

AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ

UNIVERSITÉ DE LA MANOUBA

École Doctorale en Mathématiques et Informatique de Marseille

École Nationale des Sciences de L'Informatique (ENSI)

Laboratoire d'Informatique et des Systèmes (LIS)

LABoratoire de Recherche en Intelligence Artificielle (LARIA)

Thèse présentée pour obtenir le grade universitaire de docteur

Discipline : Informatique

Ibtissem DAOUDI

De l'évaluation à l'adaptation d'un environnement de jeu sérieux :
application à la gestion de crise

Soutenue le 15/12/2020 devant le jury composé de :

Mme Rim FAIZ	Université de Carthage	Présidente du Jury
Mme Maha KHEMAJA	Université de Sousse	Rapporteuse
M. Chihab HANACHI	Université de Toulouse 1	Rapporteur
Mme Julie DUGDALE	Université de Grenoble Alpes	Examinatrice
M. Bernard ESPINASSE	Aix Marseille Université	Directeur de thèse
Mme Wided LEJOUAD CHAARI	Université de la Manouba	Directrice de thèse
M. Erwan TRANVOUEZ	Aix Marseille Université	Co-encadrant de thèse
Mme Raoudha CHEBIL	Université de la Manouba	Co-encadrante de thèse



Cette oeuvre est mise à disposition selon les termes de la [Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International](#).

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

*A ma très chère mère Mabrouka qui n'a jamais manqué de tendresse,
d'affection et d'encouragement envers moi.*

*A mon très cher père Mokhtar qui m'a aidé à être autonome dans ma
vie et à trouver mon chemin.*

*A mes chères soeurs Iness, Imen et Ilhem pour leur amour et leur
précieuse présence.*

A mon cher beau-frère Hichem pour ses nombreux encouragements.

*A mes petits neveux Mohammed, Chahd, Rawen et Fatma, merci
d'avoir égayé ma vie.*

*A toute ma famille, tous mes amis et tous ceux qui ont contribué de
près ou de loin pour que cette thèse aboutisse : je vous dis tous merci.*

Ibtissem

Remerciements

Il me sera très difficile de remercier tout le monde car c'est grâce à l'aide de nombreuses personnes que j'ai pu mener cette thèse à son terme. Ce travail de thèse était fructueux en résultats et riche en rencontres, échanges, partages, réflexions, collaborations, apprentissages et épreuves.

Je remercie en premier lieu Madame *Rim Faiz*, Professeur à l'Université de Carthage, de l'honneur qu'elle m'a accordé en acceptant d'examiner ma thèse et de présider le jury de ma soutenance.

Je remercie également Monsieur *Chihab Hanachi* Professeur à l'Université de Toulouse 1, ainsi que Madame *Maha Khemaja*, Maître de Conférences à l'Université de Sousse, de l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être rapporteurs de cette thèse et d'être membres du jury de ma soutenance de thèse.

Je tiens à remercier aussi Madame *Julie Dugdale*, Maître de Conférences HDR à l'Université de Grenoble Alpes, pour l'honneur qu'elle m'a accordé en acceptant d'examiner mon travail et de faire partie du jury de ma soutenance de thèse.

J'adresse mes plus vifs remerciements à mon directeur de thèse Français, Monsieur *Bernard Espinasse*, Professeur à Aix-Marseille Université pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant de me diriger tout au long de ces trois années de thèse, sa disponibilité, sa gentillesse, et ses nombreux conseils avisés. Ça a été et ce sera toujours un grand plaisir et un honneur de travailler avec lui.

Je suis très honorée à remercier ma directrice de thèse Tunisienne, Madame *Wided Lejouad Chaari*, Professeur à l'Université de la Manouba pour ses recommandations pendant le déroulement de la thèse qui ont été pour moi une source d'inspiration continue. Merci infiniment pour votre direction, votre enthousiasme, et votre soutien constant durant les périodes de doute.

La réalisation de cette thèse est l'aboutissement de mes études universitaires. Le point clé de mon parcours dans le domaine de la recherche fut le projet de fin d'études où ma co-encadrante de thèse, Madame *Raoudha Chebil* Maître Assistante à l'Université de la Manouba, a accepté de m'encadrer pour un travail d'étude et de recherche au sein de l'École Nationale des Sciences de l'Informatique (ENSI). La réalisation de cette thèse en est la suite logique. Grâce à elle,

mon intérêt à la recherche scientifique dans le domaine de jeux sérieux s'est éveillé. Pour son suivi régulier, ses efforts, et la qualité de l'encadrement dont elle m'a fait bénéficier durant mon projet de fin d'études et ma thèse, je la remercie avec la plus profonde sincérité. C'est une grande chance de pouvoir travailler avec une personne ayant ses qualités scientifiques et humaines.

