalistes ou authentiques, qui exigent l'application des compétences nouvellement acquises.

### 2.4.3 Mesure de la motivation

Vu la complexité du concept de la motivation et ses composantes, la mesure de la motivation reste une question fondamentale et vivement débattue. Plusieurs indices, implicites ou explicites, et plusieurs techniques, objectives ou subjectives, ont été employés dans l'espoir de mesurer la motivation. Une présentation d'un rapide aperçu de différentes possibilités de mesure de la motivation est nécessaire tout en soulignant les limitations de chacune d'entre elles.

### 2.4.3.1 Questionnaires « self-report »

Les questionnaires sont toujours la méthode explicite pour évaluer la motivation. Ils constituent les outils les plus utilisés dans les études de motivation. Un ensemble de questions est présenté à la personne à évaluer. Généralement, un choix limité et précis de réponses est possible pour éviter toute ambiguïté. L'analyse de ces réponses permet d'obtenir un niveau de motivation de la personne évaluée. Les questionnaires peuvent permettre d'évaluer des caractéristiques personnelles, la perception d'un élément ou d'une activité par un individu, etc. A titre d'exemple, l'Échelle de Motivation en Éducation (ÉMÉ), développée par Vallerand et ses collègues (Vallerand, et al. 1989), est un questionnaire de motivation très utilisé dans le système éducatif. Cet instrument est basé sur la théorie d'autodétermination. Il se présente sous la forme de 28 items répartis en 7 sous-échelles comprenant chacune 4 items, sur lesquels l'élève prend position sur une échelle en 7 points. Ce questionnaire examine trois types de motivations intrinsèques (à la connaissance, à l'accomplissement et à la stimulation), trois types de motivations extrinsèques (identifiée, introjectée et à régulation externe) et l'amotivation.

Les questionnaires d'auto-évaluation (*self-report*) ont l'avantage d'être simples à mettre en œuvre. Cependant, on peut aussi leur associer quelques défauts tels que décrits par quelques travaux (Breinholt et Krueger 1999), à savoir la subjectivité des réponses (l'apprenant interrogé peut en effet interpréter de manière personnelle ou erronée les questions posées), le non synchronisme (la détermination d'informations relatives à la motivation ne peut être que postérieure à la situation qui l'a provoquée) et le séquençage des sessions d'apprentissage (il sera nécessaire d'entrecouper une session d'apprentissage de périodes d'évaluation pour mettre à jour le profil motivationnel de l'apprenant).

### 2.4.3.2 Fichiers journaux

Les fichiers journaux (en anglais *logfiles*) peuvent être décrits comme un protocole d'écriture automatique des actions et des processus au sein d'un environnement informatique (par exemple, taux de clic, la durée, les erreurs, etc.). Le fichier journal est généré en arrière-plan et l'apprenant n'est pas conscient de

l'enregistrement des données. Grâce à l'utilisation des outils d'évaluation et de fouille de données dans les fichiers journaux, il est possible d'acquérir des nouvelles connaissances sur les comportements des utilisateurs durant une activité d'apprentissage donnée. Par ce biais, il est possible de recueillir des données quantitatives et qualitatives à partir des réponses et des interactions de l'apprenant avec la machine. Les techniques de datamining et d'apprentissage machine peuvent donner un sens à ces données et fournir des informations utiles pour améliorer l'apprentissage. Par exemple, Mihaela Cocea et Stephan Weibelzahl (Cocea et Weibelzahl 2009) ont analysé des fichiers log pour la détection du désengagement (un aspect de mesure de la motivation) dans un environnement d'apprentissage à distance. Leur étude porte sur la possibilité de prédire le niveau de motivation des apprenants, en mettant l'accent sur ceux qui sont désengagés.

Les fichiers journaux évitent les trois précédents défauts des questionnaires mais présentent d'autres limitations importantes telles que la surcharge d'information (une énorme quantité de données possibles peut causer des difficultés à identifier les variables essentielles dans l'activité) et la signification des données (cet inconvénient est très étroitement lié à l'avantage majeur de cette méthode d'évaluation : puisque les fichiers journaux comprennent des données purement objectives, cela implique aussi que la signification concrète et subjective des données reste incertaine) (Breinholt et Krueger 1999). En définitive, la méthode de fichiers journaux ne peut être vue comme une fin en soi, mais plutôt comme un complément à d'autres techniques d'évaluation de la motivation.

### 2.4.3.3 Capteurs électro-physiologiques

Parmi les capteurs électro-physiologiques qui sont généralement utilisés dans la mesure d'états émotionnels et/ou cognitifs, on peut citer :

**Le capteur BVP (Blood Volume Pulse) :** ce capteur mesure le nombre de battements du cœur par minute. On peut déduire le rythme cardiaque à partir de la pression sanguine volumique BVP (Blood Volume Pulse). Le BVP mesure l'impulsion cardio-vasculaire à travers le corps humain. Il existe une corrélation linéaire significative positive entre le pic du rythme cardiaque et la valence (la valence décrit la nature, positive ou négative, de l'émotion).



**Le capteur GSR (Galvanic Skin Response)** : ce capteur est utilisé pour mesurer la conductivité de la peau. Cette dernière est influencée par l'activité des glandes sudoripares. La conductivité de la peau augmente quand la peau transpire. Peter J. Lang (Lang 1995) a montré qu'il existe une corrélation linéaire entre la conductivité de la peau et l'excitation (l'excitation représente l'intensité de l'émotion mesurée).

**Le capteur RSP (Respiration)** : la respiration permet d'indiquer la rapidité et l'intensité (profondeur) de la respiration d'une personne. Selon quelques chercheurs la respiration est influencée par l'intensité de l'émotion (Prendinger, et al. 2003). D'autres chercheurs (Haag, et al. 2004) affirment qu'une respiration profonde et rapide peut indiquer l'excitation (la colère, la joie, etc.), alors qu'une respiration ralentie et profonde peut exprimer un état de relaxation. Une respiration rapide et peu profonde pourrait manifester une anticipation tendue (la panique, la concentration, etc.) alors qu'une respiration ralentie et peu profonde est susceptible d'indiquer un état passif (la dépression, etc.).

**Le capteur EMG (Électromyogramme)** : ce signal enregistre l'activité électrique globale au niveau des muscles avec des électrodes placées à la surface de la peau. Selon des recherches existantes, le signal EMG est corrélé avec la valence dépendamment du muscle où il était mesuré. Par exemple, le signal mesuré du muscle zygomatique a une corrélation quadratique positive avec la valence, de dimension  $r = 0.9$  (Lang 1995). Tandis que, le signal EMG mesuré du muscle corrugateur varie linéairement et négativement avec la valence, dimension  $r = -0.9$  (Lang 1995).

**Le casque EEG (Électroencéphalogramme)** : un électroencéphalogramme (EEG) est une représentation graphique de l'activité neuronale dans le cerveau que l'on désigne habituellement par le terme d'activité cérébrale. Les hémisphères cérébraux droit et gauche ont chacun leurs spécialités. Ils sont par ailleurs divisibles en plusieurs régions (postérieure, latérale, antérieure, supérieure, dorsale, ventrale, inférieure) correspondant à différents traitements cognitifs (Demos 2005). Par exemple, la région postérieure de l'hémisphère gauche est spécialisée dans le traitement des problèmes reliés aux mathématiques et à la logique alors que la

région postérieure de l'hémisphère droit traitera plutôt les problèmes reliés à l'orientation spatiale et à la reconnaissance des visages.

Plusieurs recherches ont intégré des capteurs électro-physiologiques pour mesurer (détecter) l'état émotionnel et cognitif des apprenants en interaction avec un système d'apprentissage (Alzoubi, et al. 2009; Conati 2002; Fairclough et Ewing 2010; Healey et Picard 2000). Par exemple, Cristina Conati (Conati 2002) a présenté un réseau de décision dynamique pour mesurer l'état émotionnel d'un apprenant en fonction de variables physiologiques comme la fréquence cardiaque, la conductance de la peau, et le positionnement des sourcils. Dans son étude, elle a proposé un modèle probabiliste appliquant la théorie de la décision pour choisir l'action optimale du tuteur. Le modèle proposé avait comme objectif de maintenir un équilibre entre la motivation et l'apprentissage. De point de vue neurologique, plusieurs travaux ont étudié l'évaluation de l'attention, l'engagement et la charge cognitive (en anglais *cognitive workload*) avec l'électroencéphalographie (EEG). Ils se sont servis de cette évaluation pour plusieurs finalités : prédire le succès ou l'échec des apprenants à résoudre les problèmes mathématiques (Cirett Galán et Beal 2012), diagnostiquer certains états émotionnels des apprenants dans un STI (Chaouachi et Frasson 2012), détecter les manques d'attention au niveau des apprenants pour déclencher l'assistance d'agents adaptatifs (Szafir et Mutlu 2012), prédire le niveau de stress d'un apprenant (Heraz, et al. 2009), etc.

Cependant, le travail de Genaro Rebolledo-Mendez et ses collègues (Rebolledo-Mendez, et al. 2010) constitue l'unique étude (à notre connaissance) de la motivation des apprenants en utilisant les données EEG dans le domaine d'enseignement assisté par ordinateur. En utilisant la technologie ThinkGear de NeuroSky pour la collecte de données EEG, ces chercheurs ont évalué des corrélations entre les données physiologiques et les scores d'attention et de motivation obtenus par le questionnaire ARCS de Keller, mais ils n'ont pas trouvé des résultats significatifs. Ils ont conclu que l'analyse cérébrale faite dans leur étude (uniquement des ondes Bêta) était limitée et reflétait qu'un aspect partiel de l'attention des apprenants et que des analyses EEG plus avancées seront nécessaires dans le futur.

## 2.4.4 Déterminants, indicateurs et stratégies motivationnels

### 2.4.4.1 Déterminants de la motivation

Les déterminants sont les composantes de la motivation qui sont directement influencées par le contexte dans lequel l'apprenant se trouve. La manière dont un individu se perçoit et perçoit le contexte dans lequel il se trouve déterminera sa motivation. En éducation, la motivation d'un apprenant est influencée par trois types de perception : la perception de la valeur de l'activité, la perception de sa compétence à l'accomplir et la perception du contrôle qu'il possède sur son déroulement et ses conséquences.

**Perception de la valeur de l'activité.** La perception de la valeur d'une activité, également appelée la perception de l'importance d'une tâche, est un jugement que porte un apprenant sur l'utilité de celle-ci pour atteindre les buts qu'il poursuit (Viau 2009). La valeur que l'on accorde à une activité influence, de façon directe, notre désir de s'y adonner. L'apprenant développe sa propre perception de la valeur d'une activité à partir de deux éléments : l'utilité de l'activité et le type de but visé. D'un côté, une personne n'est pas motivée à s'engager dans un quelconque projet si elle le juge inutile et non pertinent. D'un autre côté, elle tente d'atteindre plusieurs buts lorsqu'elle est en train d'apprendre (buts sociaux, buts scolaires, etc.).

**Perception de soi.** La perception de l'apprenant vis-à-vis de sa compétence à accomplir une activité est une perception de soi par laquelle une personne évalue ses capacités à l'accomplir de manière adéquate (Bandura 1986). La perception de soi réfère aux croyances qu'un apprenant a de sa capacité à utiliser efficacement ses connaissances et habiletés qu'il a déjà avant d'entreprendre une activité quelconque. Elle influence par conséquent l'intensité de l'effort fourni ainsi que la qualité et l'efficacité de cet effort (Barbeau 1994).

**Perception de la contrôlabilité.** Il s'agit ici de la perception du degré de maîtrise que l'apprenant possède sur le déroulement et les conséquences d'une activité pour laquelle on lui demande de s'engager. Plus ce sentiment est élevé, meilleure est la motivation. La perception du contrôle, comme les perceptions de la valeur de l'activité et de soi, reste un déterminant de motivation personnel. En effet,

un apprenant peut estimer qu'il a un degré de contrôle sur l'activité alors qu'un autre peut s'imaginer le contraire pour la même activité.

#### **2.4.4.2 Indicateurs de la motivation**

Les indicateurs sont considérés comme des conséquences de la motivation ou une façon de mesurer le degré de motivation d'un individu. Selon Roland Viau (Viau 2009), une étude de la motivation s'intéresse principalement aux quatre indicateurs suivants : (1) le choix d'un apprenant à s'engager ou non dans une tâche, (2) l'engagement cognitif qui se traduit par l'utilisation de stratégies d'autorégulation et d'apprentissage, (3) le degré de persévérance de ce dernier et finalement, (4) la performance qui en résulte.

**Choix.** Un apprenant motivé choisit d'entreprendre une activité d'apprentissage. S'il est en perte de motivation, il aura tendance à éviter et attendra d'être obligé avant d'entreprendre cette activité.

**Engagement cognitif.** Selon Lyn Corno et Mary Rohrkemper (Corno et Rohrkemper 1985), l'engagement cognitif se définit comme étant la qualité et le degré de l'effort mental dépensé par un apprenant lors de l'accomplissement de tâches d'apprentissage ou des tâches scolaires. Un apprenant engagé et motivé dans ses études utilisera des stratégies d'apprentissage et d'autorégulation. Il adoptera alors différents moyens lui permettant d'acquérir, d'intégrer et de se rappeler les connaissances qu'on lui enseigne.

**Persévérance.** Le terme persévérance est utilisé dans le sens de ténacité. Il peut correspondre au temps qu'un apprenant consacre à des activités d'apprentissage telles que la prise de notes, l'accomplissement d'exercices préparatoires à un examen ou les lectures nécessaires au développement de ses connaissances (Barbeau 1994).

**Performance.** La performance correspond aux résultats observables de l'apprentissage. Elle est considérée comme conséquence de la motivation, car un apprenant motivé persévéra plus qu'un apprenant non motivé et utilisera plus de

stratégies d'apprentissage et d'autorégulation, ce qui aura pour effet d'influencer sa performance (Pintrich et De Groot 1990).

#### **2.4.4.3 Stratégies motivationnelles**

Les travaux en psychologie de l'éducation sur le thème de la motivation se sont multipliés ces vingt dernières années. Dans ceux-ci, le rôle de l'enseignant et plus précisément du climat motivationnel qu'il met en place, sont particulièrement soulignés. Le climat motivationnel est défini comme étant l'ensemble des « critères de succès qui sont projetés sur les individus par un entraîneur, un professeur, un parent [...] à l'intérieur du contexte de réalisation » (Roberts et Treasure 1999). Les consignes ou stratégies susceptibles de faciliter une motivation particulière ont généralement suscité l'attention des études récentes dans ce domaine.

Dans le domaine d'enseignement assisté par ordinateur et des STI, la question des stratégies motivationnelles n'a été abordée explicitement que récemment. Dans les quelques études faites, l'accent a été mis sur la planification de la motivation c'est-à-dire la manière de planifier l'instruction afin de motiver l'apprenant. Par exemple, les travaux de Teresa Del Soldato et Benedict Du Boulay (Soldato et Boulay 1995) constituent la première tentative de considérer la motivation dans un STI. Ces chercheurs se sont basés sur l'approche de la motivation de John Keller (Keller 1987) pour proposer un modèle de motivation dans les STI. Leur méthodologie consiste à évaluer les niveaux d'effort, de confiance et d'indépendance d'un apprenant et à déduire, à partir de cela, son état motivationnel. Ensuite, un planificateur motivationnel était associé au planificateur classique (lié au domaine d'apprentissage) pour fournir des recommandations qui pourraient différer de celles d'un planificateur traditionnel dans un certain nombre de cas. Angel de Vicente et Helen Pain (de Vicente et Pain 2002) ont diagnostiqué la motivation (à savoir comment détecter l'état de motivation de l'apprenant) afin de créer des STI motivants, et ils ont mentionné que des recherches supplémentaires sont nécessaires dans ce domaine pour développer des stratégies (ou actions) motivationnelles.

Emmanuel Blanchard et Claude Frasson (Blanchard et Frasson 2007) ont proposé un système tutoriel intelligent inspiré de jeux vidéo pour améliorer la motivation de l'apprenant. Ils ont discuté des recommandations dont l'objectif est

de faciliter la conception et le développement de STI pouvant soutenir ou, tout du moins, maintenir à un niveau satisfaisant la motivation des apprenants durant une activité d'apprentissage. Ces recommandations s'inspirent de recherches liées à la théorie de l'autodétermination. Les résultats obtenus dans une évaluation de ce prototype montrent que son utilisation semble effectivement avoir un effet positif sur la motivation des élèves pour un cours d'histoire. Cependant, le nombre d'apprenants ayant pris part à cette évaluation reste restreint pour la possibilité de généralisation dans d'autres études.

## **2.5 Incidence de l'utilisation de jeux sérieux sur la motivation**

De nombreuses recherches ont montré les avantages de jeux sérieux dans les environnements d'apprentissage, relatifs non seulement au développement des compétences et à l'apprentissage, mais aussi à la motivation. Depuis 25 ans, Thomas Malone et Mark Lepper (Malone et Lepper 1987) ont utilisé les jeux sur ordinateur comme une plate-forme pour l'étude de motivations intrinsèques dans l'apprentissage. Ils ont constaté que les éléments principaux responsables des affects positifs créés par des jeux informatiques sont la curiosité, le contrôle et la fantaisie. Aussi, la théorie de l'auto-détermination (Deci et Ryan 1985) a montré la valeur de jeux vidéo et de mondes virtuels dans la réalisation des expériences de motivation et de satisfaction (Ryan, et al. 2006).

La théorie du « flow » (Csikszentmihalyi 1990) aide aussi à décrire les raisons pour lesquelles les individus vivent les situations d'engagement en interagissant avec les jeux. Selon Mihaly Csikszentmihalyi, pour qu'un engagement optimal se produise lors d'une activité quelconque, un équilibre entre l'ensemble de compétences de la personne et de la difficulté de la tâche doit être établi. En outre, ce psychologue a affirmé que différentes activités peuvent générer différents états du « flow » (Csikszentmihalyi 1993). En fait, il a affirmé que les activités génèrent un « flow » plus important si elles répondent à quatre critères: (1) avoir des objectifs clairs et une rétroaction immédiate; (2) équilibrer les possibilités d'action et la capacité d'une personne à agir; (3) fournir un sentiment de contrôle; et (4)

fusionner l'action, la concentration et la conscience. Grâce à un engagement optimal, la personne est tellement absorbée par l'activité qu'elle se dégage de l'environnement immédiat.

L'attraction de jeux vidéo est aussi attribuée à la combinaison optimale des défis et des rétroactions. Par exemple, Marc Prensky (Prensky 2001) a élaboré un ensemble de critères clés qui favorisent l'engagement avec le jeu. Il a constaté, de son côté, que les jeux regroupent un ensemble de caractéristiques clés: les buts/objectifs, les conflits/concurrence/défi, l'interaction, les résultats/informations, les règles et la représentation/histoire. Selon Rosemary Garris et ses collègues (Garris, et al. 2002), la fantaisie, les règles/objectifs, les stimuli sensoriels, le défi, le mystère et le contrôle sont les six éléments qui caractérisent les jeux. Ces chercheurs affirment que l'aspect clé de l'apprentissage efficace est la motivation. Les joueurs qui sont très motivés persistent plus longtemps et ont des meilleurs résultats dans une activité particulière.

De nos jours, plusieurs chercheurs pensent que les jeux sérieux sont devenus un outil pédagogique important. En fait, les jeux sérieux ont la capacité de fournir une motivation intrinsèque qui découle de nombreuses sources dans un processus d'apprentissage : réaliser des tâches engageantes et significatives, donner et recevoir des commentaires constructifs, explorer activement une variété de ressources, travailler continuellement pour atteindre une compréhension plus approfondie, etc. Le potentiel des jeux sérieux a également été évoqué pour lutter contre l'échec, le décrochage, etc. (Wastiau, et al. 2009). Dans le cadre de la conception de jeux sérieux, une première étude a exploré les aspects motivationnels du jeu sérieux *American's Army* (Belanich, et al. 2004). Les chercheurs dans cette étude ont constaté que les principaux facteurs qui ont un impact sur la motivation des joueurs sont le défi, le réalisme de jeu, la possibilité d'explorer ou de découvrir de nouvelles informations et le niveau de contrôle donné aux apprenants. Selon ces chercheurs, les quatre variables de motivation doivent être prises en compte dans le développement de jeux sérieux. Bertrand Marne et ses collègues (Marne, et al. 2011) ont focalisé sur la nécessité de maintenir un équilibre entre motivation et apprentissage lors de l'utilisation de jeux sérieux. Ils trouvent que la conception d'un bon jeu sérieux doit résulter d'un travail concerté entre les acteurs du milieu

pédagogique et ceux du milieu vidéo-ludique. Ils ont repéré plusieurs principes fondamentaux pour l'établissement de cet équilibre : un sentiment de défi alimenté par les différents problèmes que l'utilisateur doit résoudre, un moteur de jeu immersif et réactif qui répond aux manipulations et initiatives du joueur, des actions significatives avec lesquelles les apprenants franchiront les obstacles du jeu, une interface ludique qui stimulera à la fois le plaisir et la motivation de poursuivre l'expérience, une difficulté progressive pour conserver l'intérêt durant toute la partie, etc..

Dans le cadre de l'évaluation électro-physiologique de l'incidence de jeux sérieux sur la motivation des apprenants, il n'y a pas (à notre connaissance) des travaux explicitement faits dans ce sens, mais il n'y a que quelques aspects motivationnels ou états d'attention ou d'engagement qui ont été étudiés. Par exemple, Ellen Lisette Schuurink et ses collègues (Schuurink, et al. 2008) ont étudié les effets sonores et les éléments visuels sur l'engagement et l'excitation de l'apprenant dans un jeu sérieux appelé *Levee-Patroller*. Ils ont combiné plusieurs outils (questionnaires, signaux EMG, etc.) pour expliquer les effets des éléments du jeu sérieux sur ces deux états, mais ils ont conclu que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour élucider la relation entre l'excitation et l'engagement.

## 2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé trois notions importantes : les STI, les jeux sérieux et la motivation. Nous avons aussi présenté les différents travaux menés dans chacun de trois domaines. L'état de la motivation des apprenants est fondamental pour activer le processus d'apprentissage. Alors que quelques études ont été faites pour soutenir la motivation dans les STI, la mesure de la motivation dans les jeux sérieux reste rarement explorée. Ceci nous a incité à diriger nos premiers travaux de recherche dans ce sens pour trouver des moyens de mesure efficaces de cet état. Nos hypothèses de recherche mises pour atteindre cet objectif ainsi que notre contribution feront l'objet du chapitre suivant.



# **Chapitre 3 : Évaluation de la motivation dans les jeux sérieux : Food-Force comme exemple**

## **3.1 Introduction**

Les jeux sérieux interviennent de plus en plus dans les processus d'apprentissage pour devenir les environnements les plus captivants et motivants (Fenouillet, et al. 2009). Dans ces environnements, la motivation et son intensité (ou niveau) animent les apprenants lorsque ceux-ci accomplissent des tâches données. Nous jugeons que toute étude de la motivation de l'apprenant passe par une étape préalable de mesure de la motivation pour décider ensuite l'intervention appropriée du système. Dans ce chapitre, nous visons à évaluer la motivation dans un environnement de jeux sérieux. Nous présentons, dans un premier temps, les hypothèses et les choix faits pour mesure la motivation des apprenants. Nous décrivons, dans un deuxième temps, l'étude expérimentale, les détails techniques et l'analyse de données. Nous rapportons, dans un troisième temps, les résultats obtenus tout en discutant leurs interprétations dans l'évaluation de la motivation dans les jeux sérieux.

## **3.2 Hypothèse et choix faits**

Dans la majorité des travaux sur la motivation, il y a eu recours à des questionnaires d'auto-évaluation pour évaluer le niveau de la motivation des apprenants. Un questionnaire est composé d'un ensemble d'items auxquels le sujet doit indiquer son degré d'accord. Ces items sont de type Likert dont la réponse est exprimée sur une échelle graduée entre « complètement d'accord » et « pas d'accord du tout ». Les questionnaires d'auto-évaluation sont fréquemment utilisés dans de nombreux domaines : psychologie du travail, psychologie sociale, études de marché, etc. Un des avantages de la méthode des questionnaires est de permettre la collecte de données auprès des personnes questionnées à un coût peu élevé par rapport à des méthodes utilisant des équipements sophistiqués tels que les capteurs électro-physiologiques. Cependant, les réponses dans cette méthode manquent de

justifications, d'éclaircissements ou d'explications. De plus, les personnes qui répondent aux questionnaires doivent avoir les compétences nécessaires en lecture (et parfois en écriture). Enfin, il peut être impossible de communiquer de nouveau avec le répondant si tous les renseignements nécessaires pour étayer une conclusion n'ont pas été demandés ou fournis, ou s'il devient manifeste que les questions n'étaient pas claires. Comme nous l'avons détaillé dans le chapitre précédent, plusieurs autres techniques pourraient être utilisées pour consolider les questionnaires, à savoir l'analyse des fichiers journaux ou des signaux physiologiques.

Dans le cadre de cette recherche, notre objectif est d'évaluer la motivation des apprenants. Nous jugeons que l'efficacité de notre évaluation de la motivation est tributaire de l'exactitude des moyens de mesure utilisés dans cette évaluation. Les limites de la méthode de questionnaire d'auto-évaluation nous dirigent vers l'exploration d'autres moyens indirects de mesure de la motivation. Nous nous posons la question suivante : en combinant plusieurs outils et sources d'informations (questionnaires, capteurs électro-physiologiques, etc.), est-il possible d'avoir un outil suffisamment efficace pour mesurer la motivation des apprenants? L'hypothèse suivante a été émise pour répondre à notre première question de recherche :

*H1 : La motivation de l'apprenant est caractérisée par des patrons physiologiques et cérébraux, combinés avec la performance de l'apprenant dans un environnement de jeux sérieux et sa perception de sa motivation.*

### **3.2.1 Environnement de jeux sérieux**

Dans cette étude, nous commençons par une étude exploratoire qui tente d'évaluer la motivation des apprenants lors d'une session d'apprentissage et d'extraire quelques patrons physiologiques corrélés avec le niveau de la motivation des apprenants. Le choix d'un environnement d'apprentissage est une première étape cruciale pour solliciter la motivation des apprenants et susciter des réactions motivationnelles chez eux. Des environnements traditionnels, tels qu'un cours statique en ligne, sont à proscrire car nous risquons le désengagement et par la suite l'ennui du côté des apprenants. Nous avons alors fait le choix de l'environnement

des jeux sérieux pour étudier la motivation des apprenants éprouvée dans quelques situations captivantes. Nous focalisons notre intérêt sur l'application de différents moyens de mesure dans cette évaluation. L'environnement des jeux sérieux combine l'aspect ludique des jeux vidéo avec un objectif pédagogique d'apprentissage. Il est élaboré de manière à offrir un système informatique conservant plusieurs avantages d'un tuteur humain (communication, interaction, informations évolutives, etc.) et ceux d'un jeu virtuel (avatars, animation, effets spéciaux, défis, contrôle, etc.). En outre, l'environnement des jeux sérieux permet de créer des contextes dans lesquels un apprenant s'immerge rapidement avec des émotions positives qui influence sa motivation et par conséquent son apprentissage (Prensky 2001). Nous supposons qu'un tel environnement suscite des réactions physiologiques dominantes caractérisant l'état de la motivation des apprenants.

### **3.2.2 Questionnaire de motivation et test de performance**

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté plusieurs travaux traitant la motivation à savoir les travaux de Edward Deci et Richard Ryan (Deci et Ryan 1985), les travaux de John Keller (Keller 1987), etc. Nous avons sélectionné le modèle ARCS de Keller pour étudier la motivation dans cette thèse. Notre choix est justifié par l'utilisation et la validation de ce modèle dans plusieurs études portant sur la motivation dans cadre éducatif ou de formation (Gabrielle 2003; Visser 1998), ce qui nous intéresse tout particulièrement. Un ensemble d'items, élaborés à partir du modèle ARCS, forme un questionnaire d'auto-évaluation de la motivation appelé IMMS (*Instructional Materials Motivation Survey*) (voir Annexe A) largement utilisé dans la mesure de la motivation. Nous avons recours à ce questionnaire dans notre étude.

Outre l'utilisation du modèle ARCS dans la mesure du niveau de la motivation des apprenants, il faut en souligner une autre qui vise à diagnostiquer, et par la suite résoudre, des problèmes motivationnels chez les apprenants. En fait, ce modèle vise à susciter et à maintenir la motivation des apprenants tout en agissant sur quatre composantes : l'Attention, la pertinence (en anglais *Relevance*), la Confiance (en anglais *confidence*) et la Satisfaction. C'est un modèle adaptable à chaque situation qui, en fonction des problèmes qu'on y décèle, prend en compte

plusieurs types d'obstacles tels que la méconnaissance de stratégies d'apprentissage, ou encore, les problèmes de perception.

En ce qui concerne les implications de jeux sérieux sur les performances dans les tâches d'apprentissage, on dispose d'un moyen de mesure directe en utilisant un pré-test et un post-test administrés respectivement avant et après une session de jeu. Un test de performance est généralement une série de questions à choix multiples (fermées) destinées à vérifier des informations auprès des répondants. Dans notre contexte, l'évaluation de la performance des apprenants se fait en termes d'acquisition de connaissances présentées dans le jeu sérieux.

### **3.2.3 Différents capteurs électro-physiologiques**

Contrairement aux mesures directes qui se basent sur les informations quantitatives, les mesures électro-physiologiques collectent des données qualitatives et les analysent en conjonction avec les données quantitatives pour déduire une évaluation de l'état de la motivation des apprenants. Dans cette étude, nous focalisons sur la contribution de données électro-physiologiques dans la mesure de la motivation en choisissant deux catégories de capteurs électro-physiologiques:

1. Un capteur enregistrant les variations de volume sanguin (BVP) et un capteur de réponse cutané galvanique (GSR) sont choisis pour mesurer le rythme cardiaque et la transpiration de la peau respectivement. Les résultats ont montré que la majorité de la variabilité des réponses verbales et physiques aux stimuli émotionnels peut être expliquée par deux facteurs : (1) la valence (la nature positive ou négative de l'émotion) et (2) l'excitation (l'intensité de l'émotion mesurée). Les résultats de travaux de Peter Lang (Lang 1995) ont permis de proposer un espace 2D valence/excitation émotionnel qui reflète les corrélations positives entre les réactions émotionnelles des individus et les mesures calculées avec les deux capteurs BVP et GSR. En fait, le capteur physiologique BVP permet d'enregistrer les variations sanguines dans le corps et par la suite le rythme cardiaque d'un individu (le facteur de la valence), alors que le capteur physiologique GSR permet d'enregistrer la réaction électrodermale de la peau en mesurant le degré de sudation d'un individu (le facteur de l'excitation). Une

description des émotions sur un axe positif/négatif et ses intensités (état d'excitation, de calme à fortement excité) est illustrée par la figure 6.

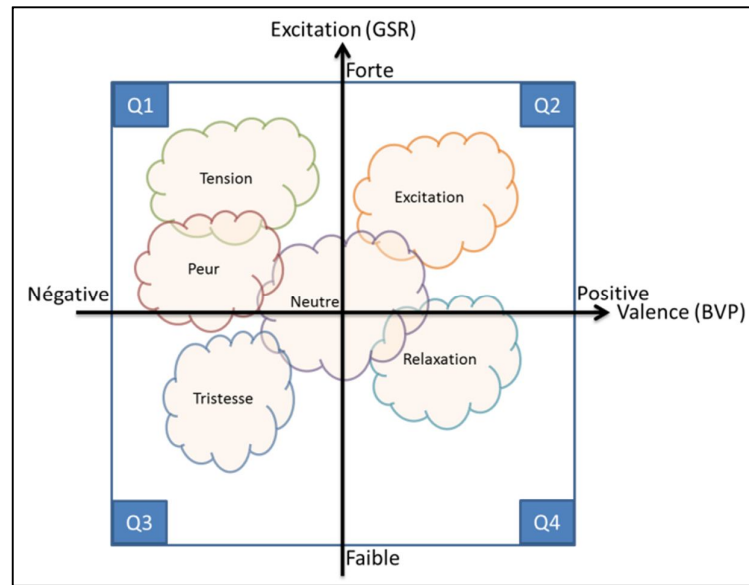


Figure 6 Espace 2D valence/excitation émotionnel

2. Un électroencéphalogramme (EEG) mesure l'activité électrique produite par le cortex et représente la transcription sous forme d'un tracé des variations dans le temps des potentiels électriques recueillis sur la boîte crânienne en différents points du scalp. Sa réalisation technique et son interprétation sont plus difficiles que les deux autres capteurs physiologiques choisis. D'une manière générale, il n'existe pas de corrélation directe ni de relation proprement causale entre les états éprouvés par les individus et les données EEG mesurées. D'après Jean-François Lambert (Lambert 1988), l'EEG ne renseigne évidemment pas sur les contenus de conscience mais indexe seulement des processus qui fluctuent avec le niveau de vigilance, l'attention, la motivation, l'émotion, l'activité, etc.

Après avoir fixé nos choix (l'environnement de jeux sérieux, les questionnaires et les moyens de mesure de la motivation), une première étude a été conçue et s'est déroulée dans le laboratoire HERON pour mesurer la motivation des participants dans un environnement de jeux sérieux. Le protocole expérimental et les résultats obtenus seront les sujets de deux sections ci-après.

## 3.3 Étude expérimentale : Expérience de juin 2009

### 3.3.1 Procédure

Dans la présente étude, nous avons invité plusieurs participants à jouer un jeu sérieux téléchargeable gratuitement appelé Food-Force (Food-Force 2005). Il s'agit d'une initiative du Programme Alimentaire Mondial (PAM) des Nations Unies pour sensibiliser les joueurs au problème de la faim dans le monde.



Figure 7 PAM et Food-Force

Dans Food-Force, nous trouvons également différentes missions destinées à présenter aux joueurs des problèmes spécifiques concernant l'aide alimentaire et l'acheminement des aliments dans le monde. Les enchaînements entre l'ensemble des missions sont scénarisés et s'inscrivent dans l'objectif global du jeu. L'équipe du PAM est composée de plusieurs personnages animés qui vont guider le joueur tout au long du jeu. Chaque mission est introduite et expliquée par un des personnages. Quand la partie ludique est finie, des courtes séquences vidéo présentent des images réelles liées à la mission jouée. Un personnage du PAM accompagne également le joueur tout au long de chaque mission en lui offrant des conseils et des leçons différentes.

Trente-trois personnes (11 femmes et 22 hommes) ont participé à notre étude, en échange d'une rémunération horaire fixe. Les participants ont été recrutés du campus de l'université de Montréal et ils n'ont jamais joué Food-Force avant de passer notre expérience. L'âge moyen de l'échantillon était de 26.7 ans (écart type de 4.1 ans). Suite à la signature d'un formulaire de consentement, nous avons procédé à l'installation des capteurs électro-physiologiques sur la main non-dominante et la tête du participant : le capteur GSR a été placé autour des doigts majeur et auriculaire de la main non dominante du participant, le capteur BVP a été attaché à l'index de la même main et le casque EEG a été enfilé sur la tête du participant. Le jeu Food-Force invite les participants à compléter plusieurs missions virtuelles qui reflètent la vie réelle et les obstacles rencontrés par le PAM dans ses interventions d'urgence à la fois pour le tsunami et d'autres crises alimentaires dans le monde entier. Pour des objectifs pédagogiques et à cause des contraintes temporaires, tous les participants ont seulement joué les cinq premières missions de Food-Force. La figure 8 montre le schéma du protocole expérimental.

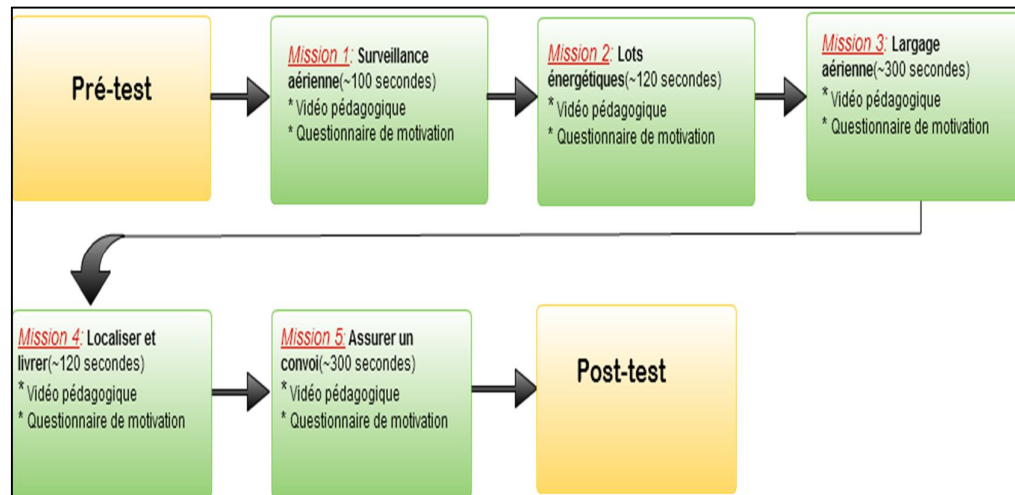


Figure 8 Protocole expérimental

### 3.3.2 Détails techniques

#### 3.3.2.1 EEG et système 10-20

L'emplacement des électrodes EEG est standardisé par une nomenclature internationale appelée système 10-20. Une fois les électrodes placées, il faut vérifier

qu'elles sont équidistantes d'avant en arrière et de droite à gauche. La symétrie doit être parfaite. Ainsi, les électrodes doivent être placées d'après des règles strictes : (1) la ligne de départ du système 10-20 est celle qui réunit le nasion et l'inion en passant par le vertex, (2) cette ligne est divisée en 6 parties : 10% de la longueur sont portés au-dessus du nasion pour former le plan frontal et 10% au-dessus de l'inion pour le plan occipital; le reste est divisé en 4 parties égales représentant chacune 20% de la longueur totale (voir Figure 9).