Avec un immense plaisir et une grande reconnaissance, je voudrais remercier mon co-encadrant de thèse Monsieur *Erwan Tranvouez*, Maître de Conférences à Aix-Marseille Université, pour l'énorme soutien autant scientifique que moral qu'il a su m'adresser pendant toute la durée de mon travail doctoral. C'est grâce à lui que j'ai pu concilier avec bonheur recherche théorique et appliquée pendant cette thèse. Je lui dois beaucoup et je tiens à lui exprimer ma reconnaissance de m'avoir généreusement transmis son savoir et savoir-faire. Je suis ravie d'avoir travaillé en sa compagnie car outre son appui scientifique, il a toujours été à l'écoute de mes questions, et s'est toujours intéressé à l'avancée de mes travaux sans oublier les nombreux encouragements qu'il m'a prodigués.

Je tiens à remercier aussi l'entreprise *EVERSIM (Simulation Serious Games)* et plus particulièrement son responsable commercial, Monsieur *Louis-Marie Rocques*, pour le prêt de la plate-forme iScen ainsi que son aide pour la réalisation des scénarios. Ce travail n'aurait jamais pu être réalisé sans sa coopération.

Ce travail doit également à d'autres personnes avec qui j'ai pu échanger lors de séminaires et de rencontres. Je souhaite donc remercier grandement Madame *Patrícia Augustin Jaques*, Professeur à l'Université de la Vallée du Rio dos Sinos (Brésil), pour toutes nos discussions très stimulantes et ses retours constructifs qui m'ont accompagnée tout au long de mon parcours doctoral. Une pensée particulière s'adresse à Madame *Magalie Ochs*, Maître de Conférences HDR à Aix-Marseille Université, qui n'a pas hésité à me prodiguer son aide chaque fois que j'ai sollicité ses compétences. Ce travail ne serait pas aussi riche sans ses conseils.

Merci aux étudiants de l'ENSI que j'ai co-encadré dans des projets de conception et de développement faisant partie de mon travail de thèse.

Merci aussi aux collègues et amis rencontrés au cours de ces années et qui m'ont apporté de nombreux moments de détente et de réconfort. Entre autres *Youssef, Ameni, Sophia, Salma, Fatma, Hiba, Maha, Emna, et Marwa*.

Enfin, ce travail a été rendu possible grâce aux contributions financières du *gouvernement tunisien*. Merci d'avoir financé mes séjours en France durant ma thèse en cotutelle. Un grand merci aussi à l'*Agence Universitaire de la Francophonie* et l'*École Doctorale de Marseille ED 184* qui ont financé mes séjours à l'étranger notamment au Maroc et en Grèce dans le cadre des conférences internationales.

Table des matières

Introduction générale	1
I ÉTAT DE L'ART	6
1 Jeux sérieux et gestion de crise	7
1.1 Introduction	7
1.2 Présentation du concept de jeux sérieux	8
1.2.1 Définitions	8
1.2.2 Domaines d'application	9
1.2.3 Classifications existantes	13
1.2.4 Positionnement	15
1.3 Proposition d'une nouvelle classification des jeux sérieux	18
1.3.1 Nouvelle classification des jeux sérieux	18
1.3.2 Portail Web associé à la classification proposée	20
1.4 Gestion de crise : domaine privilégié d'application de jeux sérieux	21
1.4.1 Définition de la gestion de crise	22
1.4.2 Enjeux et spécificités de la formation à la gestion de crise	23
1.5 Jeux sérieux de gestion de crise	24
1.5.1 Exemples représentatifs	25
1.5.2 Évaluation des joueurs dans les jeux sérieux de gestion de crise	27
1.6 Conclusion	28
2 Évaluation des jeux sérieux de gestion de crise : une revue systématique de la littérature	29
2.1 Introduction	29
2.2 Méthode de recherche : revue systématique de la littérature	30
2.2.1 Questions de recherche	31
2.2.2 Termes de recherche	31
2.2.3 Base de données de recherche	32
2.2.4 Critères d'inclusion et d'exclusion	32
2.2.5 Diagramme de PRISMA Flow	33
2.3 Synthèse des travaux d'évaluation dans les jeux sérieux de gestion de crise	34
2.3.1 Concept de l'évaluation	34
2.3.2 Étude bibliographique	36