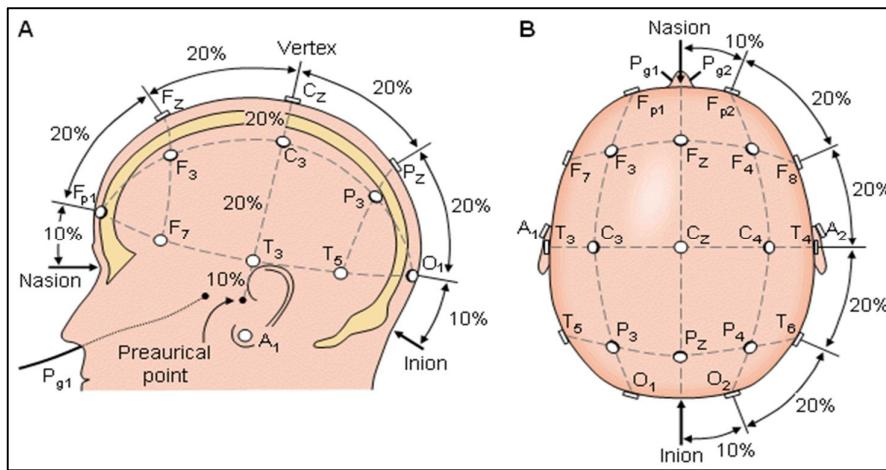


Figure 9 Système international 10-20 (Malmivuo et Plonsey 1995)

Le nombre d'électrodes varie de 8 à 21; mais il peut être plus important selon les indications. Les électrodes portent un nom en rapport avec leur position qui se compose d'une lettre F pour frontal, C pour central, P pour pariétal et O pour occipital, ou d'une combinaison comme FC pour une position entre frontal et central, et d'un chiffre (pair pour les électrodes à droite et impair pour les électrodes à gauche) ou de la lettre Z (pour les électrodes de la ligne médiane). Ces informations et beaucoup plus de détails se trouvent dans le chapitre 13 du livre de Jaakko Malmivuo et Robert Plonsey publié en ligne (Malmivuo et Plonsey 1995).

### 3.3.2.2 Montage

Tout signal EEG est une différence de potentiel entre une électrode de mesure et une électrode de référence. Il est donc impossible d'utiliser une seule électrode dans le montage EEG. Deux types de montages sont possibles : le montage bipolaire où les électrodes sont couplées deux à deux, et le montage



référentiel où une électrode est couplée à toutes les autres. En montage bipolaire, on considère que le signal enregistré provient d'une position imaginaire se trouvant entre les deux électrodes. Lorsqu'on utilise un montage référentiel, on doit veiller à placer une électrode de référence à un endroit où aucun signal d'intérêt ne peut être enregistré. Néanmoins, le potentiel de la référence est non-nul en pratique et il perturbe plus ou moins les signaux d'intérêt.

Les positions les plus courantes pour la référence sont les lobes d'oreilles (gauche, droite ou liés), les mastoïdes (gauche, droite ou liées), le nez, ou une position sur la ligne médiane. « L'électrode de référence doit être placée à un endroit qui n'est pas sensible à des artefacts. Une électrode à la ligne médiane est appropriée » (Anonymous 1999) (traduction libre). Le choix de l'électrode de référence influence la forme du signal enregistré. D'après Quentin Noirhomme et Remy Lehembre (Noirhomme et Lehembre 2011), le montage bipolaire est moins sensible aux artefacts, mais ne détectera pas les événements qui sont communs sur les deux électrodes. Cependant, le montage référentiel n'a pas ce problème, mais il est plus sensible aux artefacts.

### 3.3.2.3 Enregistrements électro-physiologiques

Nous avons choisi d'utiliser un montage référentiel : l'électrode de référence était positionnée sur le site central Cz et l'électrode terre (*Ground*) était positionnée sur le site préfrontal central Fpz. Les signaux GSR, BVP et EEG ont été gérés par le logiciel *Biograph Infiniti* et l'encodeur *ProComp Infiniti* (ProComp-Infinity 2009). Ces signaux sont de faible amplitude, ils doivent être amplifiés de façon considérable grâce à des amplificateurs. Une fois amplifiés et filtrés, les signaux sont convertis en des signaux numériques. La figure 10 montre le matériel utilisé dans notre étude expérimentale.

L'encodeur *ProComp Infiniti* dispose de 8 entrées protégées des broches du capteur avec deux canaux échantillonnés à 2048 échantillons par seconde et six canaux échantillonnés à 256 échantillons par seconde. Les deux premiers canaux ont été utilisés par les capteurs GSR et BVP. Les six derniers canaux autres ont été utilisés par les électrodes placées aux six sites EEG selon le système international 10-20 : Fz, F3, C3, Pz, A1 et A2 (voir Figure 11). L'enregistrement des deux

mastoïdes gauche (A1) et droite (A2) nous servira dans notre analyse de données pour ré-référencier des signaux EEG.

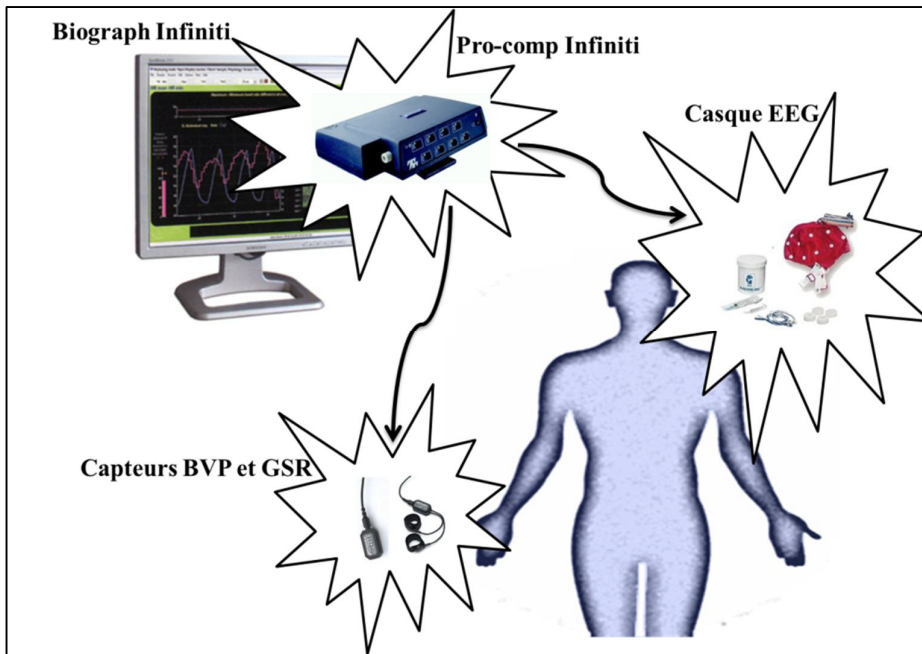


Figure 10 Enregistrements électro-physiologiques

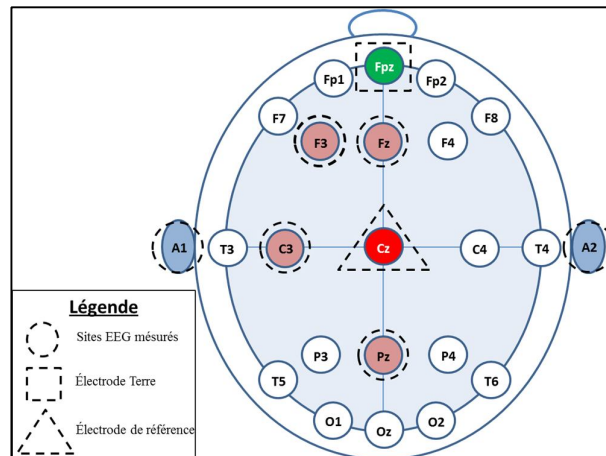


Figure 11 Sites EEG enregistrés

Afin d'améliorer la qualité des signaux, les électrodes cérébrales ont légèrement été remplies d'une solution saline conductrice et l'impédance de chaque électrode a été maintenue en dessous de 5 kilo Ohms. En outre, il y avait utilisation de quelques filtres qui permettent d'éliminer les variations rapides de potentiel qui ne sont pas d'origine électro-encéphalographique. Un filtre coupe-bande est

généralement utilisé pour enlever des artefacts causés par les lignes électriques (60 Hz au Canada) lors de l'enregistrement des signaux. Des filtres supplémentaires ont été appliqués lors de l'analyse de données.

### 3.3.3 Collecte des données

Un pré-test (avant le jeu) et un post-test (après le jeu) ont été administrés pour comparer les performances des apprenants en termes d'acquisition des connaissances. Nous avons utilisé 10 questions à choix multiples (fermées) portant sur le problème général de la faim dans le monde. De plus, le questionnaire IMMS du modèle ARCS (voir Annexe A) a été utilisé après chaque mission (durant le jeu) pour évaluer l'état de la motivation des apprenants. Il est dérivé de quatre catégories de modèle ARCS de motivation. En raison de contraintes de temps et après avoir reçu les conseils et l'approbation de John Keller, l'auteur de ce questionnaire, nous avons utilisé une forme réduite d'IMMS qui contenait seulement 16 affirmations. IMMS utilise une échelle de type Likert à 5 points (où 1 signifie fortement en désaccord et 5 signifie fortement d'accord). Nous avons aussi développé un site web en langage PHP regroupant l'ensemble de questionnaires et nous l'avons hébergé tout en utilisant les deux serveurs web ([www-etud.iro.umontreal.ca](http://www-etud.iro.umontreal.ca)) et MySQL ([mysql.iro.umontreal.ca](http://mysql.iro.umontreal.ca)) du département IRO de l'université de Montréal. Les participants ont utilisé notre site web dans un autre écran placé à côté de l'écran principal du jeu pour répondre aux tests de performance (figure 12-A) et le questionnaire IMMS de motivation (figure 12-B)).

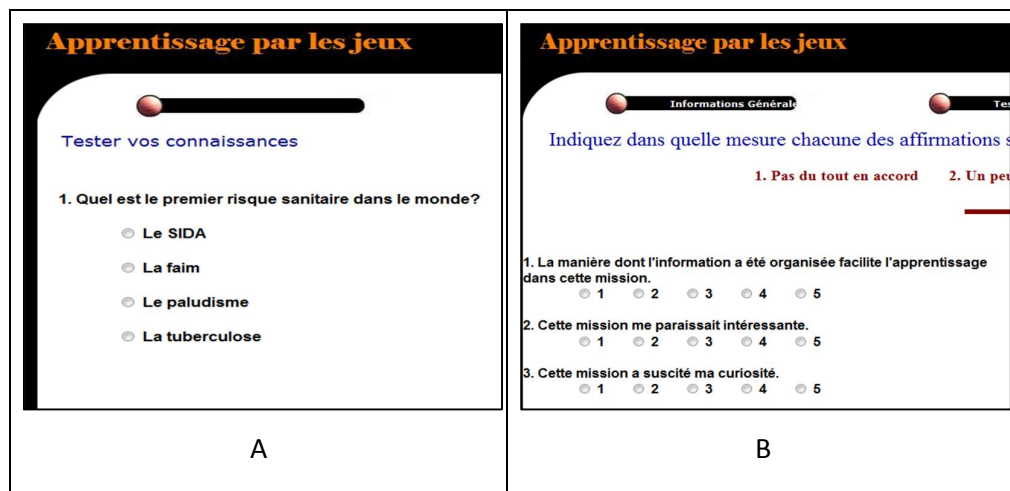


Figure 12 Une question du pré-test (A) et des items du questionnaire IMMS (B)

En outre, une webcam orientée vers le joueur et une autre vers l'écran principal de jeu ont été utilisées pour enregistrer respectivement les expressions faciales de l'apprenant et son évolution dans le jeu. Les données physiologiques ont également été enregistrées : deux capteurs GSR et BVP étaient attachés aux doigts de la main non dominante du participant, laissant l'autre main libre pour la tâche expérimentale. Enfin, un casque EEG a été convenablement enfilé sur la tête du participant. Les participants ont été invités à minimiser les clignements d'yeux et des mouvements musculaires lors des enregistrements électro-physiologiques. Tous les sites EEG (Fz, F3, C3 et Pz) ont été référencés en ligne (*On-line*) pour Cz. Les données électro-physiologiques ont été enregistrées durant toute l'expérience. Une ligne de base (*Baseline*) de 60 secondes de tous les signaux a été calculée en état de repos et les yeux fermés avant de commencer l'expérience.

### 3.3.4 Analyse des données

#### 3.3.4.1 Traitement de données électro-physiologiques

Un traitement hors ligne (*Off-line*) de données GSR, BVP et EEG a été effectué à l'aide du logiciel *BioGraph Infiniti*. Il regroupe un ensemble de techniques qui permettent d'améliorer la qualité du signal. Nous avons suivi les étapes suivantes dans le traitement de données électro-physiologiques :

1. Les données EEG ont été ré-référencées à la moyenne de l'activité sur les deux mastoïdes (A1 et A2). La méthode de ré-référencement est destinée à rehausser les caractéristiques informatives du signal EEG. En fait, le changement de référence du signal EEG à une référence moyenne commune permet de rehausser les oscillations du cortex moteur par rapport au bruit (Dien 1998). Pour chaque site EEG (Fz, F3, C3 ou Pz) mesuré, le signal corrigé est calculé en utilisant la formule suivante :

$$signal_{corrigé} = signal_{brut} - \frac{(signal_{A1} + signal_{A2})}{2}$$

2. Quatre participants (2 femmes et 2 hommes) ont été exclus de l'analyse cérébrale à cause de problèmes techniques au moment de l'enregistrement. Un autre problème technique d'enregistrement dans le site Fz avec beaucoup de

participants nous a amené aussi à exclure toutes les données relatives au site Fz dans notre analyse.

3. Un traitement visuel des signaux enregistrés a été effectué pour éliminer les données contaminées par des artefacts suite à une grande activité musculaire ou des clignements excessifs d'yeux. Cette étape utilise les enregistrements vidéo faits avec les deux webcams durant l'expérience. Un filtrage des signaux EEG corrigés a été aussi fait en appliquant des filtres passe-bande dans la plage de fréquence de 2 à 48 Hz. D'après Robert Horlings et ses collègues (Horlings, et al. 2008), l'utilisation de ces filtres permet la détection du clignement des yeux nettement présent dans les fréquences faibles (1-2 Hz), tandis que les fréquences supérieures à 48 Hz ne contiennent que peu d'activité cérébrale, et sont essentiellement polluées par des interférences électriques (50 ou 60 Hz).
4. La durée d'une époque (*epoch*) était de 1 seconde avec un échantillonnage à 256 Hz. La transformation rapide de Fourier (FFT) a été réalisée sur des époques d'une seconde pour générer des spectres de fréquences sous la forme d'un histogramme de l'amplitude ou de la phase en fonction des fréquences étudiées. Le résultat graphique d'une FFT est affiché sous la forme d'un histogramme d'une amplitude ( $\mu\text{V}$ ) ou d'une puissance ( $\mu\text{V}^2$ ) versus une fréquence (Hz). A partir de ce spectre et afin d'obtenir une analyse quantitative et simplifiée de l'EEG, cinq bandes de fréquences comprises entre 2 et 48 Hz ont été extraites : Gamma (32-48 Hz), Bêta (12-32 Hz), Alpha (8-12Hz), Thêta (4-8 Hz) et Delta ( $<4$  Hz). Nous avons aussi calculé la densité spectrale de puissance (DSP) d'EEG pour chacune des bandes de fréquences extraites. La DSP peut être utilisée comme indice informatif (Bagrova, et al. 1984) et elle représente la répartition de la puissance d'un signal suivant les fréquences. Nous rapporterons dans la section de résultats obtenus les valeurs DSP absolues ayant subies une transformation logarithmique pour normaliser la distribution des données (Halliday, et al. 1995).
5. Nous avons prélevé des mesures du capteur cutané BVP qui est considéré comme moyen non-invasif et sûr pour mesurer le rythme cardiaque (RC). Le calcul du RC est réalisé par la détection des maxima du signal BVP et en

utilisant l'intervalle inter-battements (IBI) à chaque battement. Le RC est mesuré en battements par minute (B/min. ou Bm).

6. La conductivité de la peau (CP) a été calculée à partir du capteur cutané GSR. La CP est une mesure qui permet de déterminer le niveau de conductibilité électrique de la peau. Il s'agit de l'inverse de la résistivité de la peau. Par définition, le capteur GSR donne une évaluation de la résistivité de la peau. La CP est tout simplement l'inverse du signal GSR et elle est mesurée en micro-Siemens ( $\mu\text{S}$ ).
7. Une technique de normalisation a été aussi appliquée aux données physiologiques (RC et CP) en utilisant les données de la ligne de base (*Baseline*). En effet, la normalisation des données conserve les caractéristiques physiologiques pour chaque sujet et établit une unité de mesure commune pour pouvoir comparer les sujets entre eux. La normalisation effectue une transformation linéaire sur les données originales. Elle a aussi l'avantage de conserver exactement toutes les relations entre les données. Nous avons normalisé chacune des données physiologiques RC et CP en utilisant la formule suivante (Lin, et al. 2008) :

$$signal_{normalisé} = \frac{signal_{brut} - signal_{baseline}}{signal_{max} - signal_{min}} \times 100$$

où  $signal_{min}$  et  $signal_{max}$  représentent les signaux minimal et maximal durant la période d'interaction avec le jeu et  $signal_{baseline}$  correspond au signal enregistré avant le début du jeu. Ces données physiologiques normalisées reflètent les changements des signaux par rapport à une référence (la ligne de base).

#### 3.3.4.2 Étude statistique

Dans cette première expérience, plusieurs types de données quantitatives (scores des questionnaires de motivation IMMS ou pré-test et post-test de performance) et qualitatives (données électro-physiologiques) ont été obtenus. L'application de quelques méthodes statistiques et quelques filtres est nécessaire pour mieux comprendre les données collectées et les utiliser dans la validation notre

première hypothèse de recherche H1 (certaines caractéristiques dans les données collectées déterminent le niveau de la motivation de l'apprenant pendant son interaction avec Food-Force).

Dans notre étude statistique, nous avons opté pour l'utilisation de tests statistiques non-paramétriques. En effet, l'application des tests paramétriques requiert essentiellement la satisfaction de la contrainte de normalité de la distribution de données. Cette hypothèse est d'autant plus difficile à vérifier que l'échantillon de population étudié est plus réduit. Dans le cas de notre expérience, l'échantillon était faible (seulement 29 participants après l'analyse précédente) et aucune hypothèse n'a été justifiée en ce qui concerne la distribution normale de données. Ainsi, l'emploi des tests non-paramétriques se justifie alors dans notre analyse de données, même après les transformations faites aux variables étudiées. Les tests non-paramétriques sont des tests de comparaison de moyennes. Ils ne nécessitent pas d'estimation de la moyenne et de la variance. En fait, ils n'utilisent même pas la valeur réelle recueillie dans les échantillons, mais seulement le rang de cette valeur dans la liste ordonnée de toutes les valeurs. Lorsque les échantillons peuvent être considérés indépendants, on applique le test de Mann et Whitney pour 2 échantillons et celui de Kruskal et Wallis pour un nombre quelconque d'échantillons. Dans l'autre cas où on a des échantillons appariés, on applique le test de Wilcoxon pour 2 échantillons et celui de Friedman pour un nombre quelconque d'échantillons. Dans la section suivante, les résultats d'un test sont toujours déclarés comme étant statistiquement significatifs au niveau de significativité à 1% ou 5%. Nous avons utilisé le logiciel SPSS (version 20) pour conduire les différents tests statistiques.

## **3.4 Résultats obtenus**

### **3.4.1 Évaluation de la performance**

Dans un premier temps, cette étude s'intéresse à l'apprentissage et l'acquisition des connaissances. On rappelle que nous avons administré deux tests de connaissance (pré-test et post-test) afin d'étudier l'impact du jeu sérieux Food-Force sur la performance des apprenants. Nous avons effectué un test de Wilcoxon

pour 2 échantillons appariés (les scores obtenus aux pré-tests et post-tests) pour évaluer cet impact en termes d'acquisition de connaissances. Les résultats de ce test non-paramétrique sont reportés dans le tableau 2 et montrent une différence significative entre les deux scores des participants ( $Z=4.66$ ,  $p<0.001$ ). Le nombre de réponses correctes après la fin du jeu était nettement supérieur à celui avant le début du jeu. Ce résultat est en concordance avec d'autres études qui montrent le potentiel des jeux sérieux dans l'acquisition des connaissances.

Test	Moyenne	Médiane	Dev. std	Z	Sig. p
Pré-test	6.07	6	1.387	4.657	0.000(*)
Post-test	8.86	9	0.990		

(\*) Niveau de significativité à 1%

Tableau 2 Résultats du test de Wilcoxon

### 3.4.2 Évaluation de la motivation

#### 3.4.2.1 Résultats statistiques

Afin de déterminer la fiabilité du questionnaire IMMS dans notre étude de la motivation, un test de fiabilité a été exécuté sur les données IMMS recueillies après la première mission de Food-Force. Le coefficient alpha de Cronbach est une mesure d'homogénéité ou de cohérence interne entre les items d'un questionnaire (mesurés sur une échelle de Likert). IMMS a donné une fiabilité (coefficient alpha de Cronbach) de 0.88 pour la mesure de motivation générale et des fiabilités de 0.91, 0.71, 0.79 et 0.87 pour la mesure respectivement de l'attention, la pertinence, la confiance et la satisfaction. Les résultats de coefficients de fiabilité sont en concordance avec ceux obtenus dans les travaux de Sang Song et John Keller (Song et Keller 2001) et sont aussi synonymes de la fiabilité de l'instrument utilisé dans cette expérience pour mesurer la motivation.

Notre objectif est d'évaluer la motivation des apprenants durant l'expérimentation des différentes missions de Food-Force. Il est important de souligner que les scores ARCS obtenus suite à chaque mission ne sont pas indépendants, puisque ce sont les mêmes joueurs qui jouent les différentes missions.



Nous en avons tenu compte lors de nos tests statistiques. Ainsi, nous avons appliqué une analyse de variance de Friedman (Friedman's ANOVA by ranks) qui est un test de comparaison de populations sur échantillons appariés. Les résultats de l'ANOVA de Friedman entre les scores ARCS sont reportés dans le tableau 3 (Derbali et Frasson 2012a).

Des différences significatives entre les scores de la motivation générale ainsi que toutes les catégories du modèle ARCS, à l'exception de la catégorie R (la pertinence), ont été observées en passant d'une mission à une autre (au total, cinq missions ont été jouées). Le tableau 3 montre les résultats statistiques suivants : *Motivation générale* :  $F(1,4)=10.16, p<0.05$  ; *Attention* :  $F(1,4)=19.51, p<0.001$  ; *Pertinence* :  $F(1,4)=7.38, p=0.12$  ; *Confiance* :  $F(1,4)=16.83, p<0.05$  ; *Satisfaction* :  $F(1,4)=10.85, p<0.05$ .

La catégorie A (l'attention) du modèle ARCS a montré la différence la plus significative parmi les autres catégories. Les variations significatives dans cette catégorie peuvent être expliquées par les différents éléments que le jeu Food-Force utilise pour maintenir l'attention des apprenants. Il y a des déclenchements d'alarme quand le joueur se confronte à des situations inattendues, par exemple les attaques du convoi par les forces rebelles locales ou les crevaisons de camions (mission 5). Il y a également plusieurs tâches mentales nécessitant de la concentration et de l'attention : larguer de la nourriture sans risquer des vies humaines (mission 3) et assurer un convoi de camions en toute sécurité jusqu'à un centre d'alimentation tout en surmontant les défis du désamorçage de mines, la reconstruction des ponts et la négociation avec les forces rebelles (mission 5). Enfin, les apprenants deviennent de plus en plus attentifs lorsqu'ils se trouvent dans des situations de résolution de problèmes, par exemple trouver la bonne combinaison de différents produits alimentaires (riz, haricots, huile végétale, sucre et sel iodé) pour créer un régime alimentaire nutritif et équilibré, le tout à un coût cible de 30 cents US par personne et par repas (mission 2). Les résultats indiquent aussi que certaines missions ont demandé beaucoup plus d'attention que d'autres ou que certaines missions ont gagné beaucoup plus d'attention des joueurs que d'autres.

Motivation	Moyenne	Médiane	Dev. Std	Khi-deux	Sig. p
Mission 1	55.14	55	10.347	10.157	0.036(*)
Mission 2	54.66	55	11.321		
Mission 3	52.00	50	11.206		
Mission 4	58.93	62	10.535		
Mission 5	56.45	54	10.377		

Attention	Moyenne	Médiane	Dev. Std	Khi-deux	Sig. p
Mission 1	14.334	15	3.351	19.512	0.001(**)
Mission 2	16.310	18	3.883		
Mission 3	16.000	17	3.595		
Mission 4	16.862	17	3.090		
Mission 5	17.620	19	3.121		

Pertinence	Moyenne	Médiane	Dev. Std	Khi-deux	Sig. p
Mission 1	12.689	14	5.745	7.379	0.117
Mission 2	11.000	9	5.855		
Mission 3	9.482	7	5.369		
Mission 4	12.620	12	5.747		
Mission 5	10.758	10	4.852		

Confiance	Moyenne	Médiane	Dev. Std	Khi-deux	Sig. p
Mission 1	14.689	16	4.629	16.833	0.002(**)
Mission 2	12.655	14	4.760		
Mission 3	11.241	12	4.725		
Mission 4	14.586	16	4.452		
Mission 5	12.344	14	4.466		

Satisfaction	Moyenne	Médiane	Dev. Std	Khi-deux	Sig. p
Mission 1	13.413	14	2.872	10.852	0.028(*)
Mission 2	14.689	15	3.495		
Mission 3	15.275	16	3.463		
Mission 4	14.862	15	2.812		
Mission 5	15.724	15	2.986		

(\*\*) Niveau de significativité à 1%

(\*) Niveau de significativité à 5%

Tableau 3 Résultats de l'ANOVA de Friedman

La pertinence de chaque mission de Food-Force est expliquée à travers un briefing virtuel au début de la mission où des vidéos montrent les tâches que l'apprenant doit réussir pour achever cette mission. À la fin de chaque mission, un des personnages qui accompagne le joueur présente la réalité du travail du PAM sur

le terrain à travers une vidéo pédagogique réelle montrant les vraies situations d'urgence. On pense que le résultat non significatif de la catégorie R (la pertinence) du modèle ARCS peut être expliqué par les deux raisons suivantes :

1. Cette catégorie a été conçue de la même façon entre les missions : des segments vidéo expliquaient le but de chaque mission et son application réelle afin de relier chaque mission au problème de faim dans le monde. Ceci engendre des moyennes très proches entre les missions et ainsi explique les différences non significatives entre les scores de la catégorie R en passant d'une mission à une autre.
2. Le questionnaire IMMS évalue la pertinence de l'activité et son lien avec la réalité (les items 2, 6, 7 (inversé) et 8 dans l'Annexe A) pour chaque apprenant. D'après John Keller (Keller 1987), l'apprenant doit être informé à l'avance des raisons qui font que l'activité est importante, de la place qu'occupe cette activité dans le processus d'apprentissage, etc. Dans le cas de Food-Force, c'est surtout les vidéos affichées à la fin des missions qui montrent la pertinence de la mission dans la réalité. Ceci explique les moyennes relativement faibles de cette catégorie par rapport aux moyennes des autres catégories. En d'autres termes, malgré la bonne conception des vidéos montrées à la fin de chaque mission, leur emplacement n'était pas adéquat et par conséquent ces vidéos ont perdu beaucoup de leur potentiel pour aviser les joueurs de la pertinence de la mission faite. Le joueur qui vient de finir une mission, est tellement porté par d'autres catégories (notamment la satisfaction en cas de réussite ou le mécontentement en cas d'échec) qu'il risque fort de ne pas suivre (ou simplement ne pas trouver utile) les vidéos qui montrent l'application réelle de la mission finie. On pense que les concepteurs de Food-Force auraient dû mettre les vidéos pédagogiques au début de chaque mission. Ainsi, elles montreront la réalité des tâches à effectuer dans chacune des missions et amélioreront le niveau de motivation des joueurs pour accomplir le jeu.

#### **3.4.2.2 Suivi électro-physiologique**

La motivation est un attribut humain complexe causant des modifications comportementales et pouvant être exprimé selon plusieurs modalités (le visage, les

gestes, les réactions physiologiques et cérébrales, etc.). Dans cette recherche, nous essayons de relier les données électro-physiologiques au niveau de motivation chez les apprenants durant leur évolution dans un jeu sérieux. Nous avons utilisé trois mesures pour la mesure de niveaux de la motivation : le rythme cardiaque RC, la conductivité de la peau CP et les densités spectrales de puissance DSP de différentes bandes de fréquences EEG. Dans un premier temps, nous avons calculé les moyennes de ces mesures pour tous les participants dans chaque mission du jeu Food-Force. Dans un deuxième temps, nous avons suivi les évolutions de ces mesures en passant d'une mission à une autre et nous les avons comparées avec les mesures obtenues à la ligne de base (*baseline*). Quelques résultats ont été présentés dans (Derbali et Frasson 2010a).

Dans la figure 13, nous présentons les différentes moyennes des mesures RC et CP normalisées par rapport à la *baseline* et associées à chacune des cinq missions jouées dans Food-force. L'expérimentation de différentes missions est accompagnée de réactions physiologiques telles que l'accélération du rythme cardiaque et l'augmentation de la conductivité de la peau par rapport à l'état de repos.

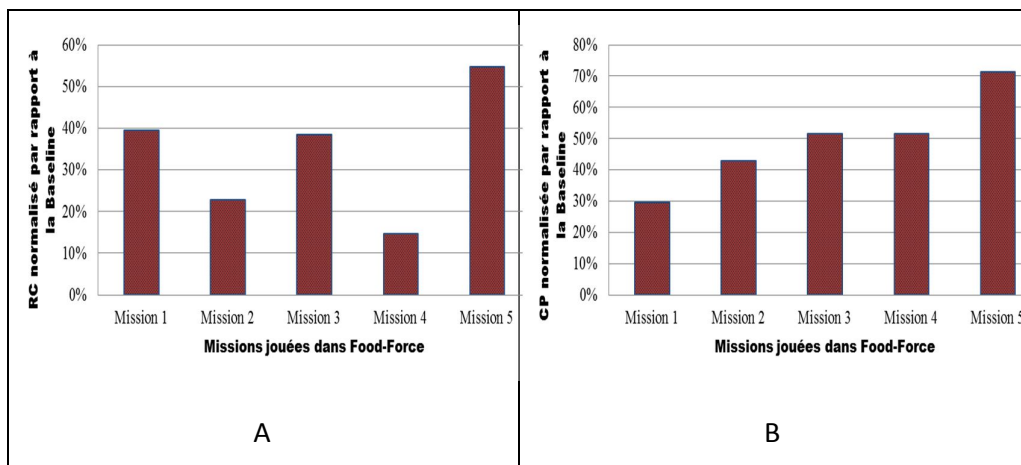


Figure 13 Moyennes des mesures RC (A) et CP (B) dans les différentes missions jouées

Comme nous l'avons présenté au début de ce chapitre, les mesures RC et CP sont connues par leur évaluation, de manière fiable, d'activations émotionnelles et elles sont largement utilisées pour la détection des émotions. En effet, les signaux

physiologiques recueillis peuvent être analysés en fonction de l'espace 2D valence/excitation émotionnel. La CP augmente linéairement avec le niveau l'excitation d'une personne et le RC a été corrélé positivement à la valence (Lang 1995). En projetant ces tendances dans l'espace 2D valence/excitation, les participants étaient dans le quadrant Q2 de la figure 14, ce qui traduit une tendance vers des émotions positives et par conséquent des niveaux relativement élevés de la motivation. Cependant, les variations de ces mesures entre les missions ne sont pas les mêmes. Par exemple, nous constatons des augmentations considérables de la CP dans les missions 2 et 4, mais des augmentations faibles du RC.

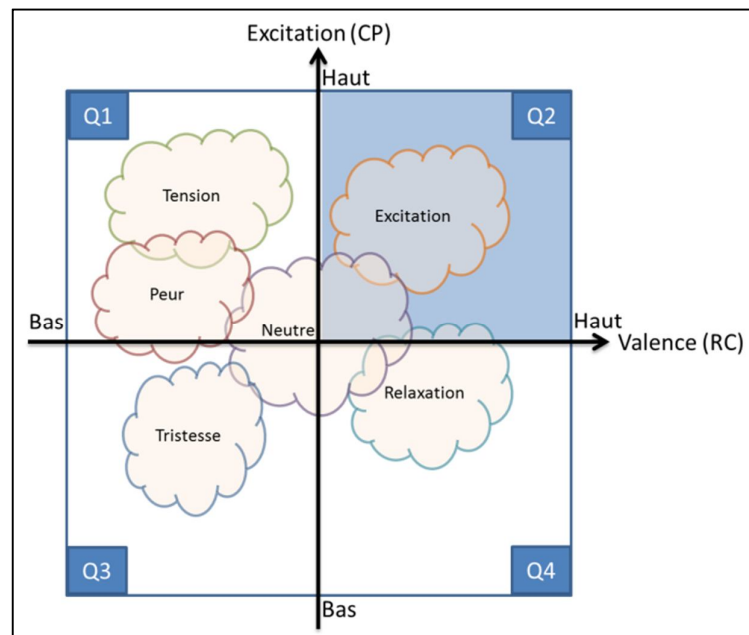


Figure 14 Quadrant des mesures RC et CP dans l'espace émotionnel

De point de vue motivationnel, des investigations plus détaillées seront nécessaires dans notre étude exploratoire pour comprendre ces tendances physiologiques en les associant à des facteurs de la motivation existants dans chacune des missions jouées. Ces investigations seront faites dans le chapitre suivant.

Les résultats cérébraux sont présentés dans la figure 15 : les moyennes de données DSP normalisées des différentes bandes de fréquences pour les cinq missions de Food-Force.

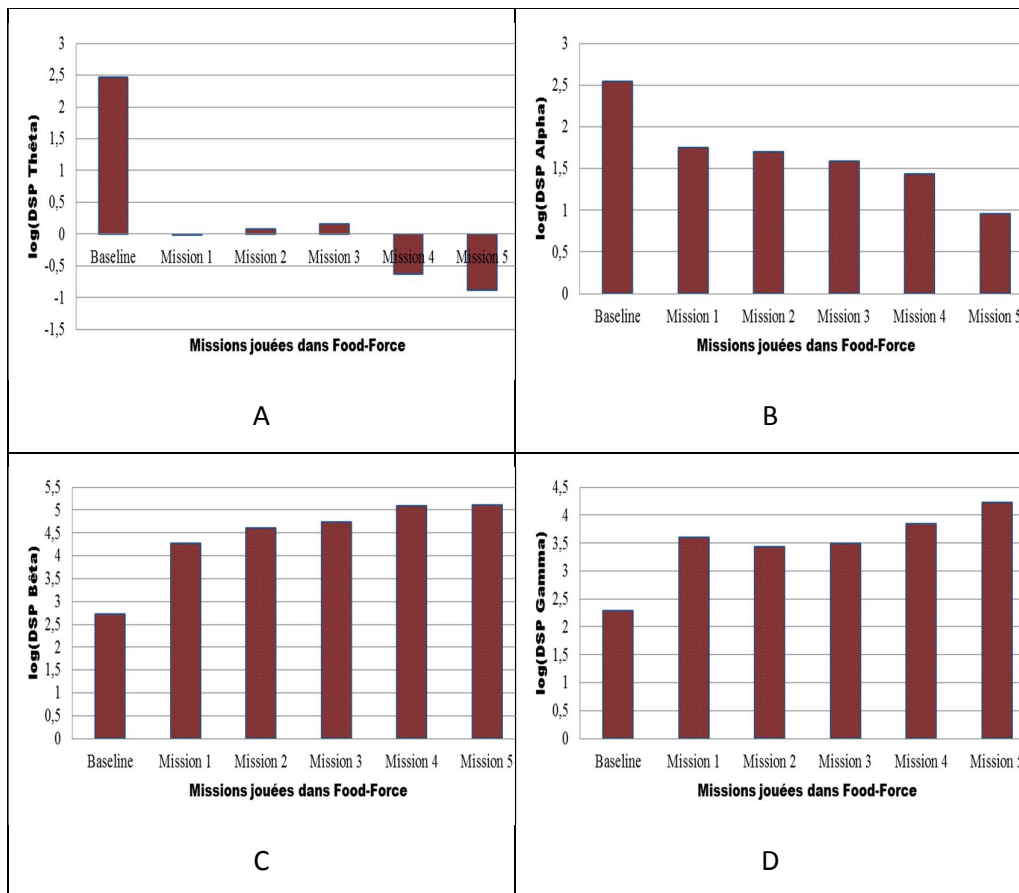


Figure 15 Densités spectrales de puissance DSP des bandes de fréquences Thêta (A), Alpha (B), Bêta (C) et Gamma (D) pour les différentes missions jouées

Les résultats nous montrent deux principales tendances : une diminution (ou absence) des mesures DSP des bandes de basses fréquences et une augmentation (ou dominance) des mesures DSP des bandes de hautes fréquences par rapport à la *baseline* dans l'évolution des joueurs dans les missions. En fait, la réaction cérébrale des participants face aux tâches à accomplir pendant les missions du jeu est caractérisée par une diminution de la bande Thêta, une disparition de la bande Alpha et en contrepartie une bande Bêta, peu synchronisée et plus rapide, ainsi qu'une bande Gamma dominant l'activité cérébrale dans les sites EEG mesurés.

En expérimentant les missions de Food-Force, les tendances communes entre les basses et les hautes fréquences reflètent des états d'attention, de vigilance et de concentration au niveau des apprenants. La dominance de la bande de fréquences Gamma, allant de 32 à 48 Hz, reflète un traitement cognitif et se manifeste par exemple lors de l'apprentissage. Cependant, le suivi électro-

physiologique se basant seulement sur des bandes de fréquences séparées reste global. Nous nous sommes alors intéressés à comparer les manifestations cérébrales via un ratio EEG entre les bandes de fréquences Thêta et Bêta (voir le chapitre suivant). Ce ratio reflète la différence d'amplitude entre les bandes Thêta et Bêta dans chaque site EEG.

### 3.4.2.3 ARCS et données électro-physiologiques

Après la présentation des résultats statistiques des scores ARCS de motivation et les tendances RC, CP et DSP pendant les différentes missions jouées dans Food-Force, une question pourrait se poser : peut-on se fier à ces mesures électro-physiologiques comme indicateurs objectifs pour déterminer les niveaux de la motivation des apprenants ? Nous avons essayé de répondre à cette question en appliquant des régressions linéaires sur l'ensemble des données collectées. Quelques résultats ont été présentés dans (Derbali et Frasson 2010b).

Les moyennes normalisées RC, CP et DSP de chaque participant dans chaque mission jouée ont été utilisées pour alimenter cinq modèles régressifs : un modèle pour la motivation générale et quatre autres pour chacune des catégories A, R, C et S du modèle de Keller. Nous avons construit des modèles de prédiction basés sur des régressions linéaires multiples. La régression linéaire permet d'analyser séparément de nombreux facteurs de telle sorte que l'effet de chacun peut être estimé. Elle est utile pour quantifier l'impact de diverses influences simultanées sur une seule variable dépendante. Dans notre étude, nous avons utilisé une analyse de régression multiple pour prédire la motivation ou une catégorie du modèle ARCS (variable dépendante) à partir de différentes mesures électro-physiologiques (variables explicatives) dans toutes les missions jouées. Au total, le nombre de variables explicatives est 14 (4 bandes de fréquences X 3 sites EEG + RC + CP) et le nombre d'observations pour chaque modèle est 145 (5 missions X 29 participants). Pour sélectionner automatiquement les variables explicatives qui sont significatives, nous avons utilisé une méthode de sélection de type pas à pas (*stepwise*) qui est la plus sophistiquée des méthodes de sélection de variables (Kirkpatrick et Feeney 2009). Cette méthode consiste à considérer d'abord un modèle faisant intervenir un certain nombre de variables explicatives, puis elle

procède par élimination ou ajout successif de variables. La procédure pas à pas propose après l'introduction d'une nouvelle variable dans le modèle de (1) réexaminer les tests t de Student pour chaque variable explicative anciennement admise dans le modèle, (2) retirer du modèle, après réexamen, les moins significatives d'entre elles, et (3) continuer le processus jusqu'à ce que plus aucune variable ne puisse être introduite ni retirée du modèle.

Dans la régression, le but est d'estimer ou de prédire une variable dépendante à partir de la connaissance des autres variables explicatives en construisant une équation de régression. Le coefficient de régression  $\beta$  permet d'évaluer la place que prend la variable explicative dans l'explication de la variable dépendante. Le test t de Student indique si le coefficient de la variable présente dans l'équation est significatif. Le coefficient de détermination  $R^2$  (ajusté ou non) est un indice de la part de la variance de la variable dépendante expliquée par la ou les variables explicatives qui sont dans l'équation. Nous examinons le coefficient de détermination  $R^2$  ajusté issu de la régression linéaire multiple, qui est compris entre 0 et 100% et reflète la qualité de l'ajustement : plus  $R^2$  ajusté est proche de 100%, plus la part des variations de la motivation (ou une catégorie du modèle ARCS) expliquée par celles des mesures électro-physiologiques est importante.

Dans le tableau 4, la régression de la motivation générale conduit à un coefficient de détermination  $R^2$  ajusté de 65%. Les résultats de ce premier modèle démontrent que cinq variables qui expliquent et déterminent le plus la motivation des apprenants à travers les missions jouées sont les bandes de fréquences Thêta au niveau du site F3 ( $\beta=-0.424$ ,  $p=0.000$ ), Bêta au niveau des sites F3 ( $\beta=0.229$ ,  $p=0.001$ ) et C3 ( $\beta=0.138$ ,  $p=0.042$ ) et Alpha au niveau du site C3 ( $\beta=-0.131$ ,  $p=0.015$ ) ainsi que la conductivité de la peau CP ( $\beta=0.160$ ,  $p=0.012$ ). Les autres mesures électro-physiologiques ont été exclues de ce modèle dû à leur faible corrélation.

Les bandes de fréquences Thêta et Alpha ont des coefficients négatifs et statistiquement significatifs dans le premier modèle régressif de la motivation. Par conséquent, la diminution des bandes de basses fréquences et accompagnée par des niveaux élevés de la motivation des apprenants durant la mission jouée. Les



résultats significatifs la bande de fréquence Bêta qui a des coefficients de régression  $\beta$  positifs indiquent que plus la densité spectrale de cette bande augmente durant le jeu, plus l'apprenant aura un niveau de motivation élevé. La variation dans des bandes de fréquences Thêta, Alpha et Bêta permet de fournir une information relativement précise quant à l'état mental des joueurs. En effet, la diminution des basses fréquences et la dominance de la bande de fréquences Bêta caractérisaient les joueurs motivés qui étaient plus vigilants, concentrés et attentifs sur la tâche demandée (Demos 2005).

De point de vue catégoriel de la motivation, nous avons aussi examiné la relation entre chaque catégorie du modèle ARCS et l'ensemble des variables explicatives (mesures électro-physiologiques). Les coefficients de détermination  $R^2$  ajusté pour les modèles Attention, Pertinence, Confiance et Satisfaction indiquent que respectivement 48%, 28%, 30% et 26% de la variance de la variable dépendante sont expliquées. Alors que les modèles associés sont statistiquement significatifs ( $p < 0.05$ ), ces coefficients restent relativement faibles pour expliquer la variance des catégories A, R, C et S. Cependant, ceci laisse entendre que certaines mesures électro-physiologiques, essentiellement les bandes de fréquences Thêta et Bêta presque présents dans tous les modèles régressifs obtenus, corrélerent avec des dimensions motivationnelles plus que d'autres, ce qui consolide nos constations faites durant le suivi électro-physiologique fait précédemment.

Les résultats obtenus montrent clairement que certaines mesures électro-physiologiques ont caractérisé la motivation des apprenants et peuvent ainsi constituer un outil efficace pour évaluer les niveaux de motivation durant une session de jeu. Ces résultats montrent aussi la pertinence de l'ajout de mesures EEG dans l'évaluation de la motivation des apprenants, d'autant plus lorsque celle-ci ne peut pas être clairement faite par une utilisation des mesures RC et/ou CP seulement. À travers ces résultats et comme nous l'avons mentionné précédemment, des facteurs motivationnels dans les missions jouées de Food-Force nous paraissent devoir être considérés afin de détailler les manifestations électro-physiologiques associées à ces facteurs et les relier à la motivation (et aux catégories motivationnelles) des apprenants.

<b>Motivation</b>					
Variables	Coefficient non standardisé	Erreur standard	Coefficient $\beta$	t	Sig. p
(Constante)	43.083	2.169		19.861	0.000
F3_Thêta	-1.295	0.212	-0.424	-6.123	0.000
F3_Bêta	1.888	0.540	0.229	3.499	0.001
CP	3.384	1.324	0.160	2.555	0.012
C3_Alpha	-1.816	0.740	-0.131	-2.455	0.015
C3_Bêta	0.434	0.211	0.138	2.055	0.042
$R^2 = 0.662$ $R^2$ ajusté = 0.650 $F_{(5,139)} = 4.224$ $p = 0.042$					
<b>Attention</b>					
Variables	Coefficient non standardisé	Erreur standard	Coefficient $\beta$	t	Sig. p
(Constante)	11.188	0.823		13.602	0.000
F3_Bêta	0.914	0.216	0.339	4.233	0.000
C3_Thêta	-.521	0.149	-0.252	-3.509	0.001
CP	1.301	0.526	0.188	2.474	0.015
F3_Alpha	0.501	0.241	0.139	2.081	0.039
$R^2 = 0.452$ $R^2$ ajusté = 0.437 $F_{(4,140)} = 4.329$ $p = 0.039$					
<b>Pertinence</b>					
Variables	Coefficient non standardisé	Erreur standard	Coefficient $\beta$	t	Sig. p
(Constante)	10.572	1.191		8.878	0.000
F3_Thêta	-0.467	0.147	-0.298	-3.175	0.002
C3_Alpha	-1.528	0.524	-0.214	-2.915	0.004
C3_Bêta	0.345	0.148	0.214	2.340	0.021
$R^2 = 0.292$ $R^2$ ajusté = 0.277 $F_{(3,141)} = 5.476$ $p = 0.021$					
<b>Confiance</b>					
Variables	Coefficient non standardisé	Erreur standard	Coefficient $\beta$	t	Sig. p
(Constante)	12.666	0.707		17.911	0.000
F3_Thêta	-0.732	0.093	-0.550	-7.887	0.000
RC	-3.567	1.771	-0.140	-2.014	0.046
$R^2 = 0.313$ $R^2$ ajusté = 0.303 $F_{(2,142)} = 4.055$ $p = 0.046$					
<b>Satisfaction</b>					
Variables	Coefficient non standardisé	Erreur standard	Coefficient $\beta$	t	Sig. p
(Constante)	12.185	0.845		14.418	0.000
C3_Thêta	-0.662	0.148	-0.355	-4.475	0.000
F3_Bêta	0.615	0.192	0.253	3.195	0.002
$R^2 = 0.267$ $R^2$ ajusté = 0.256 $F_{(2,142)} = 10.202$ $p = 0.002$					

Tableau 4 Résultats des régressions linéaires multiples

### **3.5 Conclusion**

Ce chapitre a permis de montrer notre méthode d'évaluation de la motivation dans les jeux sérieux. Dans ce contexte, nous avons décrit les outils utilisés dans la mesure de la motivation ainsi que notre approche expérimentale. Les résultats obtenus montrent la possibilité de cette évaluation par le biais de capteurs électro-physiologiques, pour mettre en place un « motivomètre » comme outil de mesure de la motivation des apprenants. Cet outil nous servira pour évaluer la motivation des joueurs dans des contextes et des situations spécifiques ou aussi l'impact d'actions (ou stratégies) motivationnelles conçues dans un jeu sérieux. C'est l'objectif que nous proposons d'atteindre avec cet outil dans le chapitre suivant.



## **Chapitre 4 : Étude de catégories et de stratégies motivationnelles**

### **4.1 Introduction**

La motivation des apprenants, définie comme un processus interne qui oriente leur comportement, peut être stimulée par plusieurs moyens. Par exemple, elle prend naissance lorsque les apprenants éprouvent des besoins à court ou à moyen termes, lorsqu'ils sont informés à tout moment des actions à exécuter dans la tâche à accomplir, etc. Ces moyens de stimulation de la motivation, bien étudiés et bien présentés, peuvent provoquer le comportement, le soutenir et encore l'intensifier. Dans le chapitre précédent, nous avons trouvé que les mesures physiologiques, et essentiellement celles obtenues par les signaux cérébraux, ont une corrélation significative avec la motivation des apprenants dans le jeu sérieux Food-Force. Maintenant qu'on a obtenu un moyen de mesure de la motivation dans un environnement de jeux sérieux, quelles sont les catégories et/ou les stratégies qui soutiennent et encouragent la motivation des apprenants dans cet environnement? C'est ce que nous traitons dans ce chapitre.

Nous poursuivons alors l'analyse de notre première expérience et nous détaillons chacune des missions jouées dans Food-Force. Ceci est fait en identifiant, en premier lieu, les éléments motivationnels qui soutiennent la motivation et favorisent l'apprentissage; et en exploitant, en second lieu, les méthodes de mesure testées dans le chapitre précédent pour évaluer l'impact de certains éléments définis.

### **4.2 Approche théorique**

Une étude théorique de la motivation et des modèles motivationnels est nécessaire pour identifier des situations captivantes dans un environnement d'apprentissage. Certaines situations caractérisant des niveaux d'implication et d'immersion de l'apprenant sont suivies par des réactions physiologiques spécifiques durant l'interaction. L'objectif ultime de cette partie d'étude est d'évaluer (1) l'impact de certaines catégories du modèle ARCS et certaines

stratégies motivationnelles existantes dans Food-Force sur la motivation des apprenants et (2) l'efficacité de notre outil de mesure de la motivation dans le suivi électro-physiologique de certaines catégories et stratégies motivationnelles. Nous nous posons les questions de recherche suivantes:

Peut-on évaluer les catégories motivationnelles du modèle ARCS dans Food-Force en quantifiant leur impact à la fois théorique et empirique sur les apprenants?

Peut-on trouver des modèles physiologiques empiriques pour évaluer les effets de stratégies utilisées dans Food-Force sur la motivation des apprenants durant l'interaction? Si c'est le cas, ces modèles peuvent-ils alimenter des modèles IA de prédiction de niveaux de motivation des apprenants associés à chacune des stratégies motivationnelles étudiées?

Ainsi, deux hypothèses sont postulées:

*(H2) Un environnement de jeux sérieux regroupe des facteurs motivationnels influençant la motivation des apprenants.*

*(H3) Il est possible de modéliser les réactions et les tendances physiologiques des apprenants associées à des stratégies motivationnelles.*

#### **4.2.1 Modèle ARCS de motivation**

Afin de trouver des réponses aux questions précédemment posées, nous avons mené une étude théorique en nous basant sur le modèle ARCS de motivation (Keller 1987). Ce modèle a été choisi pour évaluer théoriquement, à travers le questionnaire IMMS, la motivation des apprenants dans le chapitre précédent. John Keller a utilisé les recherches existantes sur la psychologie motivationnelle pour identifier quatre catégories (Attention, Pertinence, Confiance et Satisfaction) et douze sous-catégories, et construire le modèle ARCS de motivation. Chacune des sous-catégories explique une dimension motivationnelle dans l'environnement d'apprentissage ou dans les stratégies pédagogiques du tuteur afin de soutenir la motivation des apprenants. Le tableau 5 décrit chacune des sous-catégories du modèle ARCS de motivation.

ARCS	Sous-catégories	Description
Attention	A1 : Variabilité	Incorporer plusieurs méthodes et médias pour répondre au besoin de changement de l'apprenant.
	A2 : Éveil perceptuel	Utiliser la nouveauté, la surprise, l'incongruité ou l'incertitude.
	A3 : Enquête excitante	Poser des questions ou présenter des problèmes à résoudre.
Pertinence	P1 : Orientation vers un but	Présenter les objectifs, l'utilité de l'instruction et les méthodes spécifiques pour atteindre le succès.
	P2 : Motif correspondant	Présenter à l'apprenant les compétences à acquérir qui lui seront utiles dans d'autres domaines.
	P3 : Familiarité	Se baser sur l'expérience et les valeurs de l'apprenant dans la présentation du contenu.
Confiance	C1 : Conditions d'apprentissage	Informar l'apprenant des performances attendues et des critères d'évaluation dans la tâche à accomplir.
	C2 : Opportunités de succès	Offrir un défi et des opportunités significatives pour un apprentissage réussi et fournir de l'aide et répondre aux questions pertinentes de l'apprenant.
	C3 : Responsabilité personnelle	Responsabiliser l'apprenant en liant l'apprentissage réussi avec l'effort qu'il doit fournir.
Satisfaction	S1 : Renforcement intrinsèque	Susciter le plaisir en intégrant, par exemple, des éléments ludiques dans l'expérience d'apprentissage.
	S2 : Récompenses extrinsèques	Fournir un renforcement positif et une rétroaction motivante en accordant, par exemple, des scores ou prix aux apprenants.
	S3 : Équité	Maintenir des normes cohérentes et conséquentes pour le succès et donner une rétroaction d'une manière objective à tous les apprenants.

Tableau 5 Modèle ARCS de motivation

## 4.2.2 Étude de deux sous-catégories d'Attention A2 et A3

Dans ce chapitre nous avons choisi d'étudier deux sous-catégories d'attention A2 et A3 parmi les différentes sous-catégories du tableau précédent. Nous avons repéré l'illustration de ces deux sous-catégories dans le jeu Food-Force par des alarmes sonores et lumineuses (A2) et des situations d'obstacles et d'erreurs (A3) présentées aux joueurs. Quelques autres sous-catégories seront aussi traitées dans l'étude des stratégies motivationnelles ci-après.

### 4.2.2.1 Exemple d'éveil perceptuel (A2) : alarme sonore et lumineuse

Selon Jere Brophy (Brophy 2004), l'éveil perceptuel est déclenché en réponse à des événements particuliers dans une situation courante (par exemple, une action surprenante). Ces événements captent l'attention des apprenants et les motivent à se concentrer sur l'activité et l'explorer davantage. Le modèle de motivation ARCS fait également valoir que la motivation de l'apprenant peut être acquise par plusieurs éveils perceptuels en se basant sur des événements nouveaux ou surprenants. Nous avons décidé d'étudier un exemple d'éveils perceptuels, une alarme sonore et lumineuse, qui se déclenche à chaque fois que les joueurs confrontent un obstacle dans la mission 5 (assurer un convoi) de Food-Force. Nous étudions alors l'attention des apprenants dans le jeu et son changement durant le déclenchement d'alarmes. Un exemple de cette alarme est illustré à la figure 16.



Figure 16 Alarme sonore et lumineuse



#### 4.2.2.2 Exemple d'enquête excitante (A3) : obstacles et erreurs

Amory et ses collègues (Amory, et al. 1999) ont identifié les principaux éléments dans les jeux que les apprenants trouvent intéressants et utiles, par exemple les règles du jeu et l'environnement immersif graphique et l'interactivité, pour n'en nommer que quelques-uns. Des chercheurs ont investigué ces éléments de conception distinctifs qui semblent nécessaires pour stimuler la motivation des apprenants. Ils ont toutefois indiqué que ces différents éléments du jeu engendrent des situations de risques, d'erreurs et d'obstacles qui semblent être pertinentes et en corrélation directe avec la motivation des apprenants et essentiellement leur attention (Dondlinger 2007). En fait, les joueurs dans les jeux vidéo se trouvent dans des situations où ils doivent éviter de part et d'autre certains pièges ou des mauvaises actions (erreurs). Les jeux vidéo génèrent aussi des obstacles pour empêcher le joueur d'atteindre facilement son objectif et de réussir les missions. De ce point de vue, ces obstacles constituent des éléments incitateurs qui stimulent l'attention du joueur pour remplir sa quête. Nous nous intéressons à l'évaluation de l'attention des apprenants lorsqu'ils surmontent des obstacles et des erreurs dans deux missions de Food-Force : mission 3 (largage aérien) et mission 5 (assurer un convoi).



Figure 17 Exemples d'un bon largage (A) et d'un mauvais largage (B) dans la mission 3

La mission 3 demande aux apprenants de larguer 10 paquets de nourriture pas trop loin des habitants, mais sans mettre leur vie en danger (Figure 17). Cette technique est utilisée lorsqu'il faut livrer de la nourriture dans des endroits difficile d'accès. La précision du joueur est mise en avant durant la phase de largage. Les joueurs disposent de 5 secondes pour calculer la vitesse et la force du vent puis ils larguent un paquet le plus près des équipes au sol. Le compagnon virtuel intervient après chaque opération de largage pour juger la précision des joueurs en félicitant (Figure 17-A) ou reprochant (Figure 17-B) l'action faite. De mauvais largages (*erreurs*) peuvent causer des pertes de paquets dans certains cas et ralentir le travail des équipes au sol qui doivent aller chercher encore plus loin pour récupérer la nourriture et la redistribuer. Le score final obtenu dans cette mission reflète la gravité des erreurs commises.

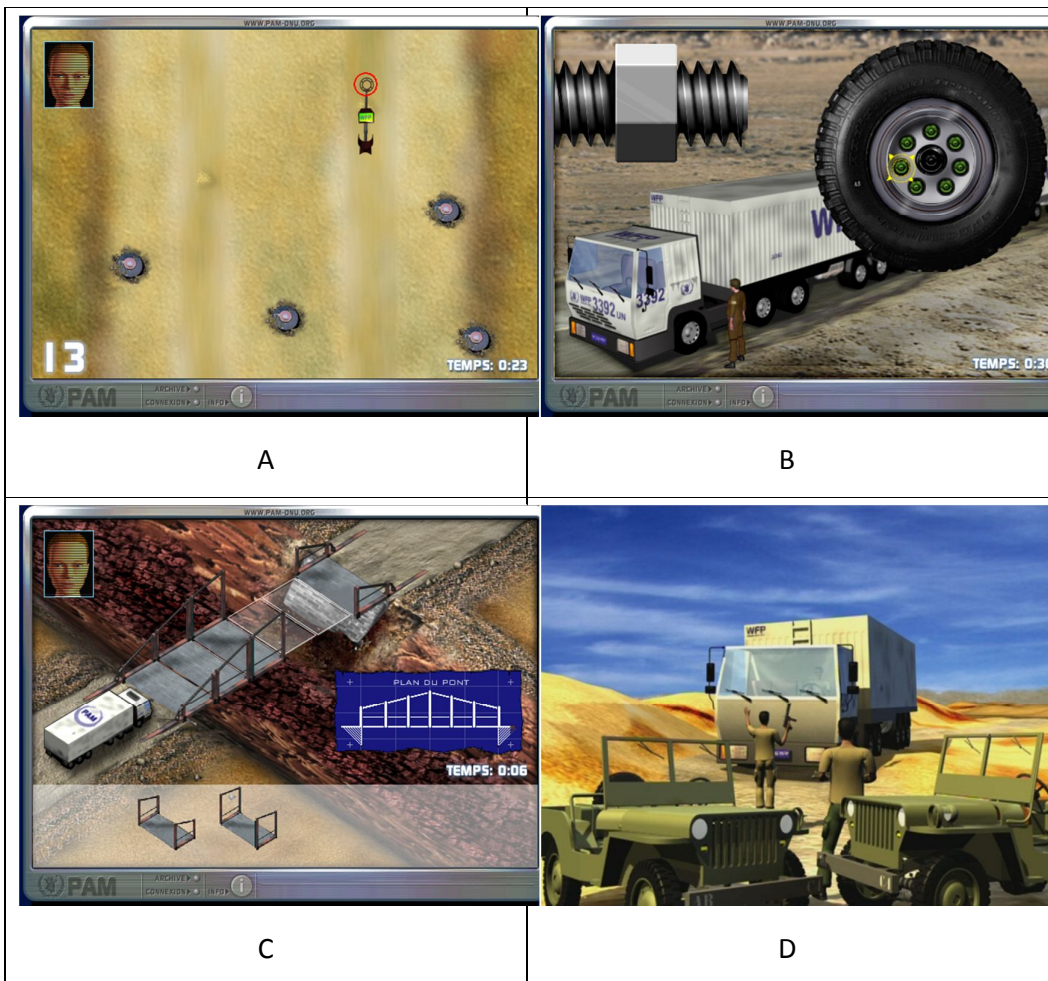


Figure 18 Différents obstacles rencontrés durant la mission 5

Dans la mission 5, les apprenants s'occupent de l'acheminement de l'aide alimentaire vers une destination finale. Ce sont les camions qui transportent habituellement l'aide alimentaire le long de routes accidentées menant aux victimes de la faim. Plusieurs *obstacles* sont à franchir. Le défi consiste alors à désamorcer des champs de mines (Figure 18-A), réparer les camions en cas de panne (Figure 18-B), reconstruire des ponts et rendre des routes plus praticables (Figure 18-C), ou encore négocier pacifiquement le droit de passage en cas de barrage par des forces rebelles (Figure 18-D). Les apprenants perdent un camion chaque fois que la tentative de surmonter un obstacle échoue. Ils doivent s'assurer que le convoi de camions du PAM arrive sans encombre au centre d'alimentation.

### 4.2.3 Stratégies motivationnelles dans Food-Force

Dans le cadre de cette étude, nous définissons une stratégie motivationnelle comme étant l'utilisation d'une sous-catégorie du modèle ARCS susceptible de fournir un soutien motivationnel pour les joueurs. Par exemple, un compagnon virtuel dans le jeu peut offrir un encouragement aux joueurs tout en les informant des performances attendues et des critères d'évaluation dans la tâche à accomplir. Ceci peut être considéré comme une stratégie motivationnelle associée à la sous-catégorie de confiance C1 (conditions d'apprentissages) du modèle ARCS. Elle vise à augmenter la croyance des apprenants en leur compétence et par conséquent améliorer leur performance. Encore, des éléments narratifs utilisant des introductions vidéo ou des scénarios permettent au joueur de se faire une idée précise sur les objectifs des missions à accomplir. Ils constituent une stratégie motivationnelle associée à sous-catégorie de pertinence P1 (orientation vers un but). Ils donnent le sentiment au joueur qu'il fait partie intégrante de la tâche connaissant les attentes et les besoins. Il est à noter que la qualité des animations, des graphiques et des sons dans les introductions vidéo et les scénarios présentés contribue également à la forte motivation des joueurs dans le jeu en question.

Les stratégies motivationnelles appliquées dans un environnement de jeux sérieux jouent un rôle crucial pour conduire le joueur à une forte motivation et le maintenir dans cet état durant la session d'apprentissage. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'identification et l'évaluation de quelques stratégies

motivationnelles soutenant et/ou intensifiant la motivation des apprenants dans le jeu sérieux Food-Force. Nous avons étudié en détails quelques stratégies motivationnelles dans Food-Force afin de répondre à la question de recherche portant sur la construction de modèles physiologiques empiriques pour évaluer les stratégies de motivation.

On a vu précédemment (dans le tableau 5) que plusieurs sous-catégories constituent des variables motivationnelles subsumées par les quatre catégories du modèle ARCS. Ces sous-catégories sont utiles dans le diagnostic de profils des apprenants et de leur motivation et dans l'identification des problèmes motivationnels afin de mettre en place des stratégies (tactiques) motivationnelles adaptées aux problèmes identifiés. Nous avons choisi six stratégies motivationnelles dans Food-Force liées aux sous-catégories du modèle ARCS. La figure 19 présente la hiérarchie des choix des stratégies motivationnelles choisies selon les catégories et sous-catégories du modèles ARCS de motivation.

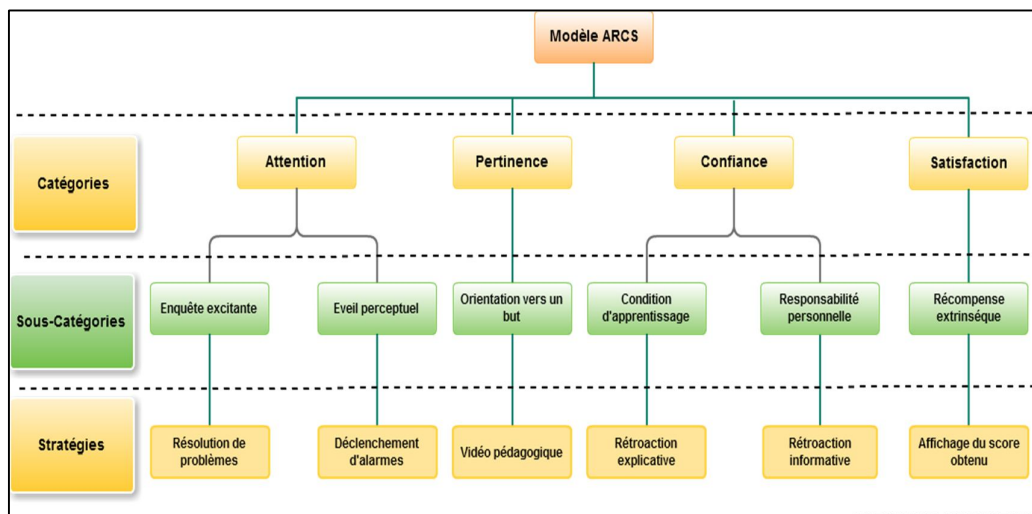


Figure 19 Différentes stratégies motivationnelles dans Food-Force

#### 4.2.3.1 Stratégies d'obtention de l'Attention

Résolution de problèmes. Le modèle ARCS de motivation nous indique que la motivation de l'apprenant peut être gagnée en lui demandant de résoudre des problèmes. Selon John Keller (Keller 2010), « un niveau plus profond de curiosité et d'attention peut être activé par la création d'une situation orientée problèmes ».

Dans le jeu Food-Force, la mission 2 (créer des rations énergétiques) demande à l'apprenant de résoudre un problème portant sur la construction d'un repas nutritif (voir Figure 20). Cette mission consiste à trouver la bonne combinaison de différents produits alimentaires (riz, haricots, huile végétale, sucre et sel iodé) pour créer un régime alimentaire nutritif et équilibré, le tout à un coût de 30 cents par personne et par repas. L'apprenant réussit la mission s'il trouve la bonne combinaison en moins de deux minutes. Elle constitue alors un bon exemple pour étudier la stratégie d'obtention de l'attention des apprenants dans Food-Force.



Figure 20 Stratégie de résolution de problèmes

*Déclenchement d'alarmes.* Ce sont les mêmes alarmes de la mission 5 (assurer un convoi) étudiées dans la section précédente. Elles sont interprétées dans cette partie comme une stratégie pour soutenir la motivation des apprenants et considérées dans la construction et l'analyse des modèles physiologiques empiriques de stratégie motivationnelles. Un exemple d'un déclenchement d'alarme est illustré à la figure 16.

#### 4.2.3.2 Stratégies de production de la Pertinence

*Vidéo pédagogique.* Cette stratégie s'appuie sur certains éléments du jeu pour montrer aux apprenants la pertinence du contenu. Elle utilise des exemples (vidéo, images, textes, etc.) qui se rapportent aux travaux demandés à l'apprenant. Dans le jeu Food-Force, des segments vidéo d'enseignement qui s'appuient sur la connaissance des joueurs ont été utilisés afin de leur montrer l'application concrète



de la mission présentée sur le terrain face au problème de la faim dans le monde. Après la terminaison d'une mission, un segment vidéo partant sur la mission jouée est présenté à l'apprenant. La figure 21 montre une capture d'écran de la vidéo pédagogique de la mission 3 (largage aérien).



Figure 21 Stratégie de vidéo pédagogique

#### 4.2.3.3 Stratégies de renforcement de la Confiance

*Rétroaction informative.* Il est important de renforcer la confiance des apprenants en leur offrant des rétroactions appropriées. Selon Alexander Hiam (Hiam 1999), une rétroaction informative – négative ou positive – décrit aux apprenants ce qu'ils sont en train de faire. Elle fonctionne beaucoup mieux qu'une rétroaction contrôlée qui leurs communique seulement ce qu'il faut faire. Un exemple de rétroactions informatives utilisées dans Food-Force est indiqué par les commentaires donnés par le compagnon virtuel dans la mission 3 (largage aérien) après chaque largage (par exemple, le commentaire « Un peu loin de la cible ! Essayez d'être plus précis et ajustez bien en fonction du vent »). Il y aussi quelques rétroactions informatives dans la mission 4 (approvisionnement) (par exemple, le commentaire « Ça n'arrivera pas immédiatement, mais cela pourrait être bon pour vous »). Ces deux exemples de rétroactions informatives indiquent les effets (avantages ou inconvénients) des actions entreprises par le joueur durant le jeu.

*Rétroaction explicative.* L'apprenant est ouvert à une brève explication pédagogique qui l'aidera à construire un bon modèle mental et/ou à corriger des idées fautives.

De façon générale, une rétroaction explicative aboutit à un apprentissage beaucoup mieux qu'une rétroaction correctrice qui traduit une intervention automatique de façon rétroactive en réponse à une erreur commise par l'apprenant (Moreno et Mayer 2005). Dans le jeu Food-Force, le compagnon virtuel dans la mission 2 (créer des rations énergétiques) intervient par des commentaires pour expliquer au joueur l'intérêt de l'élément nutritif choisi dans la combinaison pour qu'il ajuste son action si nécessaire (par exemple, le commentaire « Du sel : pas pour les frites; le sel iodé aide les gens à rester actifs, heureux et forts »). Avec les rétroactions explicatives de la mission 2, l'apprenant comprend non seulement le principe de construction d'une ration énergétique; mais aussi les types d'aliments principaux utilisés par le PAM pour les situations d'urgence.

#### 4.2.3.4 Stratégies de génération de la Satisfaction

*Affichage du score obtenu.* Des incitations sous forme de récompenses (souvent symboliques) sont satisfaisantes pour les apprenants qui les reçoivent, tout en stimulant et maintenant leur motivation. Cette stratégie visant à accroître la satisfaction des apprenants permet d'évaluer leurs travaux, les encourager à être fiers d'eux-mêmes en utilisant de récompenses extrinsèques. Après la terminaison d'une mission dans Food-Force, il y a un affichage de scores – courant et total – obtenus afin de montrer aux joueurs leur performance et leur évolution générale dans le jeu.



Figure 22 Stratégie d'affichage du score obtenu

## 4.3 Étude expérimentale

Dans ce chapitre, nous poursuivons l'analyse de la première étude expérimentale faite en juin 2009 avec les 29 participants (4 participants ont été exclus après l'analyse de données) qui ont joué le jeu sérieux Food-Force. La procédure de cette expérience et les détails techniques ont été montrés dans le chapitre précédent. Nous décrivons deux nouvelles mesures que nous avons utilisées dans l'analyse de données électro-physiologiques : le ratio d'attention Thêta/Bêta1 et l'indice PoT.

### 4.3.1 Ratio d'attention Thêta/Bêta1

Compte tenu de la définition donnée de la motivation comme étant un état à la fois psychologique, cognitif et émotionnel, nous avons décidé de combiner plusieurs outils de mesure (essentiellement des capteurs physiologiques non-invasifs) utilisés dans les études psychologiques, affectives et cognitives afin d'évaluer empiriquement les situations et les stratégies motivationnelles précédemment présentées dans le jeu Food-Force. En plus de mesures de la conductivité de la peau CP et du rythme cardiaque RC qui sont généralement utilisés pour étudier les états affectifs des apprenants (Lin, et al. 2007), nous avons jugé pertinent d'utiliser les mesures EEG dans notre approche empirique. En effet, les bandes de fréquences cérébrales sont connues depuis longtemps par leurs capacités de donner des informations précieuses sur le processus cognitif humain et l'état mental (Wilson et Fisher 1995).

Plus précisément, notre analyse des bandes de fréquences EEG repose sur les différences entre les rythmes des bandes de fréquences lentes et rapides qui sont en corrélation - positive ou négative - avec les réponses aux stimuli motivationnels et émotionnels (Putman, et al. 2010; Schutter et Van Honk 2005). Par exemple, un faible niveau d'attention est caractérisé par « [...] une déviation par rapport à la ligne de base de l'activité corticale, en particulier une augmentation du rythme de la bande de fréquences lentes, i.e. la bande Thêta (4-8 Hz), et une diminution du rythme de la bande de fréquences rapides, i.e. la bande Bêta1 (12-20 Hz) » (Lansbergen, et al. 2011). On parle alors d'un ratio Thêta/Bêta1 (ou ratio EEG



d'attention). L'intérêt du ratio EEG d'attention a été expliqué par Peter Putman et ses collègues (Putman, et al. 2010). Selon ces auteurs, une corrélation négative entre le ratio Thêta/Bêta1 et le niveau d'attention des apprenants : un faible Thêta/Bêta1 reflète un état normal chez les adultes tandis qu'une valeur élevée de ce ratio est tributaire d'un rythme excessif de la bande Thêta et par conséquent un état d'inattention peut caractériser l'apprenant.