2.3.3	Travaux représentatifs	42
2.4	Discussion	44
2.4.1	Critique de l'existant	44
2.4.2	Solution proposée et objectif	47
2.5	Conclusion	48

II CONTRIBUTIONS 49

3	Un cadre théorique pour l'évaluation des apprenants dans les jeux sérieux de gestion de crise	50
3.1	Introduction	50
3.2	Contexte théorique	51
3.2.1	Informatique affective et émotions	51
3.2.2	Théorie du Flow	55
3.2.3	Modèle de déséquilibre cognitif	56
3.2.4	Fouille de données éducatives	58
3.3	Le concept de facette d'évaluation	59
3.3.1	Facette pédagogique	61
3.3.2	Facette émotionnelle	61
3.3.3	Facette sociale	61
3.4	Grille d'analyse multicritères pour la caractérisation et l'évaluation des JSGC	62
3.5	Cadre théorique pour l'évaluation individuelle et collective dans les JSGC basé sur les états émotionnels	64
3.5.1	Architecture générale du cadre proposé	64
3.5.2	Processus d'évaluation émotionnelle individuelle	67
3.5.3	Processus d'évaluation collective	67
3.6	Conclusion	69
4	Approche d'évaluation des apprenants dans les jeux sérieux de gestion de crise : mise en oeuvre du cadre théorique	70
4.1	Introduction	71
4.2	Méthode d'évaluation de la facette sociale	71
4.2.1	Vue générale de la méthode d'évaluation de la facette sociale	71
4.2.2	Modélisation du réseau social d'apprentissage	73
4.2.3	Évaluation quantitative du réseau social	75
4.2.4	Évaluation qualitative des interactions sociales	79
4.3	Méthode d'évaluation de la facette émotionnelle	86
4.3.1	Vue générale de la méthode d'évaluation de la facette émotionnelle	86
4.3.2	Collecte et annotation des données	88
4.3.3	Fusion des données collectées	91

4.3.4	Analyse des données	92
4.3.5	Visualisation des données	94
4.4	Conclusion	96
5	Validation expérimentale	98
5.1	Introduction	98
5.2	Présentation et caractérisation de la plate-forme iScen	99
5.2.1	Description générale et architecture logicielle	99
5.2.2	Analyse fonctionnelle	101
5.2.3	Bilan	105
5.3	Présentation d'un exemple de scénario de gestion de crise et sa gamification	105
5.3.1	Définition générale d'un scénario de gestion de crise	106
5.3.2	Procédure d'évacuation	107
5.3.3	Gamification de la procédure d'évacuation	110
5.4	Validation expérimentale	113
5.4.1	Protocole expérimental	114
5.4.2	Déroulement de l'expérimentation	116
5.4.3	Interfaces principales du jeu	116
5.4.4	Post-évaluation	120
5.5	Résultats obtenus et discussions	121
5.5.1	Résultats de l'évaluation de la facette sociale	121
5.5.2	Résultats de l'évaluation de la facette émotionnelle	127
5.6	Conclusion	131
6	De l'évaluation à l'adaptation d'un jeu sérieux	132
6.1	Introduction	132
6.2	Vers l'adaptation des jeux sérieux	133
6.2.1	Définition du concept d'adaptation	133
6.2.2	Types d'adaptation	134
6.2.3	Processus d'adaptation des jeux sérieux	136
6.3	Illustration d'une adaptation avec la plate-forme iScen	139
6.3.1	Décomposition d'iScen selon l'architecture MVC	139
6.3.2	Illustration de l'adaptation proposée	139
6.4	Conclusion	142
	Conclusion générale	143
	Liste des publications liées à la thèse	148
	Annexe 1	159
	Annexe 2	169

Liste des figures

1.1	Domaines d'application des jeux sérieux	10
1.2	Les différents critères de la classification G/P/S	15
1.3	Du jeu vidéo au jeu sérieux	16
1.4	Positionnement du jeu sérieux	17
1.5	Page d'accueil du portail Web	20
1.6	Espace de recommandation du portail Web	21
2.1	Étapes de la revue selon le protocole PRISMA	33
2.2	Évaluation formative Vs Évaluation sommative	35
2.3	Taxonomie des techniques d'évaluation	39
2.4	Notre approche d'évaluation dans les JSGC	48
3.1	Emotions basiques d'Ekman	52
3.2	Modèle bi-dimensionnel de Russell	53
3.3	Notre taxonomie de l'informatique affective	54
3.4	Diagramme de la théorie du Flow	56
3.5	Modèle de déséquilibre cognitif	57
3.6	Notre taxonomie de la fouille de données éducatives (EDM)	59
3.7	Grille d'analyse multicritères pour la caractérisation et l'évaluation des jeux sérieux de gestion de crise	63
3.8	Architecture globale du cadre théorique proposé	65
3.9	Cadre théorique pour l'évaluation individuelle et collective dans les JSGC basé sur les états émotionnels	66
4.1	Méthode d'évaluation de la facette sociale proposée	73
4.2	Exemple de calcul du demi-degré sortant	76
4.3	Exemple de calcul du demi-degré entrant	76
4.4	Exemple de calcul des degrés de centralité des noeuds d'un graphe	77
4.5	Exemple de calcul de densité du réseau	77
4.6	Exemple général d'une relation entre deux acteurs	83
4.7	Construction du graphe de référence à partir du modèle métier	84
4.8	Exemple de comparaison des graphes de dialogue de référence et réel	85
4.9	Méthode d'évaluation de la facette émotionnelle proposée	87
4.10	Le framework Openface 2.0	89
4.11	Modèle d'arbre de décision de l'émotion de groupe	95
5.1	Architecture logicielle d'iScen	100

5.2	Interface de la plate-forme iScen	101
5.3	Méta-modèle général pour la caractérisation d'iScen	102
5.4	Méta-modèle pour la caractérisation des objets d'iScen	103
5.5	Modèle de processus BPMN simplifié de la procédure d'évacuation .	109
5.6	Schéma simplifié de la gamification de la procédure d'évacuation . .	112
5.7	Évolution du feu dans iScen	113
5.8	Notre protocole expérimental	114
5.9	Création d'un serveur iScen	117
5.10	Propriétés du scénario	117
5.11	Rejoindre un serveur iScen	118
5.12	Interface du rôle responsable de sécurité	118
5.13	Interface du rôle coordinateur	119
5.14	Simulation d'incendie dans iScen	119
5.15	Interface du jeu durant la session de formation	120
5.16	Graphe de communication	122
5.17	Degrés d'influence des joueurs $d^+(n)$	123
5.18	Degrés d'importance des joueurs $d^-(n)$	123
5.19	Degrés de centralité des joueurs $Cd(n)$	123
5.20	Diagramme de séquences UML du scénario expert d'évacuation . .	124
5.21	Graphe de dialogue de référence du scénario d'évacuation modélisant les interactions et les actions nécessaires	125
5.22	Vision globale des états affectifs individuels des joueurs	129
6.1	Schéma général des cibles d'adaptation dans un jeu sérieux	135
6.2	Schéma simplifié du processus d'adaptation d'un jeu sérieux	137
6.3	Illustration proposée pour l'adaptation de la plate-forme iScen . . .	141
6.4	Diagramme du Flow et les adaptations proposées selon les réactions émotionnelles du joueur	142

Liste des tableaux

1.1	Exemples de jeux sérieux	12
1.2	Critères caractérisant l'aspect " <i>sérieux</i> " et l'aspect " <i>jeu</i> "	19
1.3	Exemples de jeux sérieux de gestion de crise	26
2.1	Critères d'inclusion et d'exclusion	32
2.2	Les différents critères d'évaluation	37
2.3	Tableau récapitulatif d'une liste représentative de travaux d'évaluation dans les JSGC	44
2.4	Tableau comparatif des travaux d'évaluation dans les JSGC	45
4.1	Récapitulatif et interprétations possibles des mesures de communication et de coordination	79
4.2	Niveaux d'évaluation qualitative des interactions sociales	82
4.3	Liste des UAF et leurs descriptions [9]	90
4.4	Liste des UAF en fonction des émotions basiques [44]	91
4.5	Correspondance proposée entre émotions basiques et états affectifs	94
5.1	Les différents rôles et leurs activités dans la procédure d'évacuation	108
5.2	Évaluation qualitative des interactions sociales	126
5.3	Transitions entre états affectifs	128
5.4	Statistiques descriptives pour les dimensions du core module du questionnaire GEQ	130