Comme nous l'avons décrit dans le chapitre précédent, la segmentation des données électro-physiologiques CP, RC et EEG a été faite selon des époques d'une seconde. Les densités spectrales de puissance (PSD) EEG ont été calculées pour chaque époque en utilisant la transformation de Fourier rapide. Les PSD ont été moyennées et les bandes Thêta (4-8 Hz) et Bêta1 (12-20 Hz) ont été extraites pour calculer les ratios d'attention Thêta/Bêta1 durant chaque époque et pour chaque site EEG (F3, C3 et Pz).

### **4.3.2 Différents indices PoT**

Nous avons défini un indice représentatif de l'évolution physiologique des joueurs tout au long du jeu sérieux Food-Force et durant chaque mission jouée. Cet indice, appelé pourcentage de temps (en anglais *Percent of Time PoT*), représente la quantité de temps, en pourcentage, dans laquelle l'amplitude du signal traité du joueur est inférieure (ou supérieure) à un seuil donné sur une durée donnée de temps. Cet indice PoT est une mesure permettant de résumer l'évolution de la totalité du signal électro-physiologique pour une période donnée du jeu.

Une méthode simple serait de choisir la moyenne des amplitudes du signal traité de tous les joueurs comme un seuil donné. Ainsi, pour les deux capteurs physiologiques BVP et GSR, les indices PoT du RC et de la CP pour chaque joueur ont été calculés en utilisant les valeurs supérieures aux seuils Moyenne RC et Moyenne CP donnés. Pour chacun des sites EEG, l'indice PoT a été calculé en utilisant les valeurs du ratio d'attention inférieures à la Moyenne Thêta/Bêta1 du site EEG en question. Ceci reflète les quantités de temps où il y avait des évolutions positives au niveau des mesures RC, CP et EEG.

La figure 23 illustre l'évolution du ratio d'attention EEG (au site F3) pour l'apprenant numéro 6 durant une période de 20 secondes du jeu. L'indice PoT sélectionné pour une fenêtre de 5 secondes était de 80% (4 valeurs au-dessous de la Moyenne EEG divisées par 5 valeurs) et 75% pour la fenêtre entière de 20 secondes (15 valeurs au-dessous de la Moyenne EEG divisées par 20 valeurs). Pour les indices PoT de la CP et du RC, nous avons choisi les valeurs au-dessus de la moyenne.

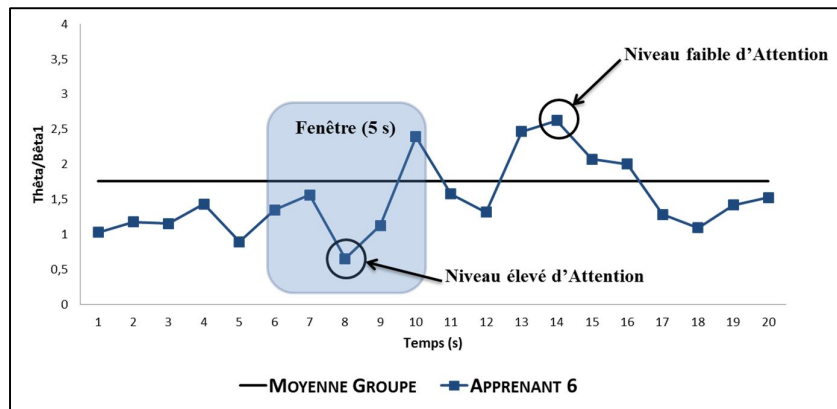


Figure 23 Indice PoT du ratio EEG d'attention

L'idée est d'analyser les indices PoT de différentes mesures RC, CP et EEG pour déterminer (ou estimer) les relations entre les catégories et stratégies motivationnelles définies dans le jeu Food-Force et les réponses physiologiques des apprenants. Différents modèles ont été construits en utilisant les données recueillies afin de classer les apprenants en deux groupes distincts: « Groupe faible » et « Groupe fort ». En fait, les participants ont été séparés en deux groupes en fonction de leurs scores du questionnaire de motivation après chaque mission du jeu: ceux avec des scores inférieurs à la moyenne générale (« Groupe faible ») et ceux avec des scores supérieurs à la moyenne générale (« Groupe fort »). Par exemple, dans l'analyse de stratégies motivationnelles, l'évaluation d'une stratégie d'obtention d'Attention (résolution de problèmes ou déclenchement d'alarmes) examine les scores de la catégorie A obtenus avec le questionnaire de motivation pour déterminer les deux groupes fort et faible et compare ensuite les réactions physiologiques des apprenants des deux groupes. La même procédure a été appliquée pour toutes les autres stratégies. Par conséquent, les membres de chaque

groupe sont différents en passant d'une stratégie à une autre. Une description détaillée de toutes ces possibilités ainsi que les résultats obtenus est donnée dans la section suivante. De nouveau, nous avons utilisé le logiciel SPSS (version 20) dans l'analyse de données.

## 4.4 Résultats obtenus

### 4.4.1 Sous-catégorie A2 attentionnelle

Un exemple d'une alarme sonore et lumineuse déclenchée dans la mission 5 (assurer un convoi) est illustré dans la figure 16. Comme mentionné précédemment, nous avons examiné les scores d'Attention dans cette mission pour séparer les participants en deux groupes: « Groupe faible » (4 femmes et 7 hommes) représentant les participants qui ont obtenu des scores inférieurs à la moyenne générale des scores d'Attention et « Groupe fort » (5 femmes et 13 hommes) constitué du reste des participants. Il y a exactement 3 alarmes qui se déclenchent dans la mission 5 si un danger menace le convoi des camions du PAM. Nous présentons dans cette partie les résultats que nous avons obtenus dans (Derbali, et al. 2011b). Pour suivre les évolutions physiologiques (PoT-RC, PoT-CP, PoT-F3, PoT-C3 et PoT-Pz) de chaque joueur, nous avons considéré deux fenêtres de 5 secondes calculées avant et après chaque alarme et nous avons calculé leurs moyennes, soient  $Moyenne_{avant}$  et  $Moyenne_{après}$ . Quinze (3 alarmes X 5 indices PoT) tests de Wilcoxon pour 2 échantillons appariés ont été exécutés entre les moyennes avant et après. Des résultats significatifs ont été obtenus dans tous les tests faits. Ils indiquent qu'un changement physiologique au niveau des réactions des apprenants suit le déclenchement d'alarmes sonores et lumineuses et caractérise les apprenants durant cette situation motivationnelle.

#### 4.4.1.1 Suivi électro-physiologique

Les tendances physiologiques des apprenants pendant les 3 alarmes sont présentées dans la figure 24. Chaque point sur le graphique représente la différence entre les deux moyennes pour chaque alarme ( $Moyenne_{après} - Moyenne_{avant}$ ). Les courbes sont des tendances polynomiales d'ordre 2 qui représentent les fluctuations de données en passant par les différentes alarmes.

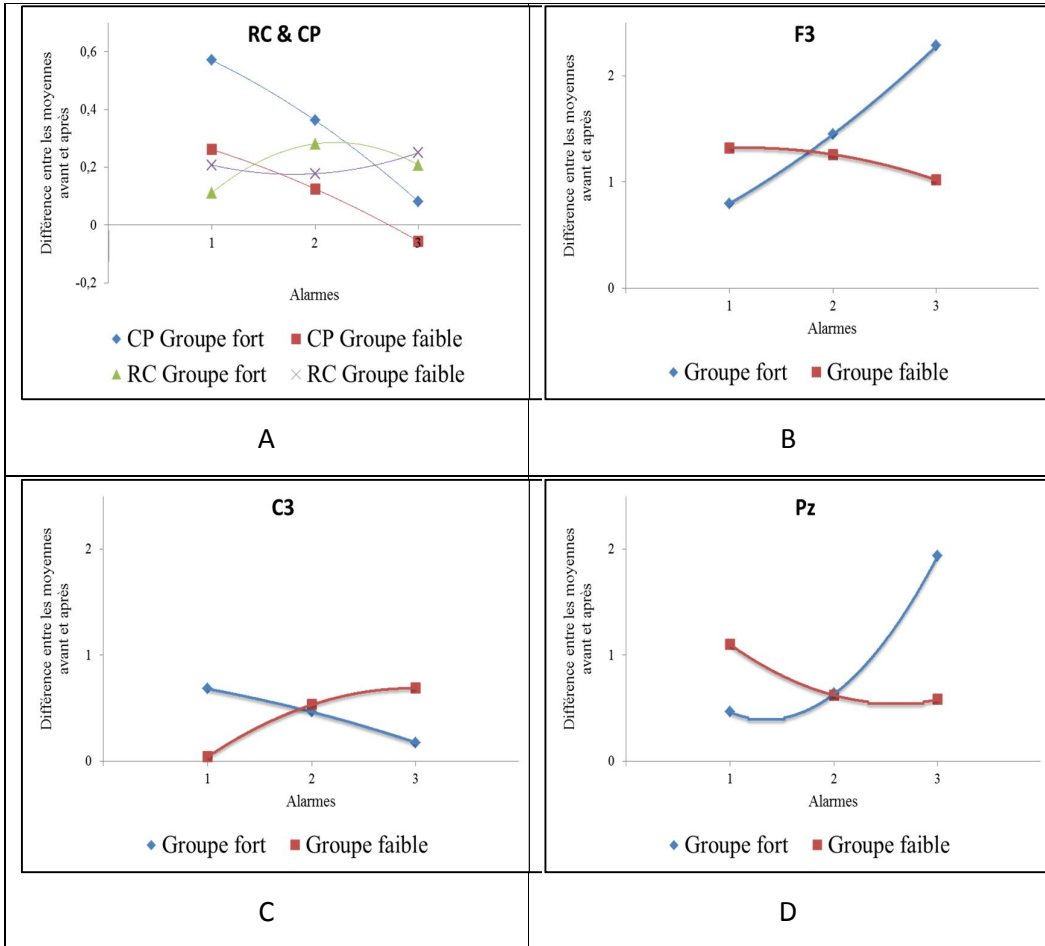


Figure 24 Tendances physiologiques entre les 3 alarmes

La figure 24 montre presque des tendances complètement opposées pour toutes les données physiologiques, à l'exception de la CP, entre le «Groupe faible» et le «Groupe fort ». Dans la figure 24-A, nous constatons qu'une tendance dans le RC relativement opposée caractérise les deux groupes étudiés; alors que l'effet de déclenchement d'alarmes diminue continuellement entre les alarmes en suivant la tendance de la CP de deux groupes. En fait, on peut penser qu'une intervention par des effets lumineux et sonores affecte la réaction électrodermale de la peau et capte l'attention des apprenants; mais nos résultats semblent indiquer que ce n'est que partiellement vrai. Il semble y avoir une certaine adaptation après la première alarme de la part des apprenants à l'égard des déclenchements d'alarmes.

Les différences de données cérébrales dans les figures 24-B, 24-C et 24-D montrent des tendances clairement opposées entre les deux groupes d'apprenants et

constituent alors des indices pertinents pour discriminer entre ces deux groupes. Par conséquent, un diagnostic en ce qui concerne la différence des moyennes  $Moyenne_{avant}$  et  $Moyenne_{après}$  en fonction des alarmes, basé uniquement sur la CP et même le RC peut être hâtif, voire erroné car il y a de nombreuses autres tendances cérébrales plus claires à considérer en premier.

Nous avons trouvé, dans plusieurs cas, des participants appartenant à deux groupes différents et montrant, d'un côté, les mêmes tendances physiologiques au niveau des mesures CP et RC et, d'un autre côté, des tendances cérébrales différentes. Un exemple de cette situation est illustré dans la figure 25 : l'apprenant 13 (« Groupe fort ») et l'apprenant 22 (« Groupe faible ») ont eu des tendances semblables au niveau du RC et de la CP, mais une tendance clairement opposée au niveau de la différence entre les indices PoT du ratio d'attention en C3. Les mesures EEG consolident le processus de distinction entre les apprenants attentifs et inattentifs. Ces résultats montrent de nouveau la pertinence et l'importance d'ajouter les mesures EEG dans l'évaluation des réactions électro-physiologiques des apprenants, d'autant plus quand ces réactions ne sont pas facilement repérées par l'utilisation seule des capteurs physiologiques cutanés GSR et BVP. Aussi, les résultats obtenus confirment les autres travaux portant sur le ratio d'attention EEG et montrent que ce ratio constitue un indice objectif inversement corrélé avec le niveau d'attention des apprenants.

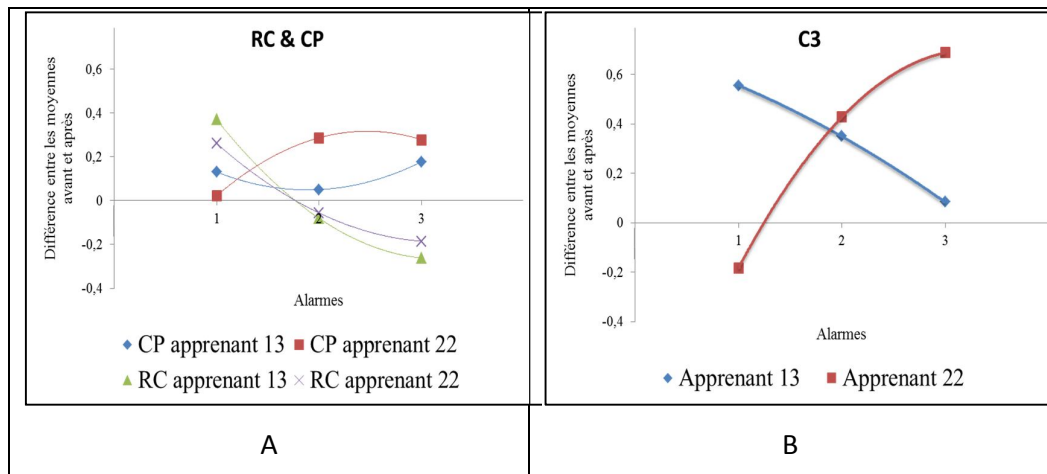


Figure 25 Tendances physiologiques de deux apprenants de groupes différents

#### 4.4.1.2 Classification automatique

Afin de valider nos constatations faites avec le suivi électro-physiologique et d'automatiser la distinction entre les deux groupes de participants définis précédemment, nous avons utilisé des méthodes de classification automatique. La classification automatique joue un rôle important en détermination des classes de la motivation de joueurs présentant des patrons électro-physiologiques similaires. Dans notre contexte, nous avons choisi de construire plusieurs classifieurs utilisant toutes les données électro-physiologiques présentées dans cette section : les différents indices PoT des mesures RC, CP et EEG ainsi que le score d'attention du questionnaire IMMS de motivation à la mission 5. La classe cible est une valeur binaire (0 pour la classe « Faible » et 1 pour la classe « Forte ») déterminée à partir du score d'attention et suit le même principe que nous avons utilisé pour définir les deux groupes précédemment. Nous avons 87 échantillons (29 participants X 3 alarmes). Pour pallier au problème de données déséquilibrées (un ensemble de données est déséquilibré si les catégories de classification ne sont pas à peu près également représentées), nous avons utilisé une méthode de sur-échantillonnage qui équilibre les échantillons de deux classes en augmentant le nombre d'échantillons de la classe minoritaire. Nous avons entraîné plusieurs classifieurs sur 67% du jeu de données et nous les avons validées sur les données restantes. Les trois meilleurs pourcentages de classification obtenus dans la phase de validation sont présentés dans le tableau 6. Ils ont été obtenus en utilisant les trois classifieurs suivants : un réseau de neurones avec une couche cachée contenant 5 neurones, un réseau bayésien naïf et une régression logistique.

Classifieur	Pourcentage de classification		
	Classe « Forte »	Classe « Faible »	Général
Réseau de neurones	63.6 %	88.9 %	73.8 %
Réseau Bayésien naïf	47.1 %	87.5 %	66.7 %
Régression logistique	42.9 %	93.8 %	64.9 %

Tableau 6 Trois meilleurs classifieurs de la sous-catégorie A2

Les résultats du tableau 6 montrent que les trois classifieurs ont réussi à classifier notamment la classe « Faible » avec beaucoup de précision. Le meilleur

pourcentage de classification générale (73.8%) a été obtenu en utilisant le réseau de neurones. On peut alors affirmer (1) que les mesures électro-physiologiques faites caractérisent bien les réactions des apprenants dans la dimension d'attention A2 (éveil perceptuel) dans un environnement de jeux sérieux et (2) qu'il est possible d'identifier, avec une précision élevée, des apprenants inattentifs envers un exemple de cette dimension qui est le déclenchement d'alarmes sonores et lumineuses dans la mission 5 de Food-Force.

#### 4.4.2 Sous-catégorie A3 attentionnelle

Cette section met l'accent sur l'évaluation de l'attention des apprenants dans une situation pertinente à l'apprentissage, i.e. surmonter des *erreurs* et des *obstacles* (Derbali, et al. 2011a). De nouveau, nous avons analysé les données électro-physiologiques ainsi que les scores de la catégorie A du questionnaire de motivation dans la mission 3 (surmonter des *erreurs*) et la mission 5 (surmonter des *obstacles*). Des tests de corrélation de rang de Spearman ont été faits entre des données électro-physiologiques et les scores d'attention reportés par les apprenants à la fin de ces deux missions. La première série de résultats dans la mission 3 montrent une corrélation de Spearman significative entre l'attention et trois capteurs physiologiques CP, C3 et F3 (*PoT-CP*:  $r$  de Spearman=0.536,  $n=29$ ,  $p<0.01$ ; *PoT-C3*:  $r$  de Spearman=0.532,  $n=29$ ,  $p<0.01$ ; *PoT-F3*:  $r$  de Spearman=0.34,  $n=29$ ,  $p<0.001$ ). Une deuxième série de résultats similaires a été trouvée dans la mission 5 au niveau de mêmes capteurs, à l'exception de F3 (*PoT-C3*:  $r$  de Spearman=0.62,  $n=29$ ,  $p<0.01$ ; *PoT-CP*:  $r$  de Spearman=0.503,  $n=29$ ,  $p<0.01$ ). Les résultats obtenus (1) valident l'hypothèse que l'attention des apprenants lorsqu'ils surmontent des obstacles et des erreurs dans un jeu sérieux peut être surveillé de manière physiologique et (2) montrent que les indices PoT de la conductivité de la peau et des sites F3 et C3 sont significativement corrélés avec les niveaux d'attention des apprenants durant cette sous-catégorie A3 motivationnelle fréquemment rencontrée dans les jeux vidéo.

Afin de construire des modèles de prédiction fiable des niveaux d'attention des apprenants, nous avons construit deux régressions linéaires multiples pour prédire l'attention des apprenants lorsqu'ils surmontent des *erreurs* et des *obstacles*

dans les missions 3 et 5, respectivement. Nos modèles de prédiction ont utilisé tous les indices PoT-CP, PoT-RC, PoT-F3, PoT-C3 et PoT-Pz (variables explicatives) et le score de la catégorie A de la mission en question (variable dépendante) avec une méthode pas à pas (*stepwise*) de sélection des variables. Le tableau 7 présente les résultats obtenus de deux modèles régressifs construits et montre que les indices PoT de la CP et de ratios d'attention dans quelques sites EEG sont des prédicteurs significatifs du niveau d'attention dans les deux situations étudiées.

Modèle régressif	F	Sig.	R <sup>2</sup> ajusté	Prédicteurs Significatifs
<i>Mission 3</i>	F <sub>2,26</sub> =18.304	0.000 (*)	0.553	PoT-F3: Beta=0.560 p=0.000
				PoT-CP: Beta=.437 p=0.002
<i>Mission 5</i>	F <sub>1,27</sub> =28.409	0.000 (*)	0.495	PoT-C3: Beta=0.716 p=0.000

(\*) Niveau de significativité à 0.05

Tableau 7 Modèles régressifs de la sous-catégorie A3

De plus, les modèles régressifs sont sensibles à la nature de la mission en question ainsi que la fenêtre d'évaluation. En effet, les missions 3 et 5 impliquent des compétences différentes de la part du même apprenant, ce qui s'est manifesté par des changements dans deux régions EEG différentes F3 et C3. Durant la mission 3, tout en essayant d'éviter, autant que possible, les erreurs et les fautes, les apprenants avaient tendance à s'appuyer essentiellement sur le cortex frontal (F3) car il est connu pour être fortement impliqué dans la prise de décisions rapides sous pression (Demos 2005). Durant la mission 5, tout en essayant de surmonter les obstacles, une approche plus généralisée de résolution de problèmes est utilisée et donc la région centrale gauche du cerveau (C3) semble être le plus sollicité. Un exemple de deux comportements est illustré dans la figure 26 pour deux fenêtres différentes d'évaluation : le début et la fin de la mission.



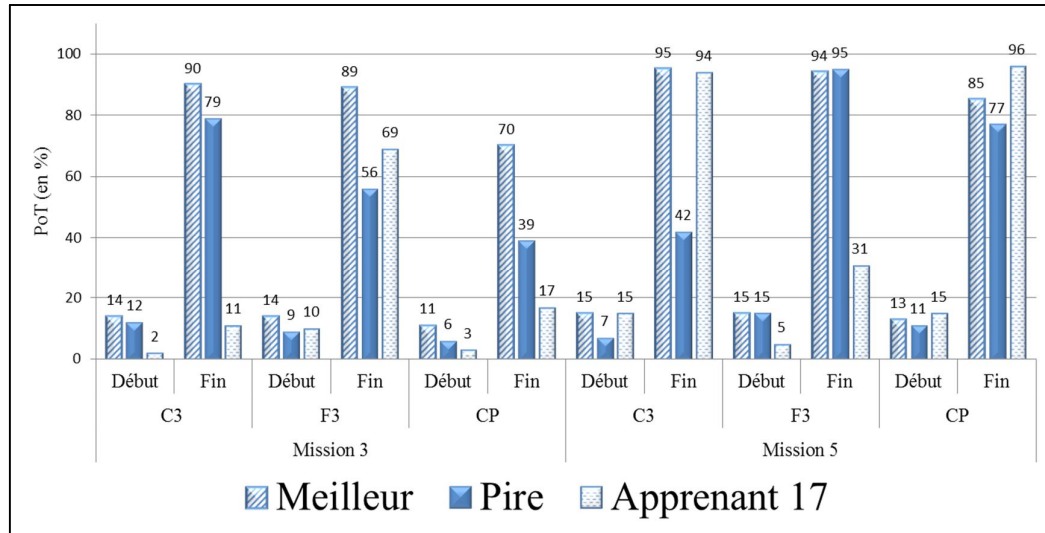


Figure 26 Comportements physiologiques dans les missions 3 et 5 de Food-Force

La figure 26 présente les évolutions des indices PoT de trois prédicteurs significatifs trouvés dans les modèles précédents pour 3 apprenants (Meilleur, Pire et Apprenant 17) à deux périodes distinctes: le début et la fin de la mission en question. Les rectangles remplis en diagonales représentent l'apprenant Meilleur dont le score d'attention est le plus élevé pour les deux missions 3 et 5. Par contre, les rectangles pleins représentent l'apprenant Pire dont le score d'attention est le plus faible pour les mêmes missions. L'apprenant 17 (les rectangles remplis en tirets horizontaux) avait montré un niveau d'attention faible, proche de l'apprenant Pire, dans la mission 3, mais un niveau d'attention élevé, proche de l'apprenant Meilleur, dans la mission 5. On peut constater que les prédicteurs trouvés dans le modèle régressif de la mission 3 (Pot-F3 et Pot-CP) permettent de distinguer clairement entre les apprenants Meilleur et Pire. Aussi l'apprenant 17 qui avait montré un niveau d'attention faible à cette mission présente des indices PoT-F3 et PoT-CP faibles comme l'apprenant Pire. Pour les indices PoT de la mission 5, la considération de l'unique prédicteur significatif du modèle régressif PoT-C3 permet de distinguer le niveau d'attention des trois apprenants étudiés. En fait, nous pouvons clairement voir que les PoT-C3 de début et de fin de l'apprenant 17 sont presque égaux à ceux de l'apprenant Meilleur. Ceci confirme notre constatation pour la région C3, tout en sachant que l'apprenant 17, comme l'apprenant Meilleur, avait aussi un score d'attention très élevé dans la mission 5.

### 4.4.3 Stratégies motivationnelles

Les stratégies motivationnelles et leurs impacts sur la motivation des apprenants pendant le jeu sérieux Food-Force ont été aussi étudiés dans la présente thèse (Derbali et Frasson 2011; Derbali et Frasson 2012a). D'une façon générale, identifier et évaluer intelligemment les effets que ces stratégies peuvent avoir sur les apprenants sont deux étapes particulièrement pertinentes dans notre étude de la motivation. Elles permettent d'avoir des actions et des moyens efficaces lorsqu'on veut maintenir ou soutenir la motivation des apprenants dans un système d'apprentissage à base de jeux. Nous avons proposé l'utilisation de capteurs électro-physiologiques ainsi que le modèle ARCS de motivation pour évaluer six stratégies motivationnelles précédemment identifiées dans le jeu sérieux Food-Force.

Les participants ont été divisés en deux classes en fonction de leurs scores A, R, C et S après chaque mission: ceux qui ont des scores inférieurs à la moyenne générale de la catégorie en question appartiennent à la classe « Faible », les autres forment la classe « Forte ». Ainsi, les membres de chaque classe sont différents d'une catégorie à une autre. Nous avons effectué plusieurs régressions logistiques permettant de prédire la classe à laquelle l'apprenant appartient («Forte» ou «Faible») pour chacune des stratégies étudiées. La variable dépendante dans la régression logistique est généralement dichotomique, ainsi la classe «Forte» est codée par la valeur 1, alors que la classe « Faible » est codée par 0. En outre, la régression logistique ne fait aucune hypothèse sur la distribution des variables indépendantes. Ces variables ne doivent pas forcément suivre une distribution normale et avoir une relation linéaire entre elles ou une variance égale au sein de chaque classe. Les différents modèles régressifs ont utilisé tous les indices PoT-CP, PoT-RC, PoT-F3, PoT-C3 et PoT-Pz (variables explicatives) et la méthode Entrée de sélection de variables. Dans la méthode Entrée, toutes les variables explicatives sont entrées en même temps dans l'analyse et la signification statistique de la contribution de chaque variable explicative est estimée dans le modèle.

Le tableau 8 présente les résultats de l'ajout de cinq prédicteurs (degré de liberté ddl=5) pour les modèles régressifs.

Stratégie	Khi-deux	ddl	Sig.	R <sup>2</sup> de Nagelkerke
Résolution de problèmes	15.893	5	0.007(*)	0.574
Déclenchement d'alarmes	18.706	5	0.002(*)	0.647
Vidéo pédagogiques	7.563	5	0.182	0.312
Rétroaction informative	15.468	5	0.009(*)	0.563
Rétroaction explicative	12.103	5	0.033(*)	0.464
Affichage du score obtenu	11.974	5	0.035(*)	0.460

(\*) Niveau de significativité à 0.05

Tableau 8 Régressions logistiques: tests Omnibus

Les résultats obtenus ont montré que l'ajout de variables explicatives au modèle a considérablement augmenté la capacité de ce modèle de distinguer entre les deux classes «Fort» et «Faible» pour toutes les stratégies motivationnelles étudiées, à l'exception de la stratégie Vidéo pédagogiques (voir les colonnes Khi-deux et Sig. dans le tableau 8). En outre, les valeurs de R<sup>2</sup> de Nagelkerke ont varié de 46% à 65%, ce qui montre une relation modérément élevée entre les prédicteurs et la variable dépendante. Les résultats des tests Omnibus indiquent qu'au moins une variable explicative exerce une influence sur la distinction entre les deux classes d'apprenants.

Il est aussi possible de tester la significativité des variables explicatives. La statistique de Wald est alors utilisée et l'hypothèse de la nullité du coefficient d'une variable explicative dans le modèle régressif est rejetée lorsque la statistique de Wald dépasse un seuil de 4 pour un niveau de significativité à 0.05. Les résultats obtenus dans le tableau 9 montrent que l'indice PoT-C3 avait une contribution significative dans la prédiction de la classe cible. Les autres variables explicatives n'étaient pas assez significatives.

Résolution de problèmes	A	E.S.	Wald	ddl	Sig.	Exp(B)
PoT-RC	-0.072	1.246	0.003	1	0.954	0.931
PoT-CP	0.733	0.958	0.586	1	0.444	2.082
PoT-F3	0.271	0.681	0.159	1	0.691	1.312
PoT-C3	-3.473	1.580	4.829	1	0.028(*)	0.031
PoT-Pz	-0.039	1.075	0.001	1	0.971	0.961
Constante	3.995	2.359	2.867	1	0.090	54.335

Déclenchement d'alarmes	A	E.S.	Wald	ddl	Sig.	Exp(B)
PoT-RC	-1.733	1.210	2.053	1	0.152	0.177
PoT-CP	1.990	1.459	1.861	1	0.173	7.314
PoT-F3	0.785	0.802	0.960	1	0.327	2.193
PoT-C3	-4.462	1.890	5.576	1	0.018(*)	0.012
PoT-Pz	0.282	1.263	0.050	1	0.823	1.326
Constante	4.733	2.430	3.795	1	0.051	113.643

Vidéo pédagogiques	A	E.S.	Wald	ddl	Sig.	Exp(B)
PoT-RC	-0.618	0.684	0.815	1	0.367	0.539
PoT-CP	0.879	0.729	1.455	1	0.228	2.408
PoT-F3	0.462	0.471	0.960	1	0.327	1.587
PoT-C3	-0.914	0.565	2.620	1	0.106	0.401
PoT-Pz	-0.378	0.790	0.229	1	0.633	0.685
Constante	1.150	1.283	0.804	1	0.370	3.160

Rétroaction explicative	A	E.S.	Wald	ddl	Sig.	Exp(B)
PoT-RC	-0.828	0.919	0.812	1	0.368	0.437
PoT-CP	1.523	1.134	1.804	1	0.179	4.588
PoT-F3	-0.102	0.637	0.026	1	0.873	0.903
PoT-C3	-1.969	1.180	2.784	1	0.095	0.140
PoT-Pz	-0.717	1.099	0.426	1	0.514	0.488
Constante	3.237	1.749	3.426	1	0.064	25.452

Rétroaction informative	A	E.S.	Wald	ddl	Sig.	Exp(B)
PoT-RC	0.950	0.789	1.450	1	0.229	2.585
PoT-CP	1.795	0.997	3.241	1	0.072	6.018
PoT-F3	-1.872	0.938	3.978	1	0.046	0.154
PoT-C3	2.084	0.868	5.759	1	0.016(*)	8.033
PoT-Pz	-0.316	0.605	0.272	1	0.602	0.729
Constante	-1.848	1.354	1.864	1	0.172	0.158

Affichage du score	A	E.S.	Wald	ddl	Sig.	Exp(B)
PoT-RC	0.806	0.953	0.716	1	0.398	2.239
PoT-CP	0.478	1.001	0.227	1	0.633	1.612
PoT-F3	-0.068	0.526	0.017	1	0.897	0.934
PoT-C3	-1.149	0.534	4.635	1	0.031(*)	0.317
PoT-Pz	-1.221	0.784	2.424	1	0.119	0.295
Constante	2.074	1.457	2.027	1	0.155	7.957

(\*) Niveau de significativité à 0.05

Tableau 9 Régressions logistiques: tableaux des variables dans l'équation

Le tableau 10 montre les taux de classification pour juger enfin de la capacité prédictive des différents modèles de régression logistique. Dans ce tableau de classification, les colonnes sont les valeurs prédites de la variable dépendante, tandis que les lignes sont les valeurs observées de la variable dépendante. Les pourcentages généraux de classification correcte varient entre 65.5% et 79.3%, ce qui montre des taux élevés de bonnes classifications avec les six modèles régressifs établis. Les résultats obtenus ouvrent des perspectives encourageantes dans le cadre de la présente thèse pour la validation d'autres situations et stratégies motivationnelles dans un jeu sérieux que nous avons implémenté et que nous décrivons dans les chapitres suivants.

<b>Résolution de problèmes</b>			
Observé	Prévu		
	Faible	Forte	Pourcentage correct
Faible	7	4	63.6
Forte	2	16	88.8
Pourcentage général			79.3
<b>Déclenchement d'alarmes</b>			
Observé	Prévu		
	Faible	Forte	Pourcentage correct
Faible	8	3	72.7
Forte	4	14	77.7
Pourcentage général			75.8
<b>Vidéo pédagogiques</b>			
Observé	Prévu		
	Faible	Forte	Pourcentage correct
Faible	10	6	62.5
Forte	4	9	69.2
Pourcentage général			65.5

<b>Rétroaction explicative</b>			
Observé	Prévu		
	Faible	Forte	Pourcentage correct
Faible	8	2	80
Forte	4	15	78.9
Pourcentage général			79.3
<b>Rétroaction informative</b>			
Observé	Prévu		
	Faible	Forte	Pourcentage correct
Faible	7	3	70
Forte	4	15	78.9
Pourcentage général			75.8
<b>Affichage du score obtenu</b>			
Observé	Prévu		
	Faible	Forte	Pourcentage correct
Faible	6	2	75
Forte	4	17	80.9
Pourcentage général			79.3

Tableau 10 Régressions logistiques: tableaux de classification

## **4.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'étude des catégories et des stratégies motivationnelles dans le jeu sérieux Food-Force. Nous avons commenté les principaux résultats obtenus à partir de cette étude. Ces résultats nous ont permis d'approfondir un peu plus l'analyse de la motivation des apprenants ainsi que l'intérêt du modèle ARCS de motivation choisi dans la compréhension de différents facteurs motivationnels. Nous avons également été en mesure de confirmer que ce sont bel et bien les mesures physiologiques qui caractérisent de façon significative les niveaux de motivation des apprenants dans un environnement d'apprentissage à base de jeux. Dans ce cadre, l'EEG constitue un moyen de mesure objectif et riche, mais complexe dans l'analyse et l'interprétation de ses données collectées.

Le dernier objectif visé par la thèse est de mettre en place notre jeu sérieux pour intégrer les résultats obtenus et valider d'autres hypothèses de recherche. Dans les chapitres suivants, nous présenterons un prototype fonctionnel d'un jeu sérieux, appelé HeapMotiv qui nous a permis de conduire une nouvelle expérience. Nous nous proposerons d'étudier l'incorporation de quelques éléments motivationnels dans ce prototype ainsi que de nouvelles stratégies motivationnelles adaptées pour que l'apprenant atteigne des hauts niveaux de motivation, de persévérance et de performance.

# **Chapitre 5 : HeapMotiv, un environnement d'apprentissage immersif à base de jeux**

## **5.1 Introduction**

Tout au long de cette thèse, nous nous sommes intéressés à évaluer la motivation ainsi que différentes situations et stratégies motivationnelles en se basant sur des mesures expérimentales et biométriques. Il était important pour nous dans la validation de nos premières hypothèses de recherche d'avoir recours au jeu sérieux Food-Force qui est un jeu fonctionnel et largement joué par plusieurs personnes. Cependant, la validation du reste des hypothèses de recherche dans cette thèse nécessite l'implémentation d'un système tel que nous puissions gérer son code source et paramétrer ses éléments selon nos objectifs.

Dans ce chapitre, nous décrivons l'environnement d'apprentissage immersif que nous avons construit à base de jeux, appelé HeapMotiv. Cet environnement constitue notre jeu sérieux avec lequel nous validerons, dans un premier temps, son bon fonctionnement et nos précédentes constatations et nous implémenterons et administrerons, dans un deuxième temps, des nouvelles situations et stratégies motivationnelles. Nous commençons par introduire quelques aspects motivationnels de l'environnement construit et présenter ensuite la phase de sa réalisation. Une description d'une deuxième version de ce jeu sérieux, appelé HeapMotivV2, sera aussi détaillée à la fin de ce chapitre pour montrer les différentes stratégies motivationnelles implémentées.

## **5.2 Quelques aspects motivationnels**

En revenant à l'architecture de base d'un STI, les champs d'intervention de cette thèse seront principalement les modules de l'apprenant et du tuteur tout en utilisant l'interface pour communiquer avec l'apprenant humain. Nous faisons en sorte d'intégrer des nouvelles composantes dans ces modules afin de les enrichir. L'architecture enrichie est illustrée sur la figure 27.

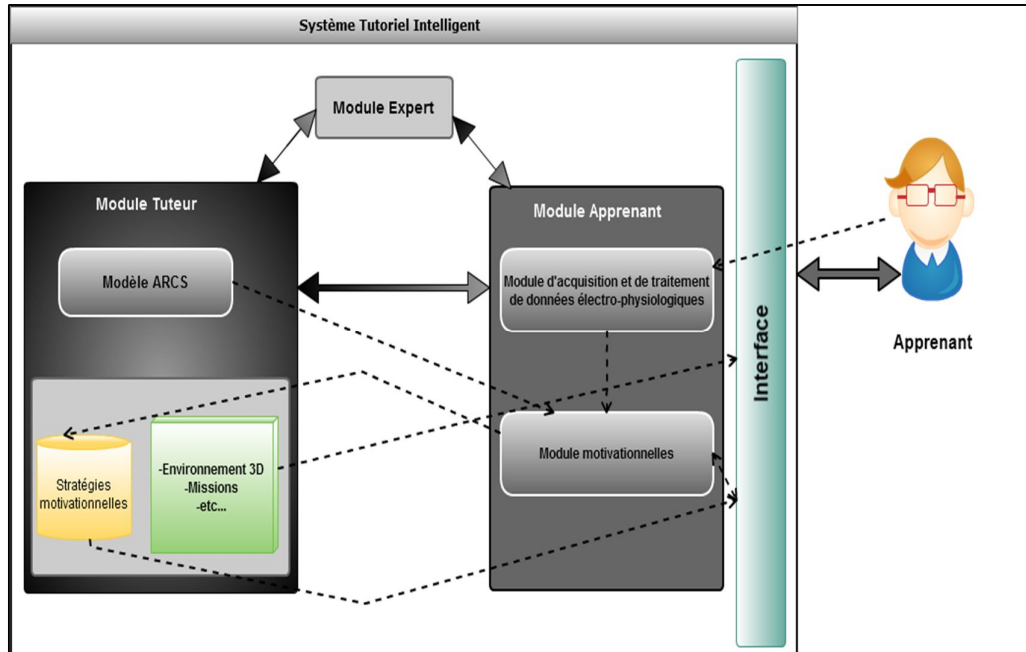


Figure 27 Architecture d'un STI enrichi avec un module motivationnel

Le recours à un modèle de motivation nous paraît important pour garantir une approche systématique favorisant une séquence logique du développement d'un diagnostic motivationnel. L'utilisation du *modèle ARCS* nous a permis d'obtenir des résultats significatifs dans notre précédente étude de la motivation des apprenants avec le jeu sérieux Food-Force. Les critères suivants, classés par ordre d'importance, sont alors à la base de notre choix du modèle ARCS dans cette étape de conception de notre système :

1. Ce modèle permet avec beaucoup de précision d'évaluer la motivation des apprenants.
2. Il permet d'identifier les problèmes particuliers vécus par l'apprenant lors du processus d'apprentissage.
3. Il permet de s'adresser aux caractéristiques individuelles de l'apprenant pour favoriser une intervention motivationnelle adaptée.

Le modèle ARCS est utilisé dans la construction, et la mise à jour, d'un *module motivationnel* de l'apprenant. Ce module questionne l'apprenant humain sur son niveau de motivation avec le questionnaire IMMS associé au modèle ARCS. Il utilise aussi un *module d'acquisition et de traitement de données électro-*



*physiologiques* pour consolider son évaluation de la motivation de l'apprenant afin de mettre à jour (si nécessaire) son profil motivationnel. Le module d'acquisition et de traitement de données électro-physiologiques enregistre les différents signaux (à savoir la CP, le RC et l'EEG) et procède à leur traitement tout en utilisant les différentes techniques d'analyse de données détaillées dans les chapitres précédents. Un ensemble d'aspects motivationnels est aussi nécessaire dans la conception de notre système pour soutenir la motivation des apprenants. Dans cette section, nous présentons deux aspects caractérisant la majorité des jeux vidéo et intégrés dans notre système : l'évolution dans un *environnement 3D* et une succession de *missions* à accomplir. Il y a aussi une application de quelques *stratégies motivationnelles* qui feront l'objet d'une deuxième version de notre système détaillée dans une section à part dans ce chapitre.

### **5.2.1 Environnement 3D**

Le monde virtuel 3D fait partie des nouvelles technologies émergentes pour présenter des expériences d'apprentissage captivantes qui ne sont pas toujours possibles à reproduire dans une session réelle d'apprentissage (de Araujo 2009; Dickey 1999). Les jeux sérieux en 3D sont souvent constitués d'un grand nombre de bâtiments, de chambres et d'objets qui permettent aux utilisateurs de se sentir comme s'ils sont vraiment dans un monde réel. Qu'il soit en médecine effectuant une opération sur un corps humain en 3D ou en aviation apprenant le pilotage sur un simulateur 3D, l'apprenant aura la chance d'être immergé dans un monde 3D et de découvrir l'impact de ses actions sans vraiment assumer les conséquences négatives en cas d'erreur ou d'échec.

L'utilisation de la 3D semble attirer nettement plus que la 2D. Cependant, elle présente quelques inconvénients. D'abord, Masahiko Tsukamoto (Tsukamoto 2000) indique que la réalisation d'un environnement 3D est complexe et coûteuse. En fait, ce mécanisme est compliqué : il implique de nombreuses données humaines, techniques, économiques, ergonomiques, ludiques, etc. Chaque acteur est nécessaire à la réalisation d'un bon produit : enseignants, concepteurs et programmeurs. Ensuite, les concepteurs de ces jeux sérieux sont généralement des chercheurs ou professeurs académiques qui n'ont pas les moyens que les entreprises

ont. C'est essentiellement le coût élevé de la réalisation qui les empêche de concevoir des mondes 3D réalistes. Puis, s'ils ne sont pas soutenus par un technicien modelleur 3D lors de leur réalisation, les jeux sérieux finissent généralement par avoir l'air très sérieux et manquent d'aspects ludiques et ergonomiques. Enfin, Cher Lim et ses collègues (Lim, et al. 2006) ont constaté que parfois les apprenants se trouvent tellement engagés et absorbés par le monde 3D qu'ils risquent de perdre leur concentration sur les tâches d'apprentissage demandées.

### **5.2.2 Différentes missions**

Ce qui rend un jeu vidéo particulièrement attrayant, c'est la typologie d'objectifs à atteindre qui prend généralement la forme de plusieurs missions (ou quêtes). Le joueur doit pouvoir mener à terme les missions qui lui sont confiées; ce qui amplifie son engagement et lui donne l'envie d'aller jusqu'au bout sans interruption (d'Amato 2011). À travers la logique de l'immersion, nous nous proposons dans la conception de notre jeu sérieux que le joueur se déplace dans un monde virtuel 3D où il doit mener à bien différentes missions pour atteindre des objectifs pédagogiques prédéfinis. Pour éviter le dernier risque évoqué plus haut de perte de concentration des joueurs dans un environnement entièrement 3D, nous nous proposons aussi que les missions soient conçues dans un monde 2D.

Il est à noter que la plupart des jeux vidéo d'aujourd'hui sont en 3D, mais la 2D est encore proposée pour les jeux vidéo ne nécessitant pas d'effet de relief, tels que certains jeux de combat ou de tir. Dans le cadre de notre jeu sérieux, la 2D constitue une solution pour pallier aux problèmes de la conception de jeux 3D discutés précédemment (coût, design, etc.). Elle nous permet la réalisation de différentes missions 2D légères, peu coûteuses, et en un temps relativement réduit par rapport aux jeux 3D (Dickey 1999). L'enjeu est de trouver l'équilibre entre aspects ludiques et pédagogiques. Le risque à éviter est que le jeu soit trop sérieux pour être divertissant.

## 5.3 Description et Réalisation

Le développement d'un jeu sérieux implique essentiellement quatre phases considérées par plusieurs méthodologies (Kasbi 2012) : (1) définir les objectifs pédagogiques et le public cible (*Le marketing*), (2) construire une arborescence complète du jeu (*Le scénario*), (3) définir un style pour rendre le jeu amusant (*La conception du jeu*) et (4) estimer les ressources humaines et budgétaires en fonction des phases précédentes (*Les ressources*). Nous nous sommes servis de ces quatre phases pour réaliser notre jeu sérieux.

### 5.3.1 Le marketing

L'élaboration de notre jeu sérieux nécessite l'intégration d'un contenu (ou une matière) à apprendre avec un jeu vidéo. Il est de rigueur d'y associer de aspects motivationnels afin de susciter le plaisir chez les apprenants tout en évitant que le jeu soit trop ludique pour apporter un apprentissage (Kasbi 2012). Il est essentiel de fixer les objectifs pédagogiques du jeu et de définir ce que l'apprenant devra avoir appris en fin de jeu.

Nous avons choisi de faire apprendre aux joueurs de notre jeu une structure de données informatique, le tas binaire. La structure de tas binaire est un tableau qui peut être vu comme un arbre binaire presque complet, comme le montre la figure 28 (Cormen, et al. 2004). Chaque nœud de l'arbre correspond à un élément du tableau qui contient la valeur du nœud. L'arbre est complètement rempli à tous les niveaux, sauf éventuellement au niveau le plus bas qui est rempli en partant de la gauche et jusqu'à un certain point.

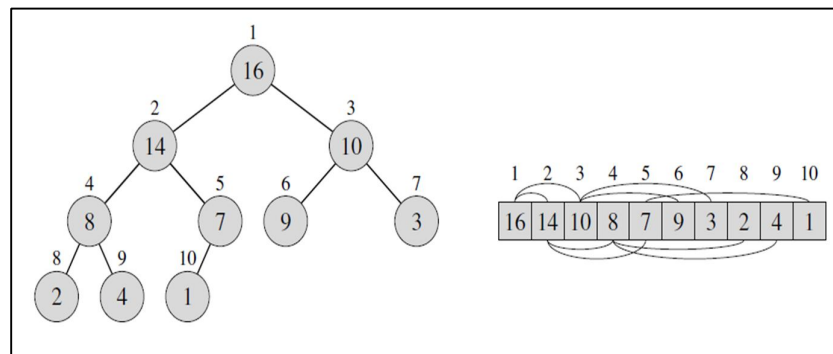


Figure 28 Un tas-max binaire (Cormen, et al. 2004)

Il existe deux types de tas binaires : les tas max et les tas min. Pour ces deux types de tas, les valeurs des nœuds satisfont à une propriété de tas, dont la nature spécifique dépend du type de tas. Dans un tas max, la propriété de tas max, appelée aussi *l'ordre tas*, est que pour chaque nœud autre que la racine la valeur d'un nœud est au plus égale à celle du parent. La plus grande valeur d'un tas max est à la racine. Un tas min est organisé en sens inverse; la propriété de tas min est que, pour chaque nœud autre que la racine, la valeur d'un nœud est supérieure ou égale à celle du parent. Le plus petit élément d'un tas min est à la racine. Nous avons fixé deux objectifs pédagogiques à atteindre dans notre jeu sérieux.

- Obj1 : montrer la construction d'un tas binaire et la propriété de tas à conserver.
- Obj2 : montrer deux opérations de base dans un tas binaire : *Insérer* et *Supprimer*.

### 5.3.2 Le scénario

Pour atteindre les deux objectifs pédagogiques ci-dessus, nous avons développé un jeu sérieux, appelé HeapMotiv, qui vise à éduquer les apprenants sur la structure de données tas binaire. HeapMotiv est la juxtaposition de deux mots : Heap (la structure tas binaire qui forme le curriculum de ce jeu) et Motivation (l'état qui nous intéresse dans cette thèse).



Figure 29 Environnement du jeu HeapMotiv

HeapMotiv est conçu sous la forme d'un labyrinthe 3D où parmi de nombreux chemins un seul peut mener à la destination finale. Tout le long des chemins dans ce labyrinthe, plusieurs panneaux d'information ont été placés pour aider les apprenants dans leur quête de la porte de sortie. Chaque apprenant doit jouer une mission 2D avant d'obtenir une direction sur le panneau. Dans son implémentation actuelle, HeapMotiv est composé de trois missions 2D : les deux premières missions sont destinées à l'apprentissage de la construction d'un tas binaire et de l'ordre tas (Obj1), la troisième mission vise à montrer une application de la structure tas binaire dans le tri de tableaux tout en présentant les opérations d'insertion et de suppression dans cette structure de données (Obj2). L'ensemble des missions est présenté ci-après.

### 5.3.3 Les ressources

Une partie du travail de développement du jeu HeapMotiv était faite dans le cadre du projet SEPICS (*Student Exchange Program in Intelligent Computer Systems*) au sein du laboratoire HERON. Un étudiant, Timothée Autin, de l'université de La Rochelle (France) a développé une première version HeapMotivV1 de ce jeu dans le cadre de sa 3<sup>ème</sup> année (IFT6890) de licence en informatique pendant une durée de 4 mois (du 18 avril 2011 jusqu'au 18 août 2011).

Nous avons utilisé un moteur 3D pour développer l'environnement de HeapMotiv ainsi que l'ensemble des missions à jouer. Nous avons choisi le moteur graphique Ogre3D (Ogre3D 2001), programmé en C++. Ce moteur graphique répond à plusieurs critères fondamentaux pour notre recherche :

1. Il constitue un des outils libres et gratuits très utilisés par les développeurs pour réaliser des solutions 3D interactives. Plusieurs projets commerciaux basés sur Ogre3D ont en fait déjà vu le jour, certains sont réussis tels que Pacific Storm, Ankh: Une aventure égyptienne et The Blob.
2. Il permet d'afficher des personnages, bâtiments, paysages en 3D; de gérer les lumières et les ombres; créer des effets de brouillards, flammes, fumées; d'utiliser une ou plusieurs caméras; etc. Cependant, Ogre3D n'est pas un moteur de jeu et par conséquent il ne contient pas de fonctions pour gérer les collisions

entre les objets. Ceci n'était pas problématique dans notre cas puisque le scénario de HeapMotiv ne contient pas des collisions à gérer.

3. Il est bien documenté avec beaucoup de classes disponibles. Sa communauté, en particulier anglophone, est très active et son site officiel regorge de contributions diverses.

Trois principales bibliothèques ont été intégrées avec Ogre3D afin de gérer la souris, le clavier et le joystick (la bibliothèque *OIS*), de lire et écrire des fichiers XML (la bibliothèque *TinyXML*) et jouer des sons (la bibliothèque *irrKlang*).

### 5.3.4 La conception du jeu

Plusieurs recommandations sont généralement données par les concepteurs de jeux pour développer un jeu sérieux : le jeu ne devrait idéalement pas posséder un mode d'emploi et le joueur devrait pouvoir se lancer tout de suite; il devrait être facilement utilisable et instinctif; il devrait donner l'envie d'aller jusqu'au bout sans interruption; la motivation doit être constante tout au long du jeu; etc. Nous avons pris en considération un ensemble de ces conseils lors de développement de HeapMotiv pour équilibrer au maximum l'aspect ludique du jeu et les objectifs pédagogiques fixés pour l'apprentissage du tas binaire.

La figure 30 montre une vue statique représentant la conception de notre jeu sérieux HeapMotiv (diagramme de classes principales). HeapMotiv est composé d'un environnement 3D où le joueur se déplace et plusieurs écrans 2D pour achever des missions et répondre à des questionnaires de motivation. La conception de deux classes *Environnement 3D* et *Ecran 2D* dépend de deux classes importantes : *Ogre3D* et *OIS*. La classe *Ogre3D* est utilisée pour la création du monde 3D. Afin de pouvoir gérer l'ensemble des objets de notre scène tout au long du déroulement du jeu, *Ogre3D* introduit la classe *SceneManager*. Concrètement, la classe *SceneManager* s'occupe de garder une trace de tous les modèles, les lumières, la caméra et les autres objets que peut contenir la scène. Dans *Ogre3D*, lorsque l'on souhaite manipuler une entité (un personnage, une lumière, une caméra, etc.), on n'agit en fait jamais directement sur celle-ci. Tous les déplacements que l'on veut effectuer se font par l'intermédiaire de la classe *SceneNode*. Pour gérer les entrées

du joueur, nous avons besoin de la classe *OIS* (*Object Oriented Input System*). Cette classe représente les périphériques d'entrée (souris, clavier et joystick) par des objets pour récupérer les actions du joueur. Une classe *FrameListener* est toujours (en boucle) à l'écoute des instructions pour effectuer les calculs nécessaires sur les objets entre deux frames et répondre ainsi aux actions du joueur.

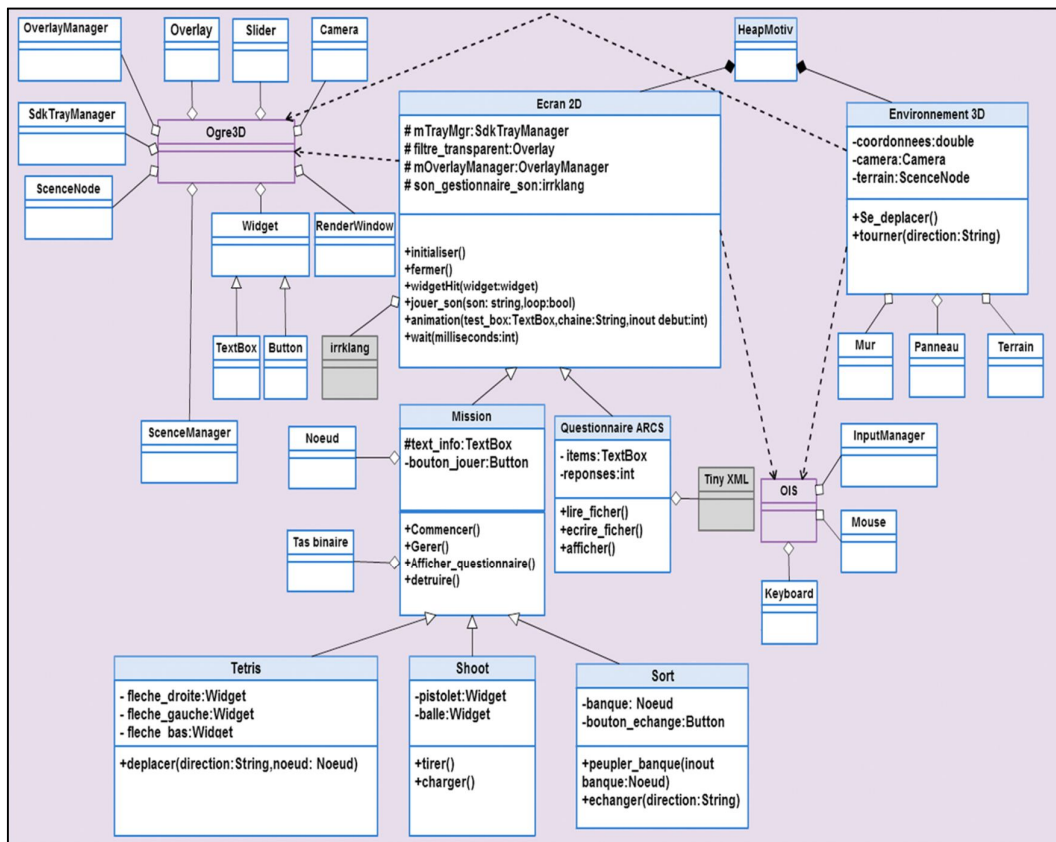


Figure 30 Diagramme des classes principales

Comme nous l'avons avancé en présentant le scénario du jeu, trois missions ont été conçues et implémentées dans le prototype actuel de HeapMotiv.

### 5.3.4.1 Première mission : Tetris

Dans le jeu classique Tetris, des pièces de formes différentes, avec des couleurs et/ou de motifs, descendent du haut de l'écran. Le joueur doit décider à quel angle de rotation (0°, 90°, 180°, 270°) et à quel emplacement latéral la pièce peut atterrir. Lorsqu'une ligne horizontale est complétée sans vide, elle disparaît et les blocs supérieurs tombent. Si le joueur ne parvient pas à faire disparaître les

lignes assez vite et que l'écran se remplit jusqu'en haut, la partie est finie. Le jeu ne se termine donc jamais par la victoire du joueur. Ce jeu, considéré comme un des grands classiques de l'histoire des jeux vidéo, nous a servi pour concevoir notre première mission Tetris en adaptant ses règles à notre curriculum : le tas binaire. La figure 31 montre une capture écran de cette mission.

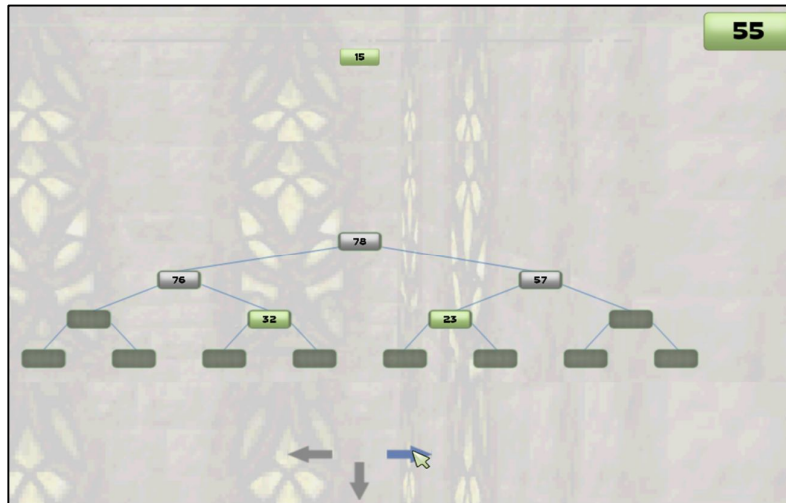


Figure 31 Mission Tetris : construction d'un tas max

Dans la mission Tetris, les pièces de formes et de couleurs différentes sont remplacées par des nœuds étiquetés et un tas binaire initialement vide. L'objectif dans cette mission est de remplir le tas binaire par un ensemble de nœuds tout en respectant l'ordre tas. Tout en maintenant l'idée de pièces qui tombent, le joueur ne peut pas ralentir ou empêcher la chute mais il peut l'accélérer (flèche bas) ou déplacer à gauche (flèche gauche) ou à droite (flèche droite) la pièce pour qu'elle soit placée dans un nœud de l'arbre binaire. Une pièce mal placée est tout simplement ignorée et le nœud relatif à cet emplacement reste vide. Tetris fait partie de notre premier objectif pédagogique qui montre la construction de tas binaire et la propriété tas. Dans la première version HeapMotivV1, le jeu est fini lorsque l'arbre est complètement rempli. Par conséquent, Tetris se termine toujours par la victoire du joueur. Nous verrons un autre comportement de cette mission dans la deuxième version HeapMotivV2 ci-après.



### 5.3.4.2 Deuxième mission : Shoot

La deuxième mission Shoot est un jeu de tir en vue subjective, souvent appelé jeu de tir à la première personne FPS (*First Person Shooter*). Les jeux de tir sont un sous-genre des jeux d'action qui proposent généralement au joueur d'affronter et d'éliminer plusieurs types d'ennemis en les bombardant d'armes diverses et en surmontant les difficultés rencontrées. Le joueur peut ressentir du plaisir parce que le jeu est de nature compétitive. Notre mission Shoot présente un arbre binaire initialement rempli par différents nœuds et ne respectant pas la propriété tas. Le joueur n'a qu'une vision partielle sur cet arbre en utilisant une lunette de visée d'un pistolet. Il doit tirer sur les pièces mal placées dans le tas binaire : il doit déterminer, dans un premier temps, le type du tas (min ou max) pour juger la répartition des pièces sur l'arbre et il doit tirer, dans un deuxième temps, sur les erreurs d'emplacement. Il existe exactement 3 erreurs dans l'arbre binaire donné et le joueur dispose de 5 balles dans son pistolet. Le tir sur une pièce mal placée fait exploser la pièce alors que le tir sur une pièce bien placée n'a aucun effet sur la pièce (seulement un effet sonore de tir). La mission Shoot se termine par la victoire du joueur si toutes les erreurs sont détectées ou par sa défaite s'il utilise toutes les balles avant de tirer sur toutes leurs erreurs d'emplacement. Comme la mission Tetris, elle participe à l'atteinte du premier objectif pédagogique : montrer la construction d'un tas binaire et la propriété de tas à conserver.

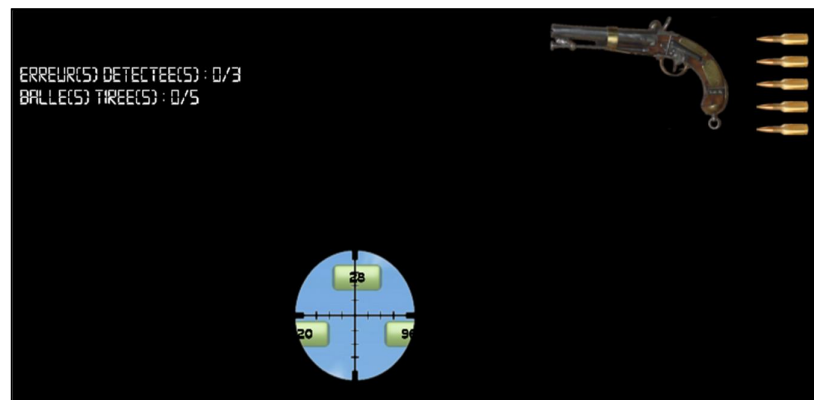


Figure 32 Mission Shoot

### 5.3.4.3 Troisième mission : Sort

Le deuxième objectif pédagogique de HeapMotiv consiste à montrer les deux opérations d'insertion et de suppression dans un tas binaire. Le but de la mission Sort est de familiariser le joueur avec ces deux opérations. Elle présente une application réelle de la structure de données tas binaire dans le tri d'une séquence d'entiers naturels dans un ordre croissant. Cette application commence par insérer tous les entiers dans un tas binaire, puis les supprimer, un à un, de la racine du tas binaire en rétablissant à chaque fois l'ordre tas. Nous n'avons pas trouvé une correspondance entre l'application de tri d'une séquence d'entiers et un autre jeu connu dans le monde de jeux vidéo. Ceci nous a amené à une conception moins ludique de la mission Sort. Nous avons tout simplement illustré les étapes de tri avec un tas binaire en présentant au joueur des boutons pour générer des pièces, insérer dans l'arbre binaire ou supprimer de la racine, échanger une pièce sélectionnée avec ses ancêtres (dans l'étape d'insertion) ou ses enfants (dans l'étape de suppression). La mission Sort implique la découverte des règles d'insertion et de suppression dans un tas binaire : une insertion à la fin du tas binaire puis une série d'échanges avec les ancêtres (de bas en haut) et une suppression à la racine avec une série d'échanges avec les enfants (de haut en bas).

La figure 33 présente l'étape d'insertion. Le joueur dispose d'une banque d'entiers naturels et un tas binaire initialement vide. À chaque insertion, l'entier nouvellement inséré pourrait violer la propriété tas lorsqu'il est supérieur (dans un tas max) ou inférieur (dans un tas min) à son parent. Le joueur doit corriger cette situation pour rétablir l'ordre tas max (ou min) en déterminant le maximum (ou le minimum) entre l'élément inséré et son parent. Si le parent est le plus grand (ou petit), alors la procédure se termine; sinon le parent est échangé par l'élément nouvellement inséré et la procédure continue avec l'élément nouvellement inséré et son nouveau parent (procédure récursive).

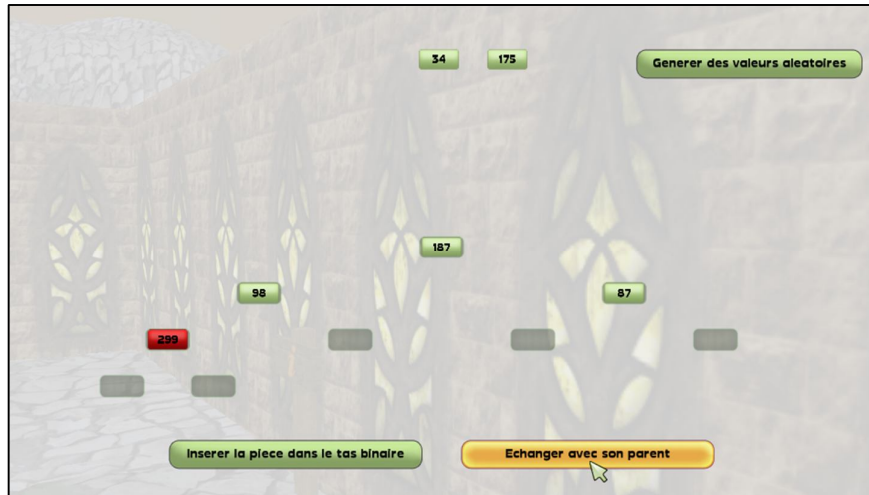


Figure 33 Mission Sort : opération *Insérer*

La figure 34 présente l'étape de suppression. Le joueur supprime les éléments insérés un à un à partir de la racine. Après chaque suppression de la racine de l'arbre, une feuille remplace la racine et l'ordre tas est alors violé. Le joueur doit rétablir l'ordre tas avant de pouvoir supprimer un élément de la racine. Il effectue des échanges entre le parent courant et l'un de ses enfants gauche et droit. Lorsque tous les éléments sont supprimés, le joueur obtient une séquence triée d'éléments de la banque d'entiers naturels. Dans HeapMotivV1, la mission Sort se termine toujours par la victoire du joueur. Nous verrons un autre comportement de cette mission dans la deuxième version HeapMotivV2 ci-après.

Figure 34 Mission Sort : opération *Supprimer*

## 5.4 HeapMotivV2

Dans le but d'étudier l'incorporation de quelques stratégies motivationnelles dans le prototype de HeapMotiv, nous avons développé une deuxième version HeapMotivV2 intégrant de nouvelles composantes dans sa conception. Ceci est essentiel pour évaluer l'impact des stratégies intégrées sur la motivation des apprenants et par rapport à la première version HeapMotivV1. Les résultats d'évaluation de stratégies motivationnelles et leur effet sur les apprenants seront présentés dans le chapitre suivant. Dans cette section, nous présentons nos choix de différentes stratégies implémentées et basées sur le modèle ARCS de motivation.

**Présentations :** des boîtes de dialogues sont affichées pour établir un dialogue entre le jeu et l'utilisateur. Elles introduisent les missions avant qu'elles soient jouées. La présentation de l'objectif global du jeu ainsi que les tâches à accomplir dans chaque mission fait partie de la catégorie motivationnelle R (la pertinence) du modèle ARCS de Keller. La figure 35-A montre une description générale du jeu et l'objectif à atteindre. La figure 35-B introduit la mission Tetris pour la construction d'un tas binaire.

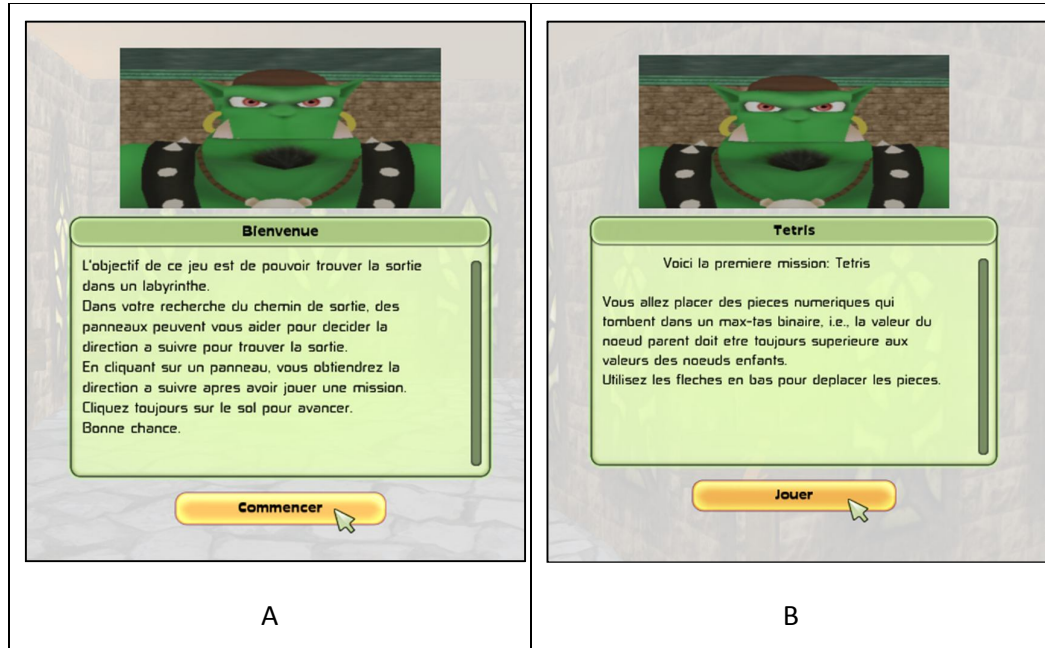


Figure 35 Présentation de l'objectif général du jeu (A) et des tâches à accomplir avant chaque mission (B)

**Contrôle et choix :** c'est une stratégie à présenter au joueur pour renforcer sa confiance (la catégorie C du modèle ARCS) en lui permettant un certain contrôle sur le jeu et des choix à faire. La motivation de l'apprenant serait influencée par sa perception de contrôle qu'il possède sur le déroulement de l'activité. Pour cela, nous avons défini trois niveaux de difficulté (facile, normal et difficile) pour chaque mission et nous avons laissé au joueur le choix du niveau à jouer dans chaque mission. La figure 36-A montre cette situation de contrôle et choix.

**Possibilités et essais :** il est important aussi d'offrir aux joueurs la possibilité de jouer la mission plusieurs fois (répétition). En fait, le joueur peut échouer, ou présenter de faibles performances, dans son premier essai de la mission et il est préférable d'accorder plusieurs tentatives aux joueurs pour soutenir leur confiance et améliorer leur performance dans l'accomplissement de la mission en cours. Nous avons alors laissé au joueur la possibilité d'effectuer plusieurs essais (au maximum 6 fois) dans une même mission. La figure 36-B montre la fenêtre de résultats qui permet au joueur de rejouer la mission avec un nouveau choix du niveau de difficulté en appuyant sur le bouton « Recommencer » ou de mettre fin à la mission en cours en appuyant sur le bouton « Terminer ».

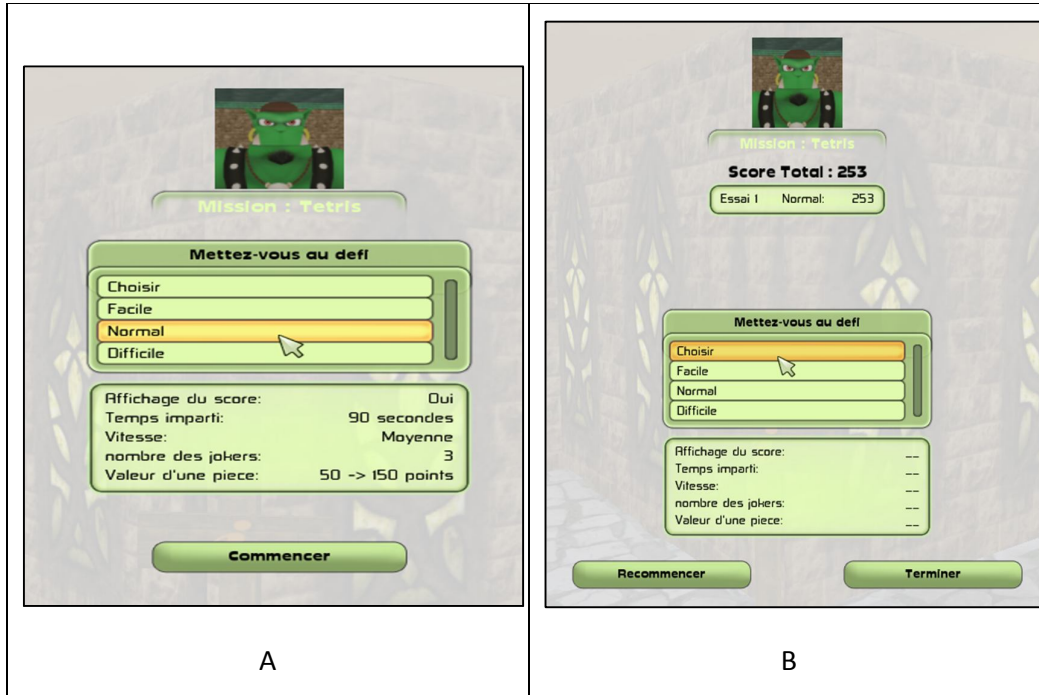


Figure 36 Possibilités de choix du niveau de jeu (A) et de plusieurs tentatives (B) dans la mission Tetris

**Défis et contraintes:** il est important aussi d'éprouver le joueur en lui soumettant des défis sous forme de contraintes de temps et d'erreurs. Vivre de nouvelles expériences et relever de nombreux défis attirent l'attention (catégorie A) du joueur et soutiennent sa motivation, en lui donnant envie de jouer, rejouer et d'améliorer ses performances. Nous avons défini un temps imparti pour chaque niveau de difficultés : illimité, 90 secondes et 45 secondes respectivement pour le niveau facile, normal et difficile. De même, nous avons introduit des jokers pour tolérer un nombre variable d'erreurs commises par le joueur : illimité, 3 jokers et 1 joker respectivement pour le niveau facile, normal et difficile. La violation d'une des contraintes prédéfinies met fin à la mission en cours et (ré)-affiche la fenêtre de résultats pour effectuer de nouveaux choix. Seulement dans la mission Tetris, nous avons aussi géré la vitesse (respectivement lente, moyenne, rapide) de chute d'une pièce selon les trois niveaux de difficulté dans cette mission (voir la figure 37). Dans la mission Shoot, le nombre de cartouches et le type de pièces cibles (fixes ou mobiles) changent en fonction du niveau de difficulté choisi. Dans la mission Sort, c'est la taille de la séquence d'entiers à trier qui grandit en augmentant le niveau de

difficulté de cette mission. Le niveau facile n'applique pas de contraintes sur la mission qui sera, par conséquent, identique à celle de la première version HeapMotivV1. En choisissant un niveau normal ou difficile, le joueur joue la mission différemment avec des possibilités de défaites supplémentaires lorsque le temps imparti est fini ou les jokers sont épuisés.