Introduction générale

Contexte général de la thèse

Notre travail s'inscrit dans le domaine des *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain* (EIAH) et plus précisément le domaine des *Jeux Sérieux* (JS). L'intérêt porté aujourd'hui aux JS est le fruit de plusieurs travaux qui cherchent à singulariser et à crédibiliser ce domaine [53]. Les jeux sérieux traduisent une convergence de plusieurs domaines préexistants comme les environnements d'apprentissage virtuels, les jeux éducationnels, la simulation et les jeux vidéo [95]. Cette convergence s'est faite autour d'un principe fondateur qui se traduit par la prise en compte simultanée et cohérente d'aspects dits *sérieux*, pour des fins d'apprentissage, de communication ou d'information ; et d'aspects dits *ludiques* issus des jeux vidéo, qui mettent l'accent sur la motivation et l'engagement des apprenants-joueurs [6]. Ces aspects contribuent à l'efficacité et à l'acceptation du JS et représentent des enjeux cruciaux pour son succès. Leur usage se justifie notamment dans des contextes d'apprentissage particuliers multi-joueurs [68], multi-compétences [19] ou scolaires [52].

La versalité des usages des jeux sérieux les amènent à répondre à des besoins variés (formation, sensibilisation, publicité) et touchant plusieurs domaines d'application (apprentissage scolaire/universitaire, ressources humaines, commerce) [99]. Un domaine privilégié d'application des JS est celui de la *Gestion de Crise* (GC) où le jeu forme ses utilisateurs à agir et prendre les bonnes décisions dans une situation de crise simulée dans un environnement immersif tout en réduisant les coûts et en gagnant du temps. La popularité de ce domaine réside dans l'exploration de divers types de crises à savoir les catastrophes naturelles, les attaques terroristes, et les accidents nucléaires ou industriels. Chacune de ces crises implique différents rôles comme les pompiers, les policiers, et les intervenants de l'unité médicale ayant des comportements collaboratifs tels que le sauvetage des victimes, la sécurisation des interventions, l'évacuation et la prise de décision de groupe [30]. Dans la littérature, il existe plusieurs travaux d'évaluation basée sur des critères qui se focalisent sur les *Jeux Sérieux de Gestion de Crise* (JSGC). L'évaluation des JSGC collaboratifs est particulièrement intéressante car ceux-ci sont basés sur une hétérogénéité des compétences et des émotions ainsi que des interactions sociales constituant ainsi un champ de recherche riche. C'est exactement le contexte principal de notre travail qui vise à proposer une nouvelle approche d'évaluation et d'adaptation des JSGC collaboratifs en tenant compte

de plusieurs critères à la fois dans le but d'améliorer leur efficacité.

Cadre doctoral

Le travail présenté dans ce manuscrit s'inscrit dans le cadre d'une cotutelle de thèse entre le *Laboratoire de Recherche en Intelligence Artificielle (LARIA)* de l'*École Nationale des Sciences de l'Informatique (ENSI)* relevant de l'*Université de La Manouba-Tunisie* et le *Laboratoire d'Informatique et Systèmes (LIS) CNRS UMR 7020* (équipe d'accueil Recherche d'Information et Interactions) relevant d'*Aix-Marseille Université-France*. Il s'agit d'une collaboration permettant de joindre les expériences des deux laboratoires dans le but d'apporter des contributions dans le domaine des JS. En effet, notre équipe de travail au sein du laboratoire LARIA a abordé les JS dans le cadre de mon projet de fin d'études d'ingénieur en informatique intitulé "*Simulation multi-agents d'un jeu sérieux*" [28] dont l'objectif consiste à implémenter un simulateur de jeux sérieux permettant aux enseignants d'étudier la faisabilité d'intégrer un JS dans le processus d'enseignement d'un module particulier. En ce qui concerne notre équipe dans le laboratoire LIS, les travaux sur les jeux sérieux ont commencé dans le cadre de la thèse de *M'hamed Ali Oulhaci* qui avait pour objectif principal d'évaluer l'apprentissage humain (multi-compétences et multi-joueurs) en utilisant les systèmes multi-agents [68]. Par ailleurs, notre travail a fait l'objet d'une collaboration avec l'entreprise française *EVERSIM* qui nous a fourni une plate-forme de développement de JSGC appelée *IScen*. Cette entreprise est spécialisée dans la conception et le développement de jeux de simulation, de stratégie, et de rôle, fonctionnant en réseau. Ses produits sont destinés au grand public, ainsi qu'aux professionnels des secteurs de la défense ou de la sécurité pour l'apprentissage et l'entraînement.

Problématique de recherche et objectif principal

Outre les questions classiques en EIAH que posent la conception d'un environnement