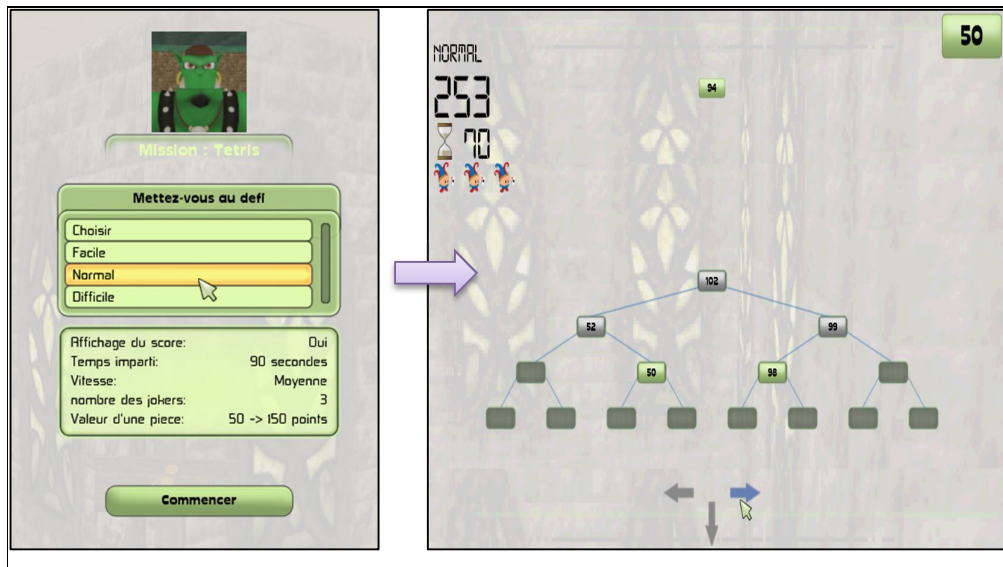


Figure 37 Temps imparti, jokers et score dans Tetris (niveau normal)

**Affichage du score :** dans la figure 36-B, on a aussi l'affichage du score courant obtenu par le joueur. L'affichage du score montre au joueur sa performance en temps réel et augmente son plaisir de l'expérience dans une mission en lui accordant une récompense (incrémenter son score courant) motivante. Il constitue une stratégie recommandée par le modèle ARCS pour encourager la satisfaction (catégorie S). Le score est calculé de plusieurs façons selon le type de la mission jouée. Dans la mission Tetris, il est défini par la somme des valeurs de pièces correctement placées dans le tas binaire. Dans la mission Shoot, c'est la précision de tir du joueur sur une erreur les pièces mal placées dans le tas binaire qui définit la valeur de la récompense attribué. Dans la mission Sort, c'est le succès à rétablir l'ordre tas après l'insertion ou la suppression d'un élément qui augmente le score du joueur.

**Compagnon :** comme il était recommandé dans la conception de jeux sérieux, la présence d'un compagnon, pour guider les joueurs dans leur quête ou



évaluer leurs performances finales, fait partie de stratégies soutenant la motivation de joueurs. Dans la mise en scénario de notre jeu HeapMotiv, nous avons choisi de placer un compagnon, appelé Sinbad, à la porte de sortie du labyrinthe pour féliciter le joueur et juger son expérience du jeu en fonction de son score obtenu dans toutes les missions et du temps écoulé, depuis le début du jeu jusqu'à la rencontre du joueur avec Sinbad. C'est une stratégie motivationnelle appartenant à la catégorie S du modèle ARCS. La figure 38 montre le compagnon Sinbad à la porte de sortie.



Figure 38 Rencontre avec Sinbad à la porte de sortie

Nous avons jugé que la nature exploratoire du jeu dans un labyrinthe et les panneaux d'informations placés dans les différents chemins sont suffisants pour animer le jeu HeapMotiv. Cependant, nous sommes conscients que des rétroactions immédiates sont absolument cruciales parce qu'il est très difficile d'apprendre ou de comprendre les choses si l'on ne peut pas relier les conséquences aux actions. Dans l'implémentation actuelle, Sinbad participe à l'introduction de la mission en cours et l'affichage du score obtenu. Nous n'avons pas laissé Sinbad assister le joueur durant l'accomplissement des différentes missions. Dans une implémentation future, nous trouverons un moyen pour rendre Sinbad plus actif dans le jeu et beaucoup plus utile pour le joueur en lui associant un module de rétroactions adaptées durant les missions.



## **5.5 Conclusion**

Nous avons complété la réalisation de notre prototype d'un jeu sérieux HeapMotiv. C'est la conception et l'implémentation de ce jeu 3D intégrant plusieurs missions 2D pour l'apprentissage de tas binaires et enrichi par des stratégies motivationnelles que nous avons présentées dans ce chapitre. Dans le chapitre suivant, nous nous baserons sur ce prototype pour mener une nouvelle étude empirique testant son bon fonctionnement ainsi que l'effet des situations et des stratégies que nous avons administrées sur la motivation des apprenants. Nous proposerons aussi une modélisation des réactions électro-physiologiques des apprenants lors de l'application de quelques stratégies motivationnelles implémentées dans HeapMotivV2.



# **Chapitre 6 : Évaluation motivationnelle de HeapMotiv**

## **6.1 Introduction**

Sous sa forme actuelle, notre jeu sérieux HeapMotiv contient trois missions portant sur la structure de données du tas binaire avec deux versions : HeapMotivV1 standard et HeapMotivV2 incorporant quelques stratégies motivationnelles. Après le développement de ces deux versions, il est indispensable de valider le bon fonctionnement du jeu sérieux et les différentes hypothèses mises pour son implémentation. Avant d'utiliser ce jeu sérieux dans nos expérimentations, nous l'avons testé auprès de quelques personnes pour avoir quelques rétroactions et corriger les bugs survenus pendant la phase de test.

Dans le présent chapitre, nous présentons les principaux éléments à tester dans les deux versions de HeapMotiv afin de valider leur impact sur la motivation des apprenants. Nous décrivons l'étude expérimentale que nous avons menée pour une évaluation motivationnelle du HeapMotiv. Nous détaillons aussi une modélisation de différentes stratégies motivationnelles implémentées dans HeapMotivV2. Nous présentons enfin les résultats obtenus avec cette étude pour chacune des versions implémentées de HeapMotiv.

## **6.2 Principaux éléments utilisés**

Lors du développement de HeapMotiv, notre recherche a déterminé les principaux éléments de motivation dans les jeux sérieux et le modèle ARCS de motivation et les a incorporé dans notre prototype de jeu. Des stratégies motivationnelles pour soutenir la motivation et atteindre de meilleures performances ont été aussi incorporées dans la deuxième version de ce prototype. Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes concentrés sur l'évaluation de trois de ces éléments : (1) le rôle d'une expérience antérieure dans la tâche actuelle et (2) l'impact d'offrir plusieurs essais dans une même mission dans HeapMotivV1; enfin

(3) les stratégies motivationnelles et leur modélisation dans la version HeapMotivV2. Ainsi, nous formulons les deux hypothèses suivantes :

*(H4) Il y a des éléments dans la conception du jeu HeapMotivV1 qui influencent les apprenants et leurs réactions physiologiques et qui permettent d'atteindre des hauts niveaux de motivation, de persévérance et de performance.*

*(H5) Les patrons électro-physiologiques des apprenants dans le jeu HeapMotivV2 permettent une modélisation de stratégies motivationnelles.*

Il convient de noter que d'autres éléments et aspects motivationnels peuvent être aussi étudiés. Nous citons par exemple l'effet de l'ordre des missions présentées durant l'interaction avec les jeux sérieux. Dans le cadre de cette deuxième étude expérimentale, nous n'avons pas la possibilité de tester l'effet de changement de l'ordre des missions présentées car l'atteinte de l'objectif pédagogique dans notre jeu HeapMotiv (apprentissage de tas binaire) nécessite de jouer les trois missions dans un ordre prédéfini : Tetris, puis Shoot, enfin Sort. En fait, l'apprenant ne peut achever la mission Sort visant l'apprentissage de l'insertion et la suppression dans un tas binaire que s'il apprend la construction d'un tas binaire dans la mission Tetris et le maintien de la propriété de l'ordre tas dans la mission Shoot.

### **6.2.1 Compétence et expérience antérieure**

L'objectif ultime d'un système d'apprentissage assisté par ordinateur est d'améliorer les performances des apprenants dans leur acquisition de connaissances. Il peut être atteint en dotant le système de plusieurs moyens : soutenir directement les objectifs du programme d'études; offrir aux apprenants des possibilités de collaboration; fournir une rétroaction au sujet de ses résultats et progrès dans l'application; s'ajuster aux capacités de l'apprenant et à son expérience antérieure. C'est cette dernière action d'ajustement des tâches en fonction de compétences et de l'expérience antérieure de l'apprenant qui nous intéresse dans la présente étude.

Certains chercheurs ont constaté que les enseignants utilisent des pratiques pédagogiques « intelligentes » en classe afin de soutenir la motivation des élèves, leur sentiment d'efficacité personnelle, les buts d'apprentissage, la valeur accordée à la matière, etc. Plus précisément, les enseignants signalent généralement que la

compétence dans les tâches peut varier considérablement en fonction de la familiarité des apprenants et leur expérience antérieure avec les thèmes, les concepts, le genre, etc. Paul Brandwein (Brandwein 1999) a précisé que les enseignants utilisent les compétences et les expériences antérieures de leurs élèves pour que ceux-ci construisent leur compréhension en reliant ce qu'ils savent déjà avec les éléments essentiels de la tâche qu'ils essaient d'apprendre. David Wiley (Wiley 2000) considère que l'intérêt de l'apprenant est la prémisse de la connaissance et le point de départ de la motivation à apprendre. Il considère aussi que l'apprenant montre plus d'intérêt quand on lui propose une activité ou une tâche qu'il connaît et pour laquelle il a les compétences requises. Afin d'aiguiser l'intérêt des apprenants et de renforcer leurs compétences, il a proposé d'utiliser des exemples réels et concrets pour les apprenants ou, si cela est difficile, d'utiliser des allégories ou des métaphores.

Cependant, d'autres chercheurs ont montré que c'est en créant de situations inhabituelles et des événements et des expériences paradoxales ou contradictoires, que l'attention, l'intérêt et la motivation des apprenants sont suscités et maintenus (Keller 1987). En fait, la volonté de l'apprenant à persévérer face aux situations inconnues et difficiles d'apprentissage est à la base son succès et sa réussite.

## **Expérience antérieure dans HeapMotivV1**

Dans la présente étude, nous avons défini l'expérience antérieure d'un apprenant en termes de jouabilité d'une mission, i.e. la correspondance entre chaque mission de notre jeu sérieux HeapMotiv et les autres jeux vidéo déjà joués par cet apprenant. De ce point de vue, une mission contenant des objets et des règles d'un jeu vidéo bien connu fait partie de l'expérience antérieure du joueur; alors qu'une mission contenant des objets et des règles non conformes à l'expérience précédente de l'apprenant constitue une expérience nouvelle pour lui. Par hypothèse, nous avons considéré que les deux premières missions Tetris et Shoot, qui se sont basées sur deux concepts de jeux largement connus, appartiennent à la classe « expérience antérieure ». La dernière mission Sort, qui est plutôt une illustration de l'algorithme de tri par tas, est une « expérience nouvelle » pour les apprenants. Nous avons testé

la validité de cette hypothèse en étudiant les effets de compétences et d'expériences antérieures, par rapport à de nouvelles tâches, sur la motivation des apprenants dans le jeu sérieux HeapMotivV1.

### **6.2.2 Essais et répétition**

Quelques recommandations données par les concepteurs de jeux sérieux nous indiquent qu'il faut proscrire le répétitif car il risque de susciter chez l'apprenant l'attitude et donc l'ennui. Il est aussi préférable de diriger les joueurs vers des solutions diverses en fonction de ses réponses. Cependant, d'autres recommandations précisent que les joueurs ont toujours besoin, ou simplement envie, de rejouer. La majorité des jeux vidéo offre la possibilité d'essayer ses missions plusieurs fois (répétition). De manière générale, les joueurs commettant plusieurs erreurs dans une mission donnée risquent de l'échouer et ont alors besoin de tentatives supplémentaires pour la rejouer (autant qu'ils veulent) et la réussir.

Du point de vue éducatif, les apprenants sont plus susceptibles de se rappeler (ou apprendre le contenu) d'une tâche donnée lorsqu'ils l'ont essayée plusieurs fois. Dans un environnement de jeux sérieux, la répétition d'une mission donne plus de temps pour acquérir les connaissances transmises, maîtriser certaines compétences, ou simplement avoir le plaisir avec cette expérience de jeu. Aussi, nous avons constaté que des tâches répétitives ont été souvent données par d'autres études expérimentant d'autres environnements d'apprentissage, sans que leur impact sur l'état des apprenants ne soit étudié. Par conséquent, nous trouvons essentiel, et d'une importance particulière pour notre travail de recherche, de comprendre les effets et les avantages potentiels d'offrir plusieurs essais dans les missions de HeapMotivV1.

### **Répétition dans HeapMotivV1**

Dans HeapMotivV1, les missions Tetris et Shoot doivent être jouées exactement trois fois par les joueurs; alors qu'un seul essai est possible pour la mission Sort. La conception de la mission Sort est faite en deux phases pour l'insertion et la suppression dans un tas binaire. Ainsi, l'achèvement de cette dernière mission requière un temps hautement supérieur à celui de deux autres

missions. Nous avons alors choisi de ne pas répéter cette mission plusieurs fois pour éviter le risque de l'ennui chez l'apprenant. Nous avons alors choisi d'étudier l'effet d'offrir plusieurs essais sur la motivation et la performance des apprenants pour les deux premières missions seulement. La troisième mission nous a servi pour discuter les résultats obtenus avec cet élément motivationnel (répétition dans HeapMotivV1).

### 6.2.3 Stratégies motivationnelles

De récentes études affirment que la simple interaction avec les jeux vidéo n'est pas toujours intrinsèquement motivante. Elles montrent qu'un recours exclusif aux propriétés de base des jeux vidéo (le défi, la curiosité, les stimuli sensoriels, etc.) est insuffisant du point de vue pédagogique et qu'une mise en place de stratégies motivationnelles devient nécessaire pour soutenir la motivation des apprenants et par conséquent leur performance (Mattheiss, et al. 2009). Nous avons conçu une deuxième version HeapMotivV2 pour implémenter quelques stratégies motivationnelles réagissant au modèle ARCS de Keller. Dans la section suivante, l'évaluation de cette deuxième version sera expliquée pour l'étude de l'impact des stratégies implémentées de point de vue motivationnel.

Il convient de noter que nous évaluons les stratégies motivationnelles par (1) une comparaison de performances et de scores d'auto-évaluation des apprenants, avec et sans ces stratégies; et (2) une exploitation de données électro-physiologiques des apprenants dans le contexte de l'application d'une stratégie motivationnelle quelconque. Dans le point (1), nous utilisons des tests statistiques non-paramétriques pour comparer l'impact de l'ajout des stratégies motivationnelles dans le jeu HeapMotiv. Dans le point (2), nous concevons un processus automatique de classification des stratégies motivationnelles à base de données électro-physiologiques. Il existe plusieurs choix possibles quant à la modélisation de ces stratégies. Une possibilité consiste à utiliser l'un des trois classifieurs du chapitre quatre de cette thèse (page 86), notamment le réseau de neurones qui a présenté les meilleurs pourcentages de classification. Cependant, les précédents travaux portant sur la modélisation des actions des tuteurs ou les stratégies de l'apprenant dans le contexte des systèmes tutoriels intelligents font souvent recours aux modèles de

Markov cachés (HMM). Par exemple, Elizabeth Boyer et ses collègues (Boyer, et al. 2008) ont utilisé des HMM pour identifier des stratégies et suivre les niveaux des apprenants dans des dialogues humains avec des tuteurs. Carole Beal et Paul Cohen (Beal et Cohen 2008) ont utilisé des HMM pour analyser le dialogue avec un système tutoriel intelligent et identifier les différents états de l'engagement des apprenants. D'autres recherches ont utilisé les HMM pour évaluer les actions de l'apprenant. Par exemple, Zachary Pardos et Neil Heffernan (Pardos et Heffernan 2011) ont appliqué les HMM pour prédire les réponses correctes des apprenants dans des environnements d'apprentissage en mathématiques. Benjamin Shih et ses collègues (Shih, et al. 2010) ont proposé d'utiliser un ensemble de HMM pour la découverte des différentes stratégies que les apprenants utilisent ainsi que la prédiction des résultats d'apprentissage.

Nous allons définir ci-après une modélisation basée sur des propriétés statistiques à l'aide des modèles de Markov cachés (HMM). Notre processus automatique de classification des stratégies motivationnelles permet de bénéficier de l'efficacité des HMM pour la modélisation et la classification.

### **Modèles de Markov cachés HMM**

Un modèle de Markov caché (HMM) est un modèle probabiliste dans lequel le système modélisé est supposé être une variable aléatoire fonction du temps. Un HMM peut être considéré comme le plus simple et dynamique réseau Bayésien. Il est défini par un quintuplet  $\lambda = (n, m, A, B, \pi)$  où  $n$  est le nombre d'états cachés,  $m$  est le nombre d'états observables,  $A$  est la probabilité de transition entre les états cachés,  $B$  est la fonction de densité de probabilités d'observations et  $\pi$  est le vecteur de probabilités initiales des états cachés. Il s'agit d'un modèle représentant les distributions de probabilités sur des séquences d'observations.

Un HMM présente deux propriétés: il suppose (1) que l'observation au temps  $t$  est générée par un processus avec un état  $S_t$  caché à l'observateur et (2) que l'état caché de ce processus satisfait la propriété de Markov suivante: compte tenu de la valeur de l'état  $S_{t-1}$ , l'état actuel  $S_t$  est indépendant de tous les états précédents à  $S_{t-1}$ . Les sorties (observations) de ce modèle satisfont aussi la propriété de Markov



suivante: étant donné un état  $S_t$ , l'observation  $O_t$  est indépendante des états et des observations de tous les autres indices temporels.

Plusieurs raisons justifient le choix des HMM dans notre approche de modélisation des stratégies motivationnelles :

1. Nous avons montré au chapitre 3 de cette thèse que des réactions électro-physiologiques spécifiques sont corrélées avec le niveau de motivation des apprenants et qu'elles peuvent caractériser des états motivationnels chez eux. Un HMM est un modèle de Markov où les états sont cachés, mais sont munis de probabilités d'émissions des événements observables : chaque événement a une probabilité, possiblement nulle, d'être émis par chaque état. Dans le cas de notre étude, le niveau de motivation des apprenants constitue un état caché qui émet, avec certaines probabilités, de réactions électro-physiologiques mesurables et par conséquent observables.
2. L'application des HMM dans notre contexte permet de mieux étudier les transitions entre les différents états de motivation pour chacune des stratégies étudiées. Dans notre processus de classification, chaque HMM utilisé pour chaque stratégie motivationnelle attribue un score de vraisemblance maximale à une séquence donnée d'observations. Le processus de classification est alors simple à concevoir puisque chaque stratégie motivationnelle est modélisée par un HMM et la décision finale de ce processus se base tout simplement sur les différents scores de vraisemblance maximale obtenus avec les différents HMM.

## **6.3 Étude expérimentale : expérience de novembre 2011**

### **6.3.1 Procédure**

Quarante et une personnes (21 femmes et 20 hommes) ont participé à notre étude, en échange d'une rémunération horaire fixe. Les participants ont été recrutés sur le campus de l'université de Montréal. Ils n'étaient pas des informaticiens et ils n'avaient aucune connaissance préalable sur la structure de données tas binaire. Ils ont été répartis de manière aléatoire en deux groupes : un premier groupe a expérimenté la première version HeapMotivV1 alors que le deuxième a joué

HeapMotivV2 qui implémente de stratégies motivationnelles. Nous avons essayé de bien équilibrer les deux groupes (autant de femmes que des hommes dans chaque groupe) pour qu'ils soient comparables. Le tableau 11 résume la répartition des participants.

Groupe	Sexe	N	Age moyen	Écart type
HeapMotivV1	Femme	10	23.7	6.8
	Homme	10		
HeapMotivV2	Femme	11	25.3	4.5
	Homme	10		

Tableau 11 Répartition des participants

Une procédure semblable à celle de notre première expérience décrite au chapitre 3 a été suivie dans cette deuxième expérience. Après que le participant ait signé un formulaire de consentement, nous avons procédé à l'installation des capteurs électro-physiologiques sur la main non-dominante et la tête du participant : le capteur GSR a été placé autour des doigts majeur et auriculaire de la main non dominante du participant, le capteur BVP a été attaché à l'index de la même main et le casque EEG a été enfilé sur la tête du participant. Notre jeu HeapMotiv (en ses deux versions) invite les participants à expérimenter trois missions : Tetris, Shoot et Sort. La figure 39 montre le schéma du protocole expérimental.

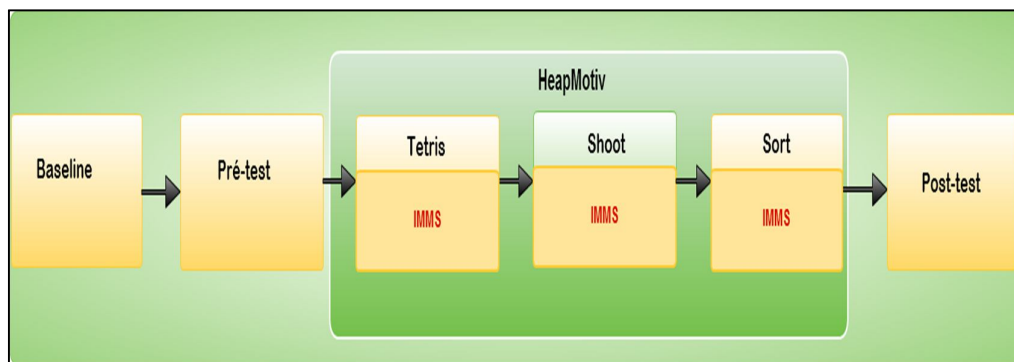


Figure 39 Protocole expérimental

### 6.3.2 Collecte et analyse de données

Un pré-test (avant le jeu) et un post-test (après le jeu) ont été administrés pour comparer les performances des apprenants en termes d'acquisition des connaissances. Nous avons utilisé 10 questions à choix multiples (fermées) portant sur les concepts de base des arbres binaires et la structure de données tas binaire. Les participants ont utilisé notre site web au début et à la fin de l'expérience pour répondre aux tests de performance. De plus, l'instrument IMMS (voir Annexe A) a été aussi utilisé après chaque mission (durant le jeu) pour évaluer l'état de la motivation des apprenants. Dans cette expérience, cet instrument IMMS est intégré dans le jeu HeapMotiv pour que l'utilisateur ne change pas de console à chaque fois qu'on l'interroge sur sa motivation.

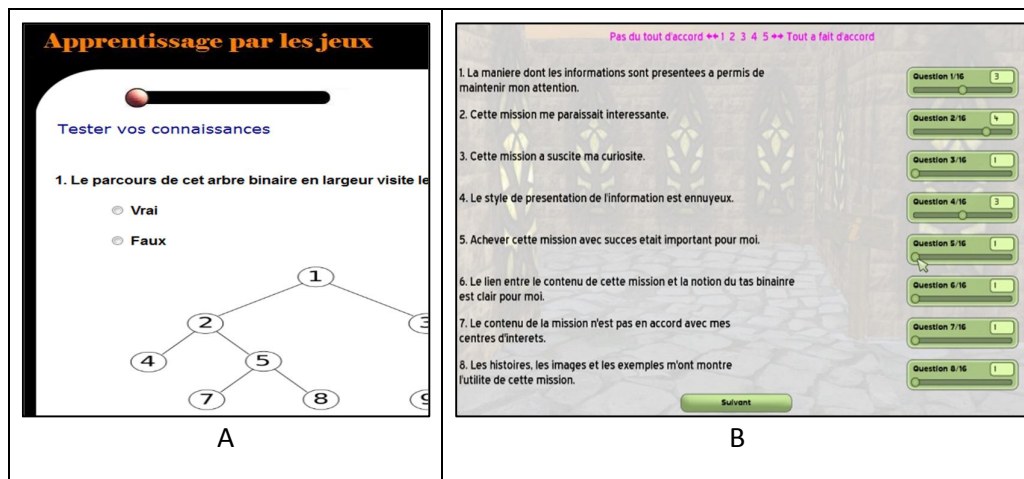


Figure 40 Une question du pré-test (A) et des items du questionnaire de motivation (B)

En outre, il y avait de nouveau une utilisation de deux webcams pour enregistrer respectivement les expressions faciales de l'apprenant et son évolution dans le jeu. Les données physiologiques ont également été enregistrées : les deux capteurs GSR et BVP étaient attachés aux doigts de la main non dominante du participant, laissant l'autre main libre pour la tâche expérimentale. Enfin, un casque EEG a été convenablement enfilé sur la tête du participant. Tous les sites EEG (Fz, F3, C3, Pz, A1 et A2) ont été référencés en ligne (*On-line*) pour Cz; puis les sites Fz, F3, C3 et Pz ont été ré-référencés (*Off-line*) à la moyenne de l'activité sur les deux mastoïdes (A1 et A2). Les données électro-physiologiques ont été enregistrées

durant toute l'expérience. Une ligne de base (*Baseline*) de 60 secondes de tous les signaux a été calculée en état de repos et les yeux fermés avant de commencer l'expérience. Nous avons aussi suivi la même démarche de l'expérience dans l'analyse de données électro-physiologiques acquises. Le lecteur peut se référer au chapitre 3 pour une description complète de l'analyse faite.

### 6.3.3 HMM pour les stratégies motivationnelles

Dans le chapitre précédent, nous avons décrit quatre types de stratégies motivationnelles implémentées dans HeapMotivV2. Dans ce chapitre, nous présentons la modélisation de chacun de ces quatre types par des modèles de Markov cachés (HMM) en utilisant les données électro-physiologiques ainsi que le modèle ARCS de motivation.

Un HMM est un quintuplet  $\lambda = (n, m, A, B, \pi)$  où  $n$  est le nombre d'états cachés,  $m$  est le nombre d'états observables,  $A$  est la probabilité de transition entre les états cachés,  $B$  est la fonction de densité de probabilités d'observations et  $\pi$  est le vecteur de probabilités initiales des états cachés. Dans le cas de notre étude, les états cachés sont les niveaux de motivation des apprenants et les états observables sont les données électro-physiologiques associées. Pour chaque HMM  $\lambda$  d'un type de stratégies motivationnelles, nous avons choisi, pour une question de simplicité, de coder toutes les données en binaire: 2 états cachés ont été définis en utilisant les scores de chaque catégories du modèle ARCS et le seuil de la moyenne du groupe (état faible (-) au-dessous du seuil et état élevé (+) au-dessus du seuil de la catégorie en question) et 8 états observables définis en utilisant aussi les données RC, CP et EEG et les seuils associés de moyennes de groupes ( $O_1=RC_{(-)}CP_{(-)}EEG_{(-)}$ , ...,  $O_8=RC_{(+)}CP_{(+)}EEG_{(+)}$ ). La figure 41 montre une représentation graphique de chacun des HMM utilisés dans notre étude.

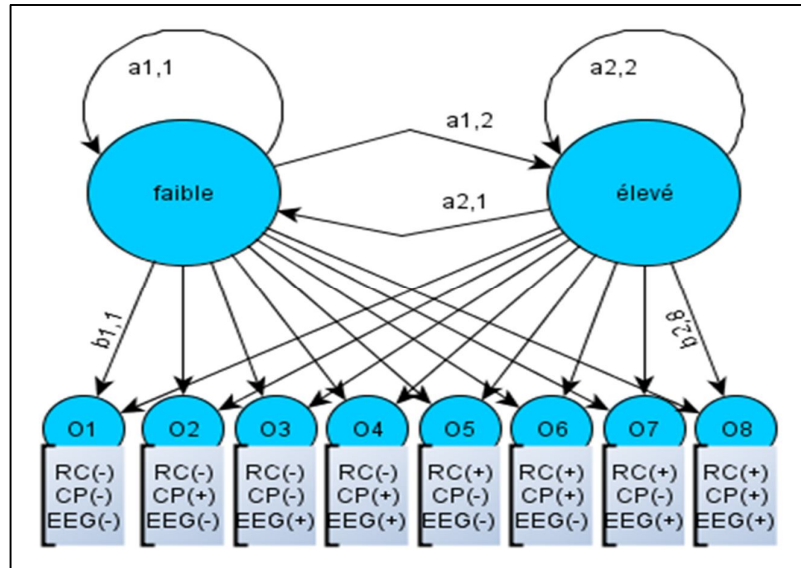


Figure 41 Un HMM de chaque catégorie du modèle ARCS

Lawrence Rabiner (Rabiner 1990) a défini trois principaux problèmes pour les HMM:

1. **Le problème de d'évaluation.** Étant donné un modèle  $\lambda$  du HMM, quelle est la probabilité  $P(O|\lambda)$  d'avoir une séquence d'observations  $O = \{o_1, o_2, \dots, o_T\}$  ?

**Solution.** Algorithme Forward-Backward permet de calculer la probabilité de la génération d'une séquence d'observations. C'est l'algorithme le plus efficace pour traiter ce problème. Dans cette approche, on remarque que l'observation peut se faire en deux temps : d'abord, l'émission du début de l'observation  $O_{1:t}$  en aboutissant à l'état  $s_i$  au temps  $t$  (procédure Backward); puis, l'émission de la fin de l'observation  $O_{t+1:T}$  sachant qu'on part de l'état  $s_i$  au temps  $t$  (procédure Forward). Les deux procédures suivent le principe de la programmation dynamique.

2. **Le problème du décodage.** Étant donné un modèle  $\lambda$  du HMM et une séquence d'observations  $O$ , quelle est la séquence d'état  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_T\}$  qui a vraisemblablement généré  $O$  ?

**Solution.** Algorithme Viterbi : il s'agit de déterminer le meilleur chemin correspondant à l'observation, c'est-à-dire de trouver dans le modèle la

meilleure suite d'états  $S$  qui a généré l'observation en question. L'algorithme Viterbi est une variante de la programmation dynamique.

3. **Le problème de l'apprentissage du modèle.** Étant donné un jeu d'entraînement  $X = \{O_k\}$  contenant des séquences d'observations, quel est le modèle  $\lambda$  du HMM qui aurait vraisemblablement généré le jeu  $X$  ?

**Solution.** Algorithme Baum-Welch : l'apprentissage du modèle vise à déterminer ses paramètres (probabilités de transition, probabilités d'émission, etc.). L'algorithme Baum-Welch suit le principe du maximum de vraisemblance.

Le lecteur peut se référer au chapitre 13 du livre d'Ethem Alpaydin (Alpaydin 2004) pour avoir une description détaillée de tous ces problèmes ainsi que les différents algorithmes mentionnés ci-dessus.

Notre processus de classification utilise des HMM appris. Nous nous servons de deux solutions de trois problèmes principaux des HMM : l'algorithme Baum-Welch (B&W) pour le problème de l'apprentissage du modèle et l'algorithme Forward-Backward (F&B) pour le problème de l'évaluation. En fait, nous avons construit quatre HMM (un modèle  $\lambda$  pour chaque type de stratégies) : le modèle d'attention  $\lambda_A$ , le modèle de pertinence  $\lambda_R$ , le modèle de confiance  $\lambda_C$  et le modèle de satisfaction  $\lambda_S$ . L'apprentissage de chaque HMM a été fait en appliquant l'algorithme B&W. Les probabilités estimées de transition et d'émission du modèle  $\lambda$  de chaque type de stratégies motivationnelles sont obtenues à la fin de cet algorithme. Ensuite, nous avons utilisé l'algorithme F&B pour évaluer chacun de quatre modèles obtenus : étant donné un modèle  $\lambda$  et une séquence observable  $Obs_j$ , F&B calcule la probabilité de la séquence observable étant donné le modèle,  $P(Obs_j|\lambda)$ .

Notre approche de l'évaluation est exécutée sur les quatre modèles ( $\lambda_A$ ,  $\lambda_R$ ,  $\lambda_C$  et  $\lambda_S$ ) pour de nouvelles séquences observables  $Obs_j$  qui seront attribuées à la fin au modèle  $\lambda^*$  avec le score de vraisemblance maximale  $\lambda^* = \operatorname{argmax} (P(Obs_j|\lambda_i))$ , où  $i \in \{A, R, C, S\}$ . Le processus de classification utilisant les différents HMM ainsi que les algorithmes B&W et F&B est présenté dans la figure 42.

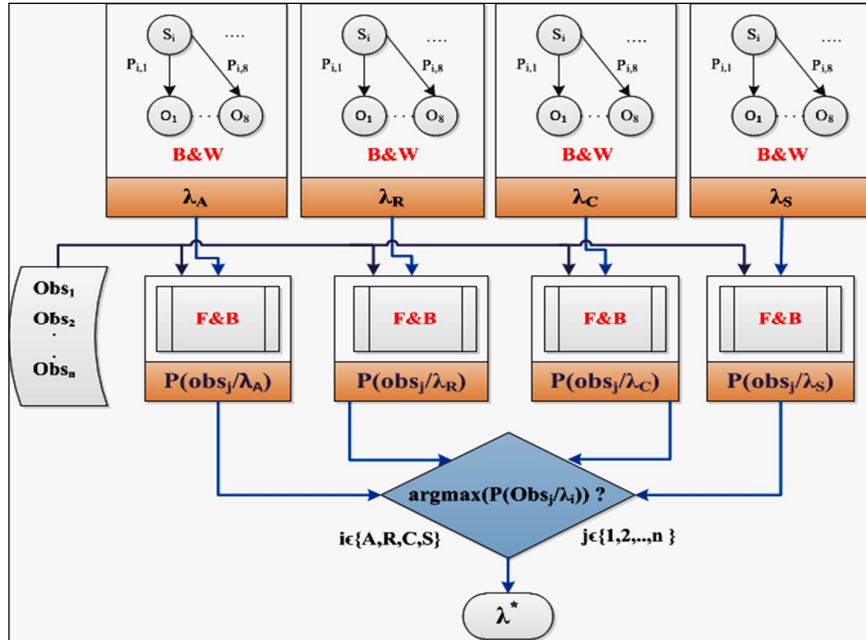


Figure 42 Processus de classification utilisant les HMM

Pour évaluer l'utilisation des HMM dans le processus de classification de différentes stratégies motivationnelles, nous avons choisi quatre exemples de stratégies implémentées dans HeapMotivV2 pour notre analyse expérimentale:

1. Une stratégie d'Attention STG-A : éprouver le joueur en lui soumettant des défis sous forme de contraintes du temps et d'erreurs : (1) un temps imparti pour chaque niveau de difficultés : illimité, 90 secondes et 45 secondes respectivement pour le niveau facile, normal et difficile; et (2) des jokers pour tolérer un certain nombre d'erreurs commises par le joueur : illimité, 3 jokers et 1 joker respectivement pour le niveau facile, normal et difficile.
2. Une stratégie de Pertinence STG-R : présenter l'objectif global du jeu ainsi que les tâches à accomplir dans chaque mission en utilisant des boîtes de dialogues affichées avant qu'une mission soit jouée.
3. Une stratégie de Confiance STG-C : donner au joueur un contrôle sur le jeu en effectuant un ensemble de choix avant de commencer la mission : niveau de difficulté (facile, normal et difficile) et nombre d'essais pour une même mission (au minimum 1 essai et au maximum 6 essais).

4. Une stratégie de Satisfaction STG-S : féliciter le joueur et juger son expérience du jeu en fonction de l'ensemble des scores obtenus dans toutes les missions et du temps écoulé, en utilisant un compagnon, appelé Sinbad, à la porte de sortie du labyrinthe.

Nous avons utilisé le logiciel SPSS pour conduire les différents tests statistiques et un toolbox HMM du logiciel statistique R pour programmer notre processus de classification à base des HMM. Le code du processus de classification est présenté dans l'annexe B. Les résultats des différents éléments choisis ainsi que le processus de classification sont montrés dans la section suivante.

## 6.4 Résultats obtenus

Nous avons évalué l'impact motivationnel de notre prototype du HeapMotiv en utilisant le modèle ARCS et les mesures électro-physiologiques. Les résultats suivants ont été aussi présentés dans (Derbali et Frasson 2012b; Derbali et Frasson 2012c; Derbali, et al. 2013).

### 6.4.1 Performance

Dix pré-tests et dix post-tests ont été utilisés pour comparer les performances en terme d'acquisition de connaissances dans les deux groupes HeapMotivV1 et HeapMotivV2. Les résultats de tests Wilcoxon pour 2 échantillons appariés (les scores obtenus aux pré-tests et post-tests) sont reportés dans le tableau 12. Ils montrent une différence significative entre les deux scores pour les participants de deux groupes (HeapMotivV1:  $Z = -3.348$ ,  $p = 0.001$ ; HeapMotivV2:  $Z = -3.756$ ,  $p = 0.000$ ). Ainsi, le nombre de réponses correctes après la fin du jeu est nettement supérieur à celui avant le jeu dans les deux groupes.

Groupe	N	Test	Moyenne	SD	Z	Sig. P
HeapMotivV1	20	Pré-test	3.62	1.774	-3.348	0.001*
		Post-test	6.05	1.802		
HeapMotivV2	21	Pré-test	4.00	1.654	-3.756	0.000*
		Post-test	7.20	1.673		

Tableau 12 Résultats de différents tests de Wilcoxon



## 6.4.2 Motivation

Comme dans notre première expérience, nous avons commencé par déterminer la fiabilité du questionnaire IMMS utilisé dans cette deuxième expérience. Un test de fiabilité de Cronbach a été exécuté sur les données IMMS recueillies après chacune des trois missions de HeapMotiv. Les coefficients alpha de Cronbach sont 0.845, 0.911 et 0.911 pour les scores de la motivation générale respectivement dans Tetris, Shoot et Sort. Ces coefficients de fiabilité montrent qu'IMMS est un moyen très fiable pour mesurer la motivation des apprenants.

Nous avons aussi étudié chacun des trois éléments présentés au début de ce chapitre à savoir « Compétence et expérience antérieure », « Essais et répétition » et « Stratégies motivationnelles ». Dans une première partie de résultats obtenus, les effets de l'expérience antérieure des apprenants et d'offrir plusieurs essais dans les missions sont uniquement étudiés pour les apprenants du premier groupe HeapMotivV1. Ce choix est justifié par le fait que ce groupe d'apprenants a joué notre jeu sérieux sans intégration de stratégies motivationnelles et les éventuels effets de ces stratégies sur la motivation des apprenants sont alors évités. Dans une deuxième partie de résultats obtenus, le deuxième groupe d'apprenants qui ont joué HeapMotivV2 avec intégration de stratégies motivationnelles nous a servi comme groupe expérimental pour évaluer l'impact de cette intégration ainsi que notre approche de modélisation avec des HMM; et le premier groupe HeapMotivV1 a joué le rôle d'un groupe de contrôle dans cette partie.

### 6.4.2.1 Effets de l'expérience antérieure des apprenants

Nous avons émis l'hypothèse que les deux premières missions Tetris et Shoot appartiennent à la classe « expérience antérieure » ; alors que la dernière mission Sort est une « expérience nouvelle » pour les apprenants. A travers des questions directes aux apprenant avant de jouer HeapMotivV1, tous les participants ont déclaré qu'ils avaient expérimenté des jeux de Tetris (100%) ou de tir (78%) ; alors que 7% seulement d'entre eux connaissaient des algorithmes de tri (mais pas le tri par tas). A titre d'information, les participants affectés à l'autre groupe HeapMotivV2 ont reporté des réponses similaires. Ils étaient très ou assez familiarisés avec les jeux classiques de Tetris et de tir, mais seulement 15% d'entre

eux connaissaient quelques algorithmes de tri. Ceci est en concordance avec notre hypothèse de la classification de nos trois missions dans HeapMotiv. Nous avons alors étudié l'effet de l'expérience antérieure des apprenants dans HeapMotivV1 (sans stratégies motivationnelles).

Les résultats de tests de Wilcoxon pour 2 échantillons appariés (scores ARCS obtenus de deux missions dans HeapMotivV1) ont montré des différences significatives dans les scores de la motivation générale ainsi que certaines catégories du modèle ARCS. En fait, des résultats sont significatifs de certains scores entre deux missions de classes différentes : Tetris et Sort (Attention :  $Z = -2.59, p < 0.01$  ; Confiance :  $Z = -2.53, p < 0.01$  ; Motivation :  $Z = -1.93, p < 0.05$ ) et Shoot et Sort (Confiance :  $Z = -2.36, p < 0.05$  ; Motivation :  $Z = -1.89, p < 0.05$ ). Toutefois, il y a seulement une différence significative entre les deux missions de même classe « expérience antérieure » dans les scores d'attention : Tetris et Shoot ( $Z = -2.02, p < 0.05$ ).

Ensuite, nous avons étudié la corrélation entre des données électro-physiologiques enregistrées lors des interactions des apprenants avec les différentes missions de HeapMotivV1 et les scores ARCS reportés. L'analyse de la classe « expérience antérieure » a montré des relations significatives entre la catégorie de l'attention et les index PoT de sites F3 et C3 ainsi qu'entre la motivation générale et l'index PoT du site C3 (Attention/F3 :  $\rho$  de Spearman = 0.49,  $n = 40, p < 0.001$  ; Attention/C3 :  $\rho$  de Spearman = 0.44,  $n = 40, p < 0.01$  ; Motivation/C3 :  $\rho$  de Spearman = 0.32,  $n = 40, p < 0.05$ ). Pour l'autre classe « expérience nouvelle », nous avons aussi trouvé que les données électro-physiologiques CP, C3 et F3 étaient corrélées significativement avec la motivation générale et l'attention des apprenants (Motivation/CP :  $\rho$  de Spearman = 0.51,  $n = 20, p < 0.001$  ; Attention/F3 :  $\rho$  de Spearman = 0.44,  $n = 20, p < 0.01$  ; Attention/C3 :  $\rho$  de Spearman = 0.36,  $n = 20, p < 0.01$ ).

A travers ces résultats, nous avons traité la question de l'impact de l'expérience antérieure et des compétences sur le niveau de motivation des joueurs. Ceci a été fait en utilisant les scores d'auto-évaluation et les données électro-physiologiques enregistrées. Les apprenants étaient plus intéressés par ce qu'ils

connaissent déjà et, par conséquent, ils ont eu un niveau élevé de la motivation au cours de deux premières missions Tetris et Shoot. Lors de l'achèvement de la dernière mission Sort appartenant à la classe « expérience nouvelle », le niveau d'attention des apprenants ainsi que leur confiance ont diminué. Cette diminution peut être expliquée par des situations de difficulté, de doute et d'échec généralement connues lors de l'apprentissage de nouvelles habiletés ou face à de défis inconnus. Certaines de ces situations ont caractérisé l'expérience des apprenants durant la mission Sort du HeapMotivV1.

En outre, les effets de ces deux classes de missions sur les niveaux de motivation et d'attention des apprenants peuvent être suivis de manière fiable à travers des changements dans les index PoT de la CP et les sites F3 et C3. Cependant, les résultats significatifs de la corrélation entre les scores de la confiance et les classes de missions jouées n'ont pas traduit de tendances physiologiques claires. Nous présumons que l'analyse cérébrale que nous avons effectuée et qui était basée sur le ratio d'attention Thêta/Bêta1 est limitée parce que, jusqu'à présent, ce ratio évalue avec beaucoup de précision l'évolution cérébrale corrélée avec le niveau d'attention et de motivation générale des apprenants ; mais il semble être inapproprié pour identifier les partons EEG associés à des états de confiance ou de satisfaction. Des variations dans la conductivité de la peau CP sont notamment observées dans des situations où l'apprenant a peu d'expériences (mission Sort).

#### 6.4.2.2 Effets d'offrir plusieurs essais pour une même mission

Les missions de HeapMotivV1 ont été jouées par chaque participant comme suit : Tetris (exactement 3 essais), Shoot (exactement 3 essais) et Sort (exactement 1 essai). Nous avons appliqué une ANOVA de Friedman pour comparer les scores ARCS reportés après chacune de trois missions. Les résultats de l'ANOVA de Friedman ont montré que des différences significatives dans le score général de motivation ainsi que les deux catégories d'attention et de confiance du modèle ARCS ont été observées entre les missions (Motivation :  $F(1,2) = 11.52, p < 0.05$  ; Attention :  $F(1,2) = 6.12, p < 0.05$  ; Confiance :  $F(1,2) = 13.84, p < 0.05$ ).

L'expérimentation de trois missions différentes avec un nombre d'essais différents influence la motivation générale des apprenants ; leur niveau d'attention varie d'une mission à une autre et ces apprenants ont plus de confiance dans leur aptitude de réussir certaines missions que d'autres. Ces résultats excluent l'hypothèse nulle que le niveau de la motivation des joueurs reste à peu près le même entre les différentes périodes de jeu. Ils nous ont alors permis d'étudier les effets éventuels de missions en termes de nombre d'essais donnés : deux missions avec plus qu'un essai et une troisième avec exactement un seul essai. Cette étude a focalisé essentiellement sur les tendances générales physiologiques en fonction du nombre d'essais dans chaque mission.

En utilisant les scores ARCS obtenus après chaque mission, nous avons classé les apprenants en deux classes : la classe « faible » représentant les apprenants qui ont de scores de la motivation inférieurs à la moyenne générale ; et une classe « forte » renfermant les autres apprenants (leurs scores sont supérieurs à la moyenne). Le tableau 13 montre la répartition de participants dans les deux classes définies.

Classe	Tetris	Shoot	Sort
<i>Faible</i>	9	8	9
<i>Forte</i>	11	12	11

Tableau 13 Répartition de participants dans les deux classes « faible » et « forte »

La figure 43 présente les données électro-physiologiques (axe des ordonnées) en fonction de 3 essais faits (axe des abscisses) pour les deux missions Tetris et Shoot. Chaque point sur le plan représente la moyenne des apprenants d'une même classe durant 5 secondes. La courbe rouge pour la classe « faible » et la courbe bleue pour la classe « forte ») sont des tendances polynomiales d'ordre 2 pour représenter les fluctuations de données au cours du temps : 20 secondes et 15 secondes de chaque essai respectivement dans Tetris et Shoot. Nous avons présenté les fluctuations du rythme cardiaque RC, de la conductivité de la peau CP et du ratio d'attention EEG. Nous avons aussi affiché le coefficient de détermination  $R^2$  associé à chaque courbe de tendance. Ce coefficient  $R^2$ , qui est une valeur entre 0 et 1, représente le degré de correspondance de valeurs estimées pour la courbe de tendance avec les données réelles.

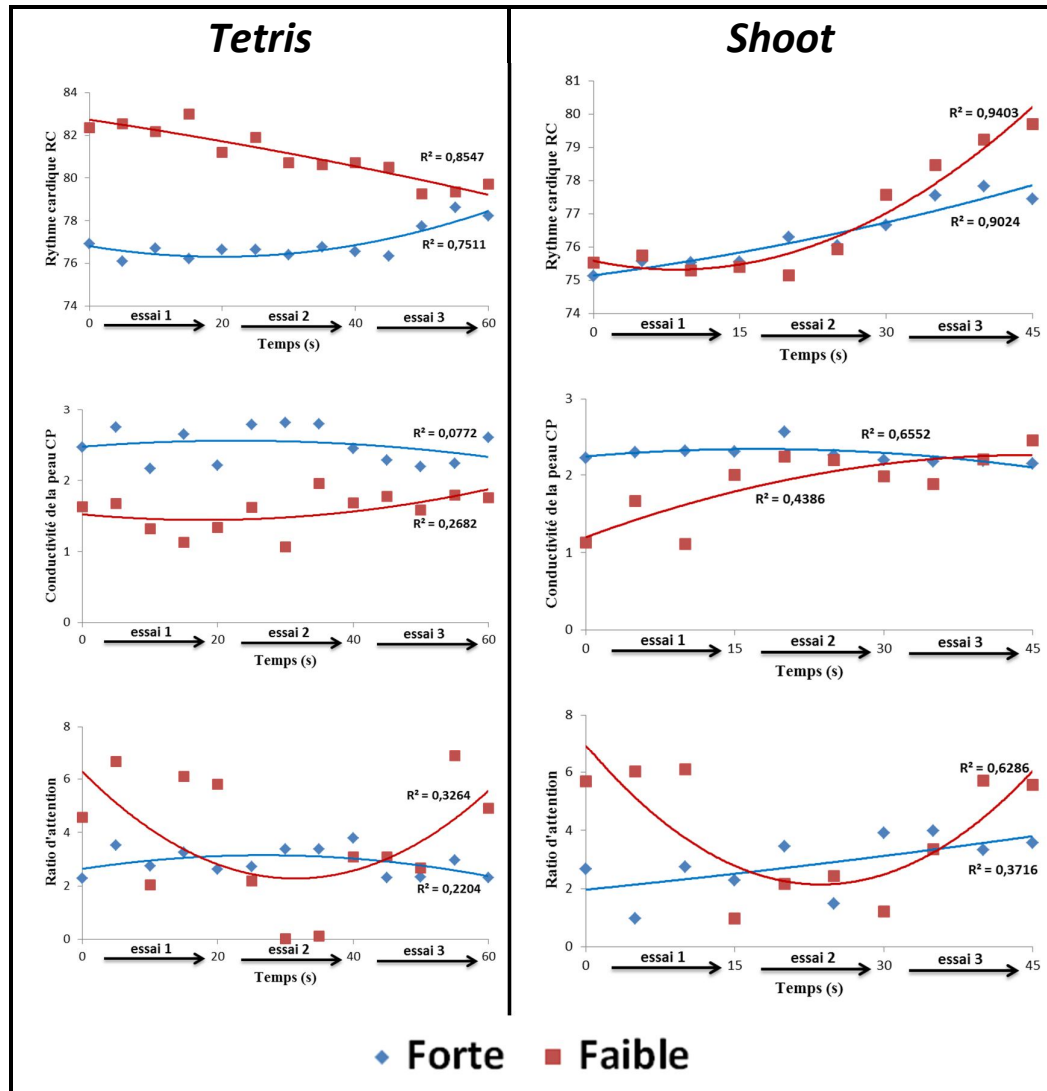


Figure 43 Fluctuations de données électro-physiologiques pendant les différents essais

Dans la figure 43, nous constatons que les apprenants de la classe « forte » ont maintenu des tendances électro-physiologiques stables et peu fluctuées entre les essais d'une même mission. En revanche, même si les tendances RC et CP sont stables et proches de celles de la classe « forte », les apprenants de la classe « faible » ont eu des fluctuations remarquables au niveau de leur ratio EEG d'attention entre les essais, notamment dans la mission Shoot ( $R^2=0.6286$ ). On pourrait penser que les participants de la classe « forte » sont ceux qui sont devenus de plus en plus attentifs à travers les essais multiples et ont continuellement diminué leur ratio d'attention EEG ; mais nos résultats indiquent que ceci n'est que

partiellement vrai. En fait, les participants de cette classe n'ont pas une courbe décroissante au cours du temps, mais ils ont simplement maintenu leur attention de manière régulière et relativement constante entre les essais. Ainsi, les deux classes « faible » et « forte » peuvent être différenciées par l'ampleur des fluctuations dans principalement les données EEG ou par le nombre de courbures (bosses et creux) qui apparaissent dans leur courbe de tendance.

Nous avons également étudié la troisième mission Sort qui n'a été jouée qu'une seule fois (exactement 1 essai). L'intérêt de cette étude est de valider la constatation faite précédemment en ce qui concerne l'effet d'offrir plusieurs essais dans une même mission sur la motivation des apprenants. Cette opportunité d'essais multiples n'a pas été donnée dans la mission Sort et nous nous attendons, par conséquent, à trouver des tendances électro-physiologiques différentes à celles trouvées entre les deux classes de participants pour Tetris et Shoot. Cependant, il est à noter que la mission Sort contient quand même une action répétitive, i.e. rétablir l'ordre tas après chaque insertion ou suppression d'un élément dans un tas binaire, qui est fonction du nombre d'éléments dans le tas binaire. Ceci pourrait influencer les données électro-physiologiques des apprenants.

Dans la figure 44, nous présentons le suivi des fluctuations du RC, de la CP et du ratio d'attention EEG au cours de la mission Sort (150 secondes) pour les deux classes « faible » et « forte ». Des quantités de fluctuations faibles ont été trouvées en ce qui concerne l'évolution de données RC et CP pour les deux classes dans la mission Sort, mais les courbes de tendances sont inversées par rapport aux deux premières missions. En effet, les tendances du RC dans la classe « forte » étaient au-dessus des tendances de la classe « faible » dans cette troisième mission ; mais c'était le cas inverse dans les missions Tetris et Shoot. La même constatation est valide pour les courbes de tendances de la CP entre les deux classes et les trois missions. En ce qui concerne le ratio d'attention EEG, pas de fluctuations au niveau de la classe « faible » au cours du temps et le ratio d'attention de cette classe a resté toujours au-dessus du ratio d'attention de l'autre classe « forte ». Les participants de la classe « forte » ont maintenu leur attention (ratio d'attention faible et stable) durant la mission Sort ( $R^2=0.8272$ ).

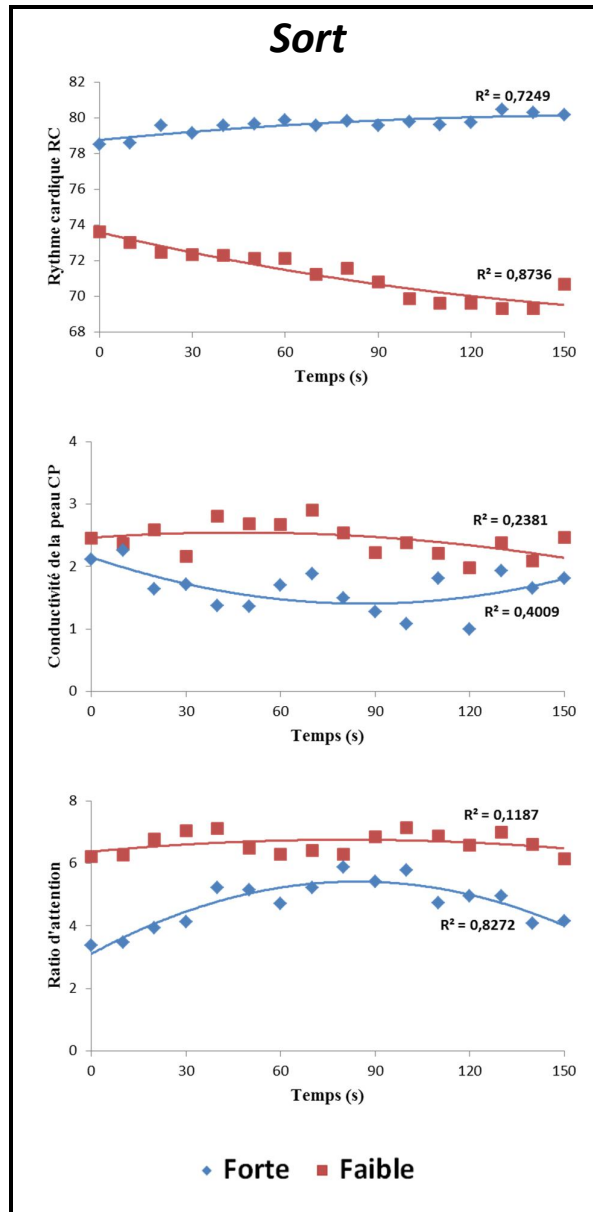


Figure 44 Fluctuations de données électro-physiologiques dans la mission Sort

Ces résultats confirment deux de nos constatations précédentes. Tout d'abord, les apprenants les plus motivés ont simplement gardé un niveau d'attention au cours du jeu et dans chaque mission, par comparaison avec les autres apprenants qui n'ont pas maintenu leur attention jusqu'à la fin de la mission jouée. Ensuite, la quantité de fluctuations de données électro-physiologiques, essentiellement du ratio d'attention EEG et avec la classe « faible », montre l'effet de présenter plusieurs tentatives pour une même mission. En fait, même si la mission Sort renferme des

tâches répétitives, c'est la perception explicite d'une nouvelle opportunité pour rejouer la mission qui a influencé le niveau du ratio d'attention de la classe « faible ». Les apprenants de cette classe ont manqué de motivation lorsque le jeu leur a imposé de rejouer plusieurs fois la même mission ; ceci s'est traduit par des fluctuations élevées du ratio d'attention entre les essais.

### 6.4.2.3 Effets des stratégies motivationnelles

Dans cette deuxième partie de résultats obtenus, nous avons étudié la deuxième version HeapMotivV2 consolidée avec les stratégies motivationnelles. Notre objectif est de tester, tout d'abord, l'impact de l'intégration de ces stratégies sur la motivation des apprenants. Nous validons, ensuite, l'approche proposée dans ce chapitre pour une modélisation des stratégies motivationnelles basée sur les modèles de Markov cachés HMM. Dans les résultats suivants, le groupe HeapMotivV1 représente le groupe de contrôle alors que le groupe HeapMotivV2 est le groupe expérimental.

Tout d'abord, plusieurs tests de Mann-Whitney U entre 2 échantillons indépendants ont été menés pour évaluer l'hypothèse selon laquelle la motivation générale ainsi que les catégories du modèle ARCS diffèrent entre les deux groupes HeapMotivV1 et HeapMotivV2.

<b>Modèle ARCS</b>	<b>Z</b>	<b>Sig. P</b>
<i>Attention</i>	-1.897	0.058
<i>Pertinence</i>	-3.209	0.001*
<i>Confiance</i>	-3.745	0.000*
<i>Satisfaction</i>	-2.935	0.003*
<i>Motivation générale</i>	-3.281	0.001*

Tableau 14 Résultats de différents tests de Mann-Whitney U

Comme le montre le tableau 14, des résultats significatifs ont été obtenus avec le modèle ARCS de motivation, à l'exception de la catégorie Attention ( $Z = -1.897$ ,  $p = 0.058$ ). Ainsi, les scores ARCS reportés par le groupe expérimental étaient plus élevés que ceux du groupe de contrôle. Ces résultats excluent l'hypothèse selon laquelle la motivation des apprenants reste à peu près la même



entre les différentes missions de deux versions du jeu : avec et sans stratégies motivationnelles. Ils indiquent aussi l'effet positif de l'intégration de quelques stratégies motivationnelles dans le jeu HeapMotiv pour soutenir la motivation des apprenants. En outre, malgré la différence non significative dans la catégorie d'Attention, les apprenants de deux groupes ont rapporté des scores élevés d'attention (moyenne = 14.11, SD = 3,96) et cette catégorie était classée en deuxième rang après la catégorie de Confiance.

Dans l'étape de modélisation, nous avons eu recours seulement aux données du groupe expérimental HeapMotivV2 ( $n=21$ ). Ce groupe comprend un total de 268 séquences d'observations pour l'ensemble de quatre stratégies motivationnelles étudiées :  $nA=92$  séquences pour la STG-A,  $nR=63$  séquences pour la STG-R,  $nC=92$  séquences pour la STG-C et  $nS=21$  séquences pour la STG-S. Chaque séquence présente plusieurs tailles de fenêtre de session (*session window size*) mesurées en secondes et bornées par les valeurs suivantes : 30 secondes pour la STG-A, 10 secondes pour la STG-R, 10 secondes pour la STG-C et 5 secondes pour la STG-S. Les données électro-physiologiques du groupe HeapMotivV2 ont été utilisées pour entraîner les HMM dans la phase d'apprentissage (67% de données) et les valider (33% des données). Pour chaque modèle HMM  $\lambda_i$  ( $i \in A, R, C, S$ ) dans notre processus de classification, nous avons défini trois mesures d'évaluation : Rappel, Précision et F1.

Posons NB\_COR le nombre de classifications correctes faites par notre classifieur (i.e. la classe prédite est la vraie classe  $\lambda_i$ ). Posons aussi NB\_INC le nombre de classifications incorrectes faites par notre classifieur avec l'ensemble de  $n_i$  séquences d'observations (i.e la classe prédite n'est pas la vraie classe  $\lambda_i$ ). La valeur du rappel est le pourcentage de classifications correctes sur l'ensemble de jeu données ( $n_i$ ) avec l'utilisation du modèle  $\lambda_i$ .

$$Rappel_{\lambda_i} = \frac{NB\_COR}{NB\_COR + NB\_INC}$$

Posons aussi NB\_MAL le nombre de classifications incorrectes faites par notre classifieur et assignées à la classe  $\lambda_i$  sur avec l'ensemble de  $\sum n_j, j \neq i$  séquences d'observations (i.e. la classe prédite est  $\lambda_i$  qui n'est pas la vraie classe).

La valeur de précision est le pourcentage de classifications correctes sur l'ensemble d'observations assignées à la classe  $\lambda_i$ .

$$Précision_{\lambda_i} = \frac{NB\_COR}{NB\_COR + NB\_MAL}$$

La mesure F1 est la moyenne pondérée harmonique de la précision et du rappel. Elle est calculée en utilisant la formule suivante :

$$F1 = \frac{2 * Rappel * Précision}{Rappel + Précision}$$

Les mesures d'évaluations (Rappel, Précision et F1) ont été calculées pour les deux phases d'apprentissage et de validation de notre processus de classification à base de HMM. Elles sont présentées dans le tableau 15.

HMM	Rappel (en %)		Précision (en %)		F1 (en %)	
	<i>Apprentissage</i>	<i>Validation</i>	<i>Apprentissage</i>	<i>Validation</i>	<i>Apprentissage</i>	<i>Validation</i>
$\lambda_A$	85.25	74.19	86.67	82.14	85.95	77.97
$\lambda_R$	52.38	52.38	51.16	47.83	51.76	50.00
$\lambda_C$	73.77	77.42	75.00	80.00	74.38	78.69
$\lambda_S$	42.86	28.57	40.91	22.22	41.86	25.00

Tableau 15 Performances du processus de classification à base de HMM

Comme le montre le tableau 15, les valeurs de F1 varient de 42% à 86% dans la phase d'apprentissage des modèles HMM et indiquent une relation modérément élevée entre les données électro-physiologiques et la variable dépendante (stratégie motivationnelle). L'étape de validation de notre classifieur confirme cette constatation avec l'application des modèles entraînés  $\lambda_i$  sur 33% des observations et met l'accent sur les meilleures performances des deux modèles des stratégies d'Attention (F1 = 78%) et de Confiance (F1 = 79%). Ces deux modèles avaient des valeurs élevées de rappel et classaient les nouvelles séquences d'observations avec une grande précision. Cela confirme nos résultats concernant la catégorie de Confiance qui a eu le résultat le plus significatif dans le test de Mann-Whitney U ( $Z = -3.745$ ,  $p = 0.000$ ) et montre bien que certaines réactions électro-physiologiques spécifiques à cette catégorie ont caractérisé les apprenants du

groupe HeapMotivV2. Cela souligne également notre dernière observation concernant la catégorie d'Attention et montre aussi l'impact de la stratégie de cette catégorie sur l'attention des apprenants et leurs réactions électro-physiologiques.

Cependant, des performances relativement faibles de modèles construits dans la phase de validation pour les stratégies de la Pertinence  $\lambda_R$  (F1 = 50%) et surtout de la Satisfaction  $\lambda_S$  (F1 = 25%) ont été trouvées. Il n'est pas difficile d'expliquer ces résultats lorsqu'on les associe au manque d'observations pour estimer de façon cohérente les paramètres de deux modèles  $\lambda_R$  et  $\lambda_S$  et valider par la suite ces modèles sur de nouvelles séquences d'observations. Par exemple, il n'y avait que 7 observations pour la catégorie de Satisfaction pendant la phase de validation du modèle construit  $\lambda_S$ . Mais nous pensons aussi que la faible durée (seulement 5 secondes) de la stratégie motivationnelle STG-S a limité la taille de la fenêtre de session et par conséquent les performances du modèle  $\lambda_S$ . En outre, les deux stratégies STG-R et STG-S ont été appliquées de la même façon pour tous les apprenants sans le moindre contrôle de ces derniers : utilisation systématique de STG-R avant chaque mission et de SGT-S à la fin du jeu. En comparant ces deux stratégies avec les deux autres, nous constatons, par exemple, que la durée de la stratégie STG-A est suffisamment grande pour remplir le but de son utilisation (grande taille de la fenêtre de session). Nous constatons aussi que les deux stratégies STG-A et STG-C ont été répétées plusieurs fois avec des niveaux différents de difficulté en fonction des choix faits par les apprenants (avec un maximum de six essais).

## 6.5 Conclusion

Ce chapitre a présenté l'étude expérimentale faite avec HeapMotiv pour une évaluation motivationnelle de ce prototype. Trois éléments motivationnels ont fait l'objet de cette étude empirique : l'expérience antérieure de l'apprenant, la répétition de la mission jouée et les stratégies motivationnelles. Les résultats trouvés sont encourageants et montrent, d'un côté, le bon fonctionnement des éléments conçus dans HeapMotiv et, d'un autre côté, l'impact de ces éléments sur la motivation des apprenants et les possibilités du suivi électro-physiologique. D'autres éléments ne sont pas encore traités et restent à explorer. Nous présenterons

dans le chapitre suivant une conclusion générale pour résumer l'ensemble des contributions faites dans cette étude de la motivation des apprenants dans les jeux sérieux. Nous discuterons aussi de travaux futurs pour étendre la présente étude et de nouvelles perspectives de recherche.

## Chapitre 7 : Conclusion

### 7.1 Contributions

L'impact psychologique et électro-physiologique des jeux sérieux sur la motivation des apprenants était étudié dans cette thèse. Notre but était de définir un outil de mesure objectif et fiable de la motivation dans un tel environnement, de recenser les éléments principaux de la motivation et d'évaluer leur intégration ainsi que les stratégies motivationnelles dans un prototype de jeu sérieux. Les contributions de cette thèse dans le contexte des jeux sérieux sont multiples :

- Nous avons mené une étude empirique formelle pour évaluer la motivation des apprenants dans l'environnement de jeux sérieux. Cette évaluation a été basée sur le modèle ARCS de motivation et de différentes mesures biométriques enregistrées durant la session d'apprentissage. Certaines mesures électro-physiologiques ont caractérisé la motivation des apprenants.
- Nous avons proposé un moyen objectif pour mesurer la motivation en combinant, dans notre approche d'évaluation, le modèle théorique ARCS avec les données électro-physiologiques de la conductivité de la peau, du rythme cardiaque et des signaux cérébraux. L'intégration des mesures biométriques a permis d'aider à distinguer les niveaux de motivation des apprenants durant l'interaction avec les jeux sérieux.
- Nous avons mis en évidence que l'ajout d'un électroencéphalogramme (EEG) aux mesures enregistrées apporte une contribution intéressante dans l'évaluation objective de la motivation des apprenants, malgré la complexité de sa mise en œuvre et de son interprétation. Les autres capteurs physiologiques utilisés (GSR et BVP) ont pointé souvent des changements d'état émotionnel et ont atteint parfois leur limite dans la distinction des niveaux de motivation ou la détection des quelques états mentaux d'attention et d'engagement qui ne sont pas passés inaperçus en utilisant l'EEG.
- Nous avons recensé des situations et des stratégies influençant la motivation des apprenants en se basant sur une correspondance entre les catégories du

modèle ARCS de motivation et les éléments existants dans l'environnement de jeu sérieux choisi. La validation électro-physiologique des différents éléments dégagés a constitué une opportunité pour valider les patrons physiologiques définis, dans une première étape de l'étude expérimentale, en corrélation avec la motivation des apprenants.

- Nous avons conçu et implémenté un jeu sérieux, appelé HeapMotiv, utilisant la 3D dans son environnement global et la 2D dans l'ensemble de ses missions. HeapMotiv porte sur l'apprentissage et la gestion de la structure de données informatique *les tas binaires*.
- Nous avons développé deux versions de notre jeu sérieux: la première incorpore quelques aspects motivationnels dans la conception du jeu et la deuxième constitue une extension de la première version en intégrant un ensemble de stratégies motivationnelles pour agir positivement sur la motivation des apprenants.
- Nous avons discuté l'impact de deux éléments motivationnels : l'expérience antérieure des apprenants et la possibilité de répétition d'une mission donnée. Ceci a été consolidé avec les résultats obtenus de l'expérimentation faite avec la première version de notre jeu HeapMotivV1.
- Nous avons aussi validé l'effet de l'intégration des stratégies motivationnelles dans la deuxième version de notre jeu HeapMotivV2. Cette intégration a amélioré la jouabilité de notre jeu et a augmenté la motivation des apprenants.
- Nous avons proposé un processus de classification basé sur les modèles de Markov cachés (HMM). Ce processus modélise les réactions physiologiques à chacune des stratégies motivationnelles implémentées.
- Nous avons discuté l'apport des stratégies motivationnelles dans le comblement du manque des aspects ludiques dans les missions de notre jeu sérieux. Lors d'une tâche dépourvue d'aspects ludiques, l'utilisation d'une stratégie motivationnelle adéquate atténue la perception de déséquilibre entre le « fun » et le « sérieux » et participe à maintenir un niveau

satisfaisant d'attention et de motivation durant l'accomplissement de la tâche en question. Dès lors, nous proposons aux concepteurs de jeux sérieux d'intégrer suffisamment des stratégies motivationnelles dans la conception de leurs jeux lorsque les ressources humaines et budgétaires les empêchent d'obtenir une jouabilité attrayante.

- Nous avons participé à la réduction de quelques craintes des enseignants et des formateurs en montrant l'utilisation des jeux sérieux dans le soutien de la motivation des apprenants et de l'amélioration de leur performance à l'égard des résultats obtenus.

## 7.2 Limites et futurs travaux

Dans la recherche faite, nous avons identifié deux principales limites. D'une part, nous n'avons pas considéré les dépendances qui pourraient exister entre les quatre catégories motivationnelles du modèle ARCS. Dans l'étape d'évaluation des stratégies motivationnelles, une étude de l'effet des stratégies sur la motivation des apprenants n'est pas facile en se basant principalement sur les scores ARCS reportés, notamment lorsque plus qu'un type de stratégies motivationnelles est appliqué dans une situation donnée. D'autre part, l'analyse EEG basée sur le ratio d'attention Thêta/Bêta1 est limitée par la nature de la tâche en question et la catégorie motivationnelle traitée. Ce ratio a montré son potentiel dans l'étude de la motivation générale et l'attention des apprenants (voir chapitre 4), mais il semble ne pas convenir pour l'étude des autres catégories du modèle ARCS.

Il est évident que des futurs travaux essayeront de répondre aux deux points précédents : étudier la dépendance entre les dimensions du modèle ARCS de motivation et explorer de nouvelles techniques d'analyse de données EEG dans l'évaluation motivationnelle. Aussi, nos travaux peuvent être étendus en un certain nombre de travaux futurs explorant d'autres stratégies motivationnelles dans notre jeu HeapMotiv, améliorant l'intelligence du compagnon « Sinbad » dans le jeu et sa capacité d'assister l'apprenant durant les missions présentées, enrichissant le jeu par d'autres missions pour de nouveaux objectifs pédagogiques, révisant la conception de l'environnement HeapMotiv ainsi que les aspects ergonomiques et ludiques, etc.

Il est aussi important d'intégrer l'ensemble des résultats d'évaluation motivationnelle dans un « motivomètre » du côté du tuteur : c'est un outil d'aide à la décision pour mesurer le niveau de motivation, détecter et identifier les problèmes motivationnels et proposer par conséquence des actions motivationnelles à entreprendre par le tuteur ou le système. Un tel outil se basera sur des processus décisionnels, par exemple markoviens (MDP ou PODMP), pour automatiser et personnaliser son fonctionnement.

Enfin, notre prototype du jeu sérieux HeapMotiv constitue un environnement d'expérimentation pour d'autres recherches portant sur l'étude d'états psycho-physiologiques dans une session d'apprentissage. Dans ce cadre, nous avons collaboré avec d'autres chercheurs, Ramla Ghali et Maher Chaouachi, qui se sont servis de notre système dans une expérience récente (en décembre 2012) afin d'étudier l'état d'engagement des apprenants et de tester les performances d'un nouveau module d'acquisition de données EEG en temps réel développé au sein du laboratoire HERON. Des possibilités d'intégration de nouvelles composantes dans notre système, notamment un module de stratégies d'interventions adaptif en temps réel, seront aussi développées dans des futurs travaux.



## Bibliographie

- Aleven, V. 2010. Rule-Based Cognitive Modeling for Intelligent Tutoring Systems. *In Advances in Intelligent Tutoring Systems*. R. Nkambou, J. Bourdeau, et R. Mizoguchi, eds. Pp. 33-62. Studies in Computational Intelligence: Springer Berlin Heidelberg.
- Aleven, V., McLaren, B. M., Sewall, J., et Koedinger, K. R. 2006. The cognitive tutor authoring tools (CTAT): preliminary evaluation of efficiency gains. *In Proceedings of the 8th international conference on Intelligent Tutoring Systems*. Pp. 61-70. Jhongli, Taiwan: Springer-Verlag.
- Alpaydin, E. 2004. *Introduction To Machine Learning*: Mit Press.
- Alvarez, J. 2007. *Du jeu vidéo au serious game: approches culturelle, pragmatique et formelle*, Université de Toulouse-le-Mirail.
- Alvarez, J., et Michaud, L. 2008. *Serious games: advergaming, edugaming, training and more*. Montpellier, France: IDATE.
- Alzoubi, O., Calvo, R. A., et Stevens, R. H. 2009. Classification of EEG for Affect Recognition: An Adaptive Approach. *In Proceedings of the 22nd Australasian Joint Conference on Advances in Artificial Intelligence*. Pp. 52-61. Melbourne, Australia: Springer-Verlag.
- America's-Army. 2002. U.S. army <http://www.americasarmy.com/>.
- Amory, A., Naicker, K., Vincent, J., et Adams, C. 1999. The use of computer games as an educational tool: identification of appropriate game types and game elements. *British Journal of Educational Technology* 30(4):311-321.
- Anderson, C. A., et Bushman, B. J. 2001. Effects of Violent Video Games on Aggressive Behavior, Aggressive Cognition, Aggressive Affect, Physiological Arousal, and Prosocial Behavior: A Meta-Analytic Review of the Scientific Literature. *Psychological Science* 12(5):353-359.
- Anderson, J. R. 1993. *Rules of the Mind with Mac Dis*: Taylor & Francis Group.
- Anderson, J. R., Boyle, C. F., et Yost, G. 1985. The geometry tutor. *In Proceedings of the 9th international joint conference on Artificial intelligence - Volume 1*. Pp. 1-7. Los Angeles, California: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Anderson, J. R., Conrad, F. G., et Corbett, A. T. 1989. Skill Acquisition and the LISP Tutor. *Cognitive Science* 13(4):467-505.
- Annetta, L. A. 2008. Video Games in Education: Why They Should Be Used and How They Are Being Used. *Theory Into Practice* 47(3):229-239.
- Anohina, A. 2007. Advances in Intelligent Tutoring Systems: Problem-solving Modes and Model of Hints. *International Journal of Computers Communications & Control* 2(1):48-55.

- Anonymous. 1999. Guidelines for digital EEG. *American Journal of Electroneurodiagnostic Technology* 39(4):278-288.
- Arroyo, I., Ferguson, K., Johns, J., Dragon, T., Mehranian, H., Fisher, D., Barto, A., Mahadevan, S., et Woolf, B. 2007. Repairing disengagement with non invasive interventions. *In Proceedings of the 13th International Conference on Artificial Intelligence in Education*. Pp. 195-202. Los Angeles, USA: IOS Press.
- Bagrova, N. D., Korobov, R. N., et Gromov Yu, M. 1984. Informativeness of EEG data in prediction of working capacity of operators. *Hum Physiol* 10(1):18-23.
- Baker, R. S. J. D., Corbett, A. T., Koedinger, K. R., Evenson, S. E., Roll, I., Wagner, A. Z., Naim, M., Raspat, J., Baker, D. J., et Beck, J. 2006. Adapting to When Students Game an Intelligent Tutoring System. *In Proceedings of the 8th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*. Pp. 392-401. Jhongli, Taiwan: Springer.
- Bandura, A. 1976. Social learning perspective on behavior change. *In What makes behavior change possible?* A. Burton, ed. Pp. 34-57. New York: Brunner/Mazel.
- Bandura, A. 1986. *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Barbeau, D. 1994. Analyse de déterminants et d'indicateurs de la motivation scolaire d'élèves du collégial: Cegep de Bois-de-Boulogne.
- Belanich, J., Sibley, D. E., Orvis, K. L., Behavioral, U. S. A. R. I. f. t., et Unit, S. S. A. T. M. R. 2004. *Instructional Characteristics and Motivational Features of a PC-based Game: U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences*.
- Belzile. 2011. Motivation en apprentissage. <http://belzileconseil.blogspot.ca/2011/08/motivation-en-apprentissage.html>.
- Bergeron, B. P. 2008. Learning & retention in adaptive serious games. *Stud Health Technol Inform* 132:26-30.
- Blanchard, E., et Frasson, C. 2007. Un système tutoriel intelligent inspiré des jeux vidéo pour améliorer la motivation de l'apprenant. *Science et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation* 14.
- Boyer, K., Phillips, R., Wallis, M., Vouk, M., et Lester, J. 2008. Balancing Cognitive and Motivational Scaffolding in Tutorial Dialogue. *In Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*. Pp. 239-249. Montreal, Canada: Springer.
- Brandwein, P. 1999. Rethinking How We Do School—and for Whom. *In The Differentiated Classroom: Responding to the Needs of All Learners*. C.A. Tomlinson, ed. Pp. 17-23: Association for Supervision and Curriculum Development.

- Breinholt, G., et Krueger, H. 1999. A tutorial on creating logfiles for event-driven applications. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 31(3):410-415.
- Brophy, J. 2004. Other Ways to Support Students Intrinsic Motivation. *In* *Motivating Students to Learn*. Pp. 220–248. Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bruillard, É. 1997. *Les Machines à enseigner*: Hermès.
- Chaffar, S., Derbali, L., et Frasson, C. 2009a. Inducing positive emotional state in Intelligent Tutoring Systems. *In* *Proceedings of the 2009 conference on Artificial Intelligence in Education: Building Learning Systems that Care: From Knowledge Representation to Affective Modelling*: IOS Press.
- Chaffar, S., Derbali, L., et Frasson, C. 2009b. Towards Emotional Regulation in Intelligent Tutoring Systems. *In* *World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2009*. Vancouver, Canada: AACE.
- Chalfoun, P., Chaffar, S., et Frasson, C. 2006. Predicting the emotional reaction of the learner with a machine learning technique. *Workshop on Motivational and Affective Issues in ITS, ITS'06, International Conference on Intelligent Tutoring Systems, 2006*.
- Chaouachi, M., et Frasson, C. 2012. Mental Workload, Engagement and Emotions: An Exploratory Study for Intelligent Tutoring Systems. *In* *Intelligent Tutoring Systems*. S. Cerri, W. Clancey, G. Papadourakis, et K. Panourgia, eds. Pp. 65-71. *Lecture Notes in Computer Science*: Springer Berlin Heidelberg.
- Cirett Galán, F., et Beal, C. 2012. EEG Estimates of Engagement and Cognitive Workload Predict Math Problem Solving Outcomes. *In* *User Modeling, Adaptation, and Personalization*. J. Masthoff, B. Mobasher, M. Desmarais, et R. Nkambou, eds. Pp. 51-62. *Lecture Notes in Computer Science*: Springer Berlin Heidelberg.
- Cocca, M., et Weibelzahl, S. 2009. Log file analysis for disengagement detection in e-Learning environments. *User Model. User-Adapt. Interact.* 19(4):341-385.
- Cohen, I., Sebe, N., Garg, A., Chen, L. S., et Huang, T. S. 2003. Facial expression recognition from video sequences: temporal and static modeling. *Comput. Vis. Image Underst.* 91(1-2):160-187.
- Collins, A., Brown, J. S., et Holum, A. 1991. Cognitive apprenticeship: making thinking visible. *American Educator* 6(11):38-46.
- Conati, C. 2002. Probabilistic Assessment of User's Emotions in Educational Games. *Applied Artificial Intelligence* 16:555-575.
- Cormen, T., Leiserson, C., Rivest, R., et Stein, C. 2004. *Introduction à l'Algorithmique*. Paris, France: Dunod.

- Corno, L., et Rohrkemper, M. M. 1985. The intrinsic motivation to learn in classroom. *In* Research on motivation in education vol 2 : the classroom milieu. C.A.a.R.C. Ames, ed. Pp. 53-90. New York: Academic press.
- Csikszentmihalyi, M. 1990. Flow : the psychology of optimal experience. New York: Harper & Row.
- Csikszentmihalyi, M. 1993. The evolving self: a psychology for the third millennium: HarperCollins Publishers.
- d'Amato, M. 2011. Nouvelles formes des solidarités : les jeux vidéo. *In* Enfance & Cultures, Actes du colloque international. Paris.
- D'Mello, S., et Graesser, A. 2009. Automatic Detection of Learner's Affect From Gross Body Language. *Applied Artificial Intelligence* 23(2):123-150.
- de Araujo, L. S. 2009. Pratique collaborative dans un environnement immersif : la modélisation 3D avec Second Life. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire* 6(2, 3):80-87.
- de Freitas, S. 2006. Learning in Immersive worlds: A review of game-based learning.
- de Vicente, A., et Pain, H. 2002. Informing the detection of the students' motivational state: an empirical study. *In* Intelligent Tutoring Systems. Pp. 933-943. Berlin, Heidelberg.
- Deci, E. L., et Ryan, R. M. 1985. Intrinsic motivation and self-determination in human behavior. New York: Plenum.
- Demos, J. N. 2005. Getting Started with Neurofeedback. New York: WW Norton & Company.
- Derbali, L., Chalfoun, P., et Frasson, C. 2011a. Assessment of learners' attention while overcoming errors and obstacles: an empirical study. *In* The 15th international conference on Artificial intelligence in education. Auckland, New Zealand: Springer-Verlag.
- Derbali, L., Chalfoun, P., et Frasson, C. 2011b. A Theoretical and Empirical Approach in Assessing Motivational Factors: From Serious Games To an ITS. *In* Florida Artificial Intelligence Research Society Conference. Pp. 513-518. Palm Beach, Florida, USA.
- Derbali, L., et Frasson, C. 2010a. Players' Motivation and EEG Waves Patterns in a Serious Game Environment. *In* The 10th International Conference in Intelligent Tutoring Systems. Pp. 297-299. Pittsburgh, USA: Springer.
- Derbali, L., et Frasson, C. 2010b. Prediction of Players Motivational States Using Electrophysiological Measures during Serious Game Play. *In* The 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies: IEEE Computer Society.
- Derbali, L., et Frasson, C. 2011. Physiological evaluation of attention getting strategies during serious game play. *In* The 15th international conference on Artificial intelligence in education. Auckland, New Zealand: Springer-Verlag.

- Derbali, L., et Frasson, C. 2012a. Assessment of Learners' Motivation during Interactions with Serious Games: A Study of Some Motivational Strategies in Food-Force. *Journal of Advances in Human-Computer Interaction* 2012:15.
- Derbali, L., et Frasson, C. 2012b. Exploring the effects of prior video-game experience on learner's motivation during interactions with heapmotiv. *In Proceedings of the 11th international conference on Intelligent Tutoring Systems*. Pp. 129-134. Chania, Crete, Greece: Springer-Verlag.
- Derbali, L., et Frasson, C. 2012c. Offering Multiple Mission Trials: A Physiological Study of Players' Motivational State. *In The 11th international conference on Intelligent Tutoring Systems - Workshop: Emotion in Games for learning*. Chania, Crete, Greece.
- Derbali, L., Ghali, R., et Frasson, C. 2013. Assessing Motivational Strategies in Serious Games using Hidden Markov Models. *In Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*. St. Pete Beach, Florida, USA: [Accepted].
- Dickey, M. D. 1999. 3D Virtual Worlds and Learning: An Analysis of the Impact of Design Affordances and Limitations in Active Worlds, blaxxun interactive, and OnLive! Traveler; and A Study of the Implementation of Active Worlds for Formal and Information Education, The Ohio State University.
- Dien, J. 1998. Issues in the application of the average reference: Review, critiques, and recommendations. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 30(1):34-43.
- Dietz, T. 1998. An Examination of Violence and Gender Role Portrayals in Video Games: Implications for Gender Socialization and Aggressive Behavior. *Sex Roles* 38(5-6):425-442.
- Dondlinger, M. J. 2007. Educational Video Game Design: A Review of the Literature. *Journal of Applied Educational Technology* 4(1):21-31.
- Ekman, P., et Friesen, W. V. 1978. *Facial Action Coding System: Investigator's Guide*: Consulting Psychologists Press.
- El-Nasr, M. S., Yen, J., et Ioerger, T. R. 2000. FLAME—Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 3(3):219-257.
- Fahlman, S. E. 1979. *NETL, a system for representing and using real-world knowledge*: MIT Press.
- Fairclough, S., et Ewing, K. 2010. EEG and cardiovascular correlates of working memory load and motivation. *International Journal of Psychophysiology* 77(3):282.
- Fenouillet, F., Kaplan, J., et Yennek, N. 2009. Serious Games et motivation. *In Actes de l'Atelier « Jeux sérieux : conceptions et usages », Conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH)*. Pp. 41-52. Le Mans.

- Food-Force. 2005. The UN World Food Programme <http://www.wfp.org/videos/food-force>.
- Gabrielle, D. 2003. The Effects of Technology-Mediated Instructional Strategies on Motivation, Performance, and Self-Directed Learning. *In* World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2003. D. Lassner et C. McNaught, eds. Pp. 2568-2575. Honolulu, Hawaii, USA: AACE.
- Garris, R., Ahlers, R., et Driskell, J. E. 2002. Games, motivation, and learning: a research and practice model. *Simulation & Gaming* 33(4):441-467.
- Gee, J. P. 2003. What video games have to teach us about learning and literacy. *Comput. Entertain.* 1(1):20-20.
- Haag, A., Goronzy, S., Schaich, P., et Williams, J. 2004. Emotion Recognition Using Bio-Sensors: First Steps Towards an Automatic System. *In* Affective Dialogue Systems, Tutorial and Research Workshop, ADS 2004, Kloster Irsee, Germany.
- Halliday, D. M., Rosenberg, J. R., Amjad, A. M., Breeze, P., Conway, B. A., et Farmer, S. F. 1995. A framework for the analysis of mixed time series/point process data—Theory and application to the study of physiological tremor, single motor unit discharges and electromyograms. *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 64(2-3):237-278.
- Hatem, A. 2011. L'art du compliment. <http://les-ressources-du-changement.fr/lart-du-compliment/>.
- Healey, J., et Picard, R. 2000. SmartCar: detecting driver stress. *Pattern Recognition, 2000. Proceedings. 15th International Conference on, 2000. Vol. 4*, pp. 218-221 vol.4.
- Heraz, A., Jraidi, I., Chaouachi, M., et Frasson, C. 2009. Predicting Stress Level Variation from Learner Characteristics and Brainwaves. *Proceeding of the 2009 conference on Artificial Intelligence in Education, 2009*, pp. 722-724. IOS Press.
- Hiam, A. 1999. Motivating with informative feedback. *In* *Motivating and Rewarding Employees: New and Better Ways to Inspire Your People*. Adams Media Corp.
- Horlings, R., Datcu, D., et Rothkrantz, L. J. M. 2008. Emotion recognition using brain activity. *In* *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Systems and Technologies and Workshop for PhD Students in Computing*. Pp. II.1-1. Gabrovo, Bulgaria: ACM.
- Jaques, P. A., Vicari, R. M., Pesty, S., et Bonneville, J.-f. 2004. Applying Affective Tactics for a Better Learning. *In* *Proceedings of the 16th European Conference on Artificial Intelligence*.
- Johnson, W. L., et Wu, S. 2008. Assessing Aptitude for Learning with a Serious Game for Foreign Language and Culture. *Intelligent Tutoring Systems, Montreal, Canada, 2008*, pp. 520-529.

- Juul, J. 2003. The Game, the Player, the World: Looking for a Heart of Gameness. In *Level Up: Digital Games Research Conference, 2003*, pp. 30-45.
- Kasbi, Y. 2012. *Les Serious Games: Une Révolution*: Edipro.
- Keller, J. M. 1987. Development and use of the ARCS model of motivational design. *Journal of Instructional Development* 10(3):2-10.
- Keller, J. M. 2010. *Motivational Design for Learning and Performance: The ARCS Model Approach*: Springer.
- Kirkpatrick, L. A., et Feeney, B. C. 2009. *A Simple Guide to SPSS: For Version 16.0*: Cengage Learning.
- Laird, J. E., et Lent, M. v. 2000. Human-Level AI's Killer Application: Interactive Computer Games. In *Proceedings of the Seventeenth National Conference on Artificial Intelligence and Twelfth Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence*. Pp. 1171-1178: AAAI Press.
- Lambert, J.-F. 1988. Corrélats électroencéphalographiques des états de conscience volontairement modifiés. In *Les relaxations thérapeutiques aujourd'hui: actes du premier Colloque international de relaxation*. M.J. Hissard, ed. Pp. 48-58, Vol. v. 1. Paris: L'Harmattan.
- Lang, P. J. 1995. The emotion probe: Studies of motivation and attention. *American Psychologist* 50(5):372-385.
- Lansbergen, M. M., Arns, M., van Dongen-Boomsma, M., Spronk, D., et Buitelaar, J. K. 2011. The increase in theta/beta ratio on resting-state EEG in boys with attention-deficit/hyperactivity disorder is mediated by slow alpha peak frequency. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry* 35(1):47-52.
- Leman, S., Marcenac, P., et Giroux, S. 1996. Un modèle multi-agents de l'apprenant. *Sciences et Techniques Educatives* 3(4):465-483.
- Levenson, R. W. 2003. Autonomic specificity and emotion. In *Handbook of Affective Sciences*. R.J. Davidson, K.R. Scherer, et H.H. Goldsmith, eds. Pp. 212-224. New York: Oxford University Press.
- Lim, C. P., Nonis, D., et Hedberg, J. 2006. Gaming in a 3D multiuser virtual environment: engaging students in Science lessons. *British Journal of Educational Technology* 37(2):211-231.
- Lin, T., Imamiya, A., Hu, W., et Omata, M. 2007. Display Characteristics Affect Users' Emotional Arousal in 3D Games. *Universal Access in Ambient Intelligence Environments, 2007*. Vol. 4397, pp. 337-351. Springer Berlin / Heidelberg.
- Lin, T., Maejima, A., et Morishima, S. 2008. An Empirical Study of Bringing Audience into the Movie. In *Smart Graphics, 9th International Symposium*. Pp. 70-81. *Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5166*: Springer Berlin / Heidelberg.

- Malmivuo, J., et Plonsey, R. 1995. Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields. <http://www.bem.fi/book/13/13.htm>.
- Malone, T. W., et Lepper, M. R. 1987. Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning. *In* Aptitude learning and instruction. R.E. Snow et M.J. Farr, eds. Pp. 223-253, Vol. 3: Erlbaum.
- Marne, B., Huynh-Kim-Bang, B., et Labat, J.-M. 2011. Articulere motivation et apprentissage grâce aux facettes du jeu sérieux. EIAH 2011 - Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, 2011.
- Maslow, A. H. 1970. Motivation and personality: Harper & Row.
- Mattheiss, E., Kickmeier-Rust, M., Steiner, C., et Albert, D. 2009. Motivation in Game-Based Learning: It's More than 'Flow'. *In* Lernen im Digitalen Zeitalter. A. Schwill et N. Apostolopoulos, eds. Pp. 77-84.
- Michael, D. R., et Chen, S. 2006. Serious games: games that educate, train and inform: Thomson Course Technology.
- Milson, R., Lewis, M. W., et Anderson, J. R. 1990. The TEACHER'S APPRENTICE: Building an algebra tutor. *In* Artificial Intelligence and the Future of Testing. R. Freedle, ed. Pp. 53-71: Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Mitrovic, A., Martin, B., Suraweera, P., Zakharov, K., Milik, N., Holland, J., et Mcguigan, N. 2009. ASPIRE: An Authoring System and Deployment Environment for Constraint-Based Tutors. *Int. J. Artif. Intell. Ed.* 19(2):155-188.
- Mitrovic, A., Mayo, M., Suraweera, P., et Martin, B. 2001. Constraint-Based Tutors: A Success Story. *In* Proceedings of the 14th International conference on Industrial and engineering applications of artificial intelligence and expert systems: engineering of intelligent systems. Pp. 931-940: Springer-Verlag.
- Moreno, R., et Mayer, R. E. 2005. Role of Guidance, Reflection, and Interactivity in an Agent-Based Multimedia Game. *Journal of Educational Psychology* 97(1):117-128.
- Murray, T. 1999. Authoring Intelligent Tutoring Systems: An analysis of the state of the art. *International Journal of Artificial Intelligence in Education (IJAIED)* 10:98-129.
- Nkambou, R., Bourdeau, J., et Mizoguchi, R. 2010. Introduction: What Are Intelligent Tutoring Systems, and Why This Book? *In* Advances in Intelligent Tutoring Systems. R. Nkambou, J. Bourdeau, et R. Mizoguchi, eds. Pp. 1-12. Studies in Computational Intelligence: Springer Berlin Heidelberg.
- Noirhomme, Q., et Lehembre, R. 2011. Électrophysiologie des états de conscience altérée. *In* Coma et états de conscience altérée. Pp. 61-72: Springer Paris.
- Ogre3D. 2001. Vol. 2011: <http://www.ogre3d.org/>.
- Ortony, A., Clore, G. L., et Collins, A. 1990. The Cognitive Structure of Emotions: Cambridge University Press.



- Parke, F. I., et Waters, K. 1996. Computer facial animation: A K Peters.
- Picard, R. W. 1997. Affective computing: MIT Press.
- Picard, R. W., Vyzas, E., et Healey, J. 2001. Toward machine emotional intelligence: analysis of affective physiological state. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE Transactions on 23(10):1175-1191.
- Pintrich, P., et De Groot, E. 1990. Motivational and Self-Regulated Learning Components of Classroom Academic Performance. *Journal of Educational Psychology* 82(1):33-40.
- Prendinger, H., et Ishizuka, M. 2005. The Empathic Companion: A character-based interface that addresses users' affective states. *Applied Artificial Intelligence* 19(3-4):267-285.
- Prendinger, H., Mori, J., Mayer, S., et Ishizuka, M. 2003. Character-based interfaces adapting to users' autonomic nervous system activity. *In Joint Agent Workshop (JAWS'03)*. Pp. 375-380. Awaji, Japan.
- Prensky, M. 2001. *Digital Game-Based Learning*: New York: McGraw Hill.
- ProComp-Infinity. 2009. <http://www.thoughttechnology.com/proinf.htm>: Thought Technology Ltd.
- Provenzo, E. F. 1991. *Video Kids: Making Sense of Nintendo*: Harvard University Press.
- Putman, P., van Peer, J., Maimari, I., et van der Werff, S. 2010. EEG theta/beta ratio in relation to fear-modulated response-inhibition, attentional control, and affective traits. *Biological Psychology* 83:73-78.
- Py, D. 1998. Quelques méthodes d'intelligence artificielle pour la modélisation de l'élève. *Sciences et Techniques Educatives* 5(2):123-140.
- Quillian, M. R. 1968. Semantic memory. *In Semantic information processing*. M. Minsky, ed. Pp. 227-270. Cambridge: MIT press.
- Rabiner, L. R. 1990. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition. *In Readings in speech recognition*. W. Alex et L. Kai-Fu, eds. Pp. 267-296: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Rebolledo-Mendez, G., de Freitas, S., Rojano-Caceres, R., et Gaona-Garcia, A. R. 2010. An empirical examination of the relation between attention and motivation in computer-based education: A modeling approach. *In Proceedings of the Twenty-Third International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*. Pp. 74-79. Florida, USA.
- Ritterfeld, U., Cody, M. J., et Vorderer, P. 2009. *Serious games: mechanisms and effects*. New York/London: Routledge.
- Roberts, G. C., et Treasure, D. C. 1999. Eps interroge des chercheurs en psychologie du sport. *Revue EPS* n°280.
- Roll, I., Baker, R. S., Alevan, V., McLaren, B. M., et Koedinger, K. R. 2005. Modeling students' metacognitive errors in two intelligent tutoring systems. *In*

- Proceedings of the 10th international conference on User Modeling. Pp. 367-376. Edinburgh, UK: Springer-Verlag.
- Roseman, I. J., Spindel, M. S., et Jose, P. E. 1990. Appraisals of Emotion Eliciting Events: Testing a Theory of Discrete Emotions. *Journal of Personality and Social psychology* 59:899-915.
- Ryan, R. M., Rigby, C., et Przybylski, A. 2006. The motivational pull of video games: A self-determination theory approach. *Motivation & Emotion* 30(4):344-360.
- Sandford, R., et Williamson, B. 2005. Games and learning : a handbook from NESTA Futurelab. NESTA Futurelab: Bristol.
- Schutter, D. J., et Van Honk, J. 2005. Electrophysiological ratio markers for the balance between reward and punishment. *Brain Res Cogn Brain Res* 24(3):685-90.
- Schuurink, E., Houtkamp, J., et Toet, A. 2008. Engagement and EMG in Serious Gaming: Experimenting with Sound and Dynamics in the Levee Patroller Training Game. *In Fun and Games*. P. Markopoulos, B. Ruyter, W. Ijsselsteijn, et D. Rowland, eds. Pp. 139-149. Lecture Notes in Computer Science: Springer Berlin Heidelberg.
- Shih, B., Koedinger, K. R., et Scheines, R. 2010. Unsupervised Discovery of Student Strategies. *In The 3rd International Conference on Educational Data Mining*. Pittsburgh, PA, USA.
- Shiri, M. E., Aïmeur, E., et Frasson, C. 1998. Student Modelling by Case Based Reasoning. *In Proceedings of the 4th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*. Pp. 394-403: Springer-Verlag.
- Soldato, T. d., et Boulay, B. d. 1995. Implementation of motivational tactics in tutoring systems. *Journal of Artificial Intelligence in Education* 6(4):337-378.
- Song, S. H., et Keller, J. M. 2001. Effectiveness of motivationally adaptive computer-assisted instruction on the dynamic aspects of motivation. *Educational Technology Research and Development* 49(2):5-22.
- Sowa, J. F. 1984. Conceptual structures: information processing in mind and machine: Addison-Wesley.
- Squire, K. 2003. Video games in education. *International Journal of Intelligent Games & Simulation* 2(1):49-62.
- Szafir, D., et Mutlu, B. 2012. Pay attention!: designing adaptive agents that monitor and improve user engagement. *In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Pp. 11-20. Austin, Texas, USA: ACM.
- Toffoli, D. 2003. Apprendre à apprendre : ça s'apprend. Université de Lille. [http://crl.univ-lille3.fr/apprendre/apprende\\_a\\_apprendre.pdf](http://crl.univ-lille3.fr/apprendre/apprende_a_apprendre.pdf).
- Tsukamoto, M. 2000. Image-Based Pseudo-3D Visualization of Real Space on WWW. *In Digital Cities, Technologies, Experiences, and Future Perspectives* Pp. 288-302: Springer-Verlag.

- Vallerand, R. J., Blais, M. R., Brière, N. M., et Pelletier, L. G. 1989. Construction et validation de l'échelle de motivation en éducation (EME). *Revue canadienne des sciences du comportement* 21(3):323-349.
- Vanlehn, K., Lynch, C., Schulze, K., Shapiro, J. A., Shelby, R., Taylor, L., Treacy, D., Weinstein, A., et Wintersgill, M. 2005. The Andes Physics Tutoring System: Lessons Learned. *Int. J. Artif. Intell. Ed.* 15(3):147-204.
- Velly, L., Pellegrini, L., et Bruder, N. 2012. EEG en réanimation : quelles indications, quel matériel ? *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 31(6):e145-e153.
- Viau, R. 2009. La motivation en contexte scolaire: De Boeck Supérieur.
- Visser, A. J. M. 1998. The Development of motivational communication in distance education support. France: Visser Lya.
- Wastiau, P., Kearney, C., et Berghe, W. V. d. 2009. Quels usages pour les jeux électroniques en classe? Belgique: European Schoolnet [http://games.eun.org/upload/gis-synthesis\\_report\\_fr.pdf](http://games.eun.org/upload/gis-synthesis_report_fr.pdf).
- Webber, C., et Pesty, S. 2002. Emergence de Diagnostic par Formation de Coalitions -- Application au diagnostic des conceptions d'un apprenant. Systèmes multi-agents et systèmes complexes -- ingénierie, résolution de problèmes et simulation -- Actes des JFIADSMA'02, 2002, pp. 45-57. Hermes Science Publications.
- Wenger, E. 1987. Artificial intelligence and tutoring systems: computational and cognitive approaches to the communication of knowledge: Morgan Kaufmann Publishers.
- Wiley, D. 2000. Getting students interested: An integrated approach to Keller's ARCS model of motivational design. *In Instructional Design Project*.
- Wilson, G. F., et Fisher, F. 1995. Cognitive task classification based upon topographic EEG data. *Biological Psychology* 40:239-250.
- Wolf, B., Burleson, W., Arroyo, I., Dragon, T., Cooper, D., et Picard, R. 2009. Affect aware tutors: recognising and responding to student affect. *International Journal of Learning Technology* 4(3/4):129-164.
- Zyda, M. 2005. From visual simulation to virtual reality to games. *Computer* 38(9):25-32.



## Annexe A : Questionnaire IMMS

### IMMS Short Form

(Keller 1987, traduction libre)

1. La manière dont les informations sont présentées a permis de maintenir mon attention.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*
2. Cette mission me paraissait intéressante.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*
3. Cette mission a suscité ma curiosité.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*
4. Le style de présentation de l'information est ennuyeux.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*
5. Achever cette mission avec succès était important pour moi.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*
6. Le lien entre le contenu de cette mission et la réalité est clair pour moi.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*
7. Le contenu de la mission n'est pas en accord avec mes centres d'intérêts.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*
8. Les histoires, les images et les exemples m'ont montré l'importance de cette tâche dans la réalité.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*

9. La manière dont l'information a été organisée laisse l'apprentissage facile dans cette mission.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*
10. La tâche était trop difficile.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*
11. J'ai pu comprendre la plupart des tâches de cette mission.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*
12. Je suis convaincu que je serais en mesure de passer un test d'évaluation de cette mission après avoir la finaliser.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*
13. Les commentaires du compagnon au cours de cette mission ont mis en valeur mes efforts.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*
14. Remplir cette mission m'a donné entière satisfaction.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*
15. Je n'ai pas trouvé cette mission bien conçue.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*
16. Ce fut un plaisir de jouer cette mission.  
*Pas du tout d'accord* ← 1 2 3 4 5 → *Tout à fait d'accord*

## Annexe B : Processus de classification

### Code source en langage R avec utilisation du toolbox HMM

```
1 #####
2 # Les HMM initiaux
3 #####
4 cat("#####\n")
5 cat("Initialisation\n")
6 cat("#####\n")
7 hmm_A = initHMM(c("L", "H"), c("o1", "o2", "o3", "o4", "o5", "o6", "o7", "o8"),
8               transProbs=matrix(scan("initHMM/HMM_attention", nlines=4, skip=1), 2),
9               emissionProbs=matrix(scan("initHMM/HMM_attention", nlines=16, skip=6), 2))
10 hmm_R = initHMM(c("L", "H"), c("o1", "o2", "o3", "o4", "o5", "o6", "o7", "o8"),
11               transProbs=matrix(scan("initHMM/HMM_relevance", nlines=4, skip=1), 2),
12               emissionProbs=matrix(scan("initHMM/HMM_relevance", nlines=16, skip=6), 2))
13 hmm_C = initHMM(c("L", "H"), c("o1", "o2", "o3", "o4", "o5", "o6", "o7", "o8"),
14               transProbs=matrix(scan("initHMM/HMM_confidence", nlines=4, skip=1), 2),
15               emissionProbs=matrix(scan("initHMM/HMM_confidence", nlines=16, skip=6), 2))
16 hmm_S = initHMM(c("L", "H"), c("o1", "o2", "o3", "o4", "o5", "o6", "o7", "o8"),
17               transProbs=matrix(scan("initHMM/HMM_satisfaction", nlines=4, skip=1), 2),
18               emissionProbs=matrix(scan("initHMM/HMM_satisfaction", nlines=16, skip=6), 2))
19 monfichierT=c("resultsA1.txt", "resultsR1.txt", "resultsC1.txt", "resultsS1.txt")
20 monfichier=c("resultsA2.txt", "resultsR2.txt", "resultsC2.txt", "resultsS2.txt")
21 bestval=c(0,0,0,0)
22 bestvalT=c(0,0,0,0)
23
24 #####
25 # Sequences d'observations
26 #####
27 cat("#####\n")
28 cat("Observations\n")
29 cat("#####\n")
30 observations_A=matrix(scan(file_obs[1], nlines=file_partition[1], what=" "), file_partition[1])
31 observations_R=matrix(scan(file_obs[2], nlines=file_partition[2], what=" "), file_partition[2])
32 observations_C=matrix(scan(file_obs[3], nlines=file_partition[3], what=" "), file_partition[3])
33 observations_S=matrix(scan(file_obs[4], nlines=file_partition[4], what=" "), file_partition[4])
34
35 #####
36 # Algorithme Baum-Welch
37 #####
38 cat("#####\n")
39 cat("Apprentissage\n")
40 cat("#####\n")
41 bw_A = baumWelch(hmm_A, observations_A, 10)
42 bw_R = baumWelch(hmm_R, observations_R, 10)
43 bw_C = baumWelch(hmm_C, observations_C, 10)
44 bw_S = baumWelch(hmm_S, observations_S, 10)
45
```

```

46 #####
47 # Algorithme forward-backward
48 #####
49 cat("#####\n")
50 cat("Calcul des probabilités\n")
51 cat("#####\n")
52 categ=c("A", "R", "C", "S")
53 recall=c(0,0,0,0)
54 z=c(0,0,0,0)
55 cmpt=c(0,0,0,0)
56 recallI=c(0,0,0,0)
57 zI=c(0,0,0,0)
58 cmptI=c(0,0,0,0)
59 for(current in 1:4) {
60     numobs=file_numobs[current]
61     #####
62     #Apprentissage
63     #####
64     for(j in 0:file_partition[current]-1) {
65         obs=c(scan(file_obs[current],nlines=1, skip=j, what=" "))
66         logForwardProb_A = forward(bw_A$hmm,obs)
67         logForwardProb_R = forward(bw_R$hmm,obs)
68         logForwardProb_C = forward(bw_C$hmm,obs)
69         logForwardProb_S = forward(bw_S$hmm,obs)
70         x=c(exp(logForwardProb_A[1,numobs])+exp(logForwardProb_A[2,numobs]),
71             exp(logForwardProb_R[1,numobs])+exp(logForwardProb_R[2,numobs]),
72             exp(logForwardProb_C[1,numobs])+exp(logForwardProb_C[2,numobs]),
73             exp(logForwardProb_S[1,numobs])+exp(logForwardProb_S[2,numobs]))
74         y=sort(x, decreasing = TRUE)
75         if (x[current]==y[1]) {cmptI[current]=cmptI[current]+1}
76         for(i in 1:4){
77             if(x[i]==y[1]) {zI[i]=zI[i]+1}
78         }
79     }
80     recallI[current]=cmptI[current]/file_partition[current]
81     #####
82     #Validation
83     #####
84     for(j in file_partition[current]:file_size[current]-1) {
85         obs=c(scan(file_obs[current],nlines=1, skip=j, what=" "))
86         logForwardProb_A = forward(bw_A$hmm,obs)
87         logForwardProb_R = forward(bw_R$hmm,obs)
88         logForwardProb_C = forward(bw_C$hmm,obs)
89         logForwardProb_S = forward(bw_S$hmm,obs)
90         x=c(exp(logForwardProb_A[1,numobs])+exp(logForwardProb_A[2,numobs]),
91             exp(logForwardProb_R[1,numobs])+exp(logForwardProb_R[2,numobs]),
92             exp(logForwardProb_C[1,numobs])+exp(logForwardProb_C[2,numobs]),
93             exp(logForwardProb_S[1,numobs])+exp(logForwardProb_S[2,numobs]))
94         y=sort(x, decreasing = TRUE)
95         if (x[current]==y[1]) {cmpt[current]=cmpt[current]+1}
96         for(i in 1:4){
97             if(x[i]==y[1]) {z[i]=z[i]+1}
98         }
99     }
100     recall[current]=cmpt[current]/(file_size[current]-file_partition[current])
101 }
102

```



```
#####  
104 # Calcul des statistiques  
105 #####  
106 for(i in 1:4){  
107   precision=0  
108   if (zT[i]>0){precision=cmtT[i]/zT[i]}  
109   curval=0  
110   if((precision>0)|(recallT[i]>0)) {curval=(2*precision*recallT[i])/(precision+recallT[i])}  
111   if(curval > bestvalT[i]){  
112     bestvalT[i] = curval  
113     fileConn<-file(monfichierT[i],"a")  
114     writeLines(as.character(recallT[i]), fileConn, sep="\t")  
115     writeLines(as.character(precision), fileConn, sep="\t")  
116     writeLines("", fileConn)  
117     close(fileConn)  
118   }  
119   precision=0  
120   if (z[i]>0){precision=cmt[i]/z[i]}  
121   curval=0  
122   if((precision>0)|(recall[i]>0)) {curval=(2*precision*recall[i])/(precision+recall[i])}  
123   if(curval > bestval[i]){  
124     bestval[i] = curval  
125     fileConn<-file(monfichier[i],"a")  
126     writeLines(as.character(recall[i]), fileConn, sep="\t")  
127     writeLines(as.character(precision), fileConn, sep="\t")  
128     writeLines("", fileConn)  
129     close(fileConn)  
130   }  
131 }  
132
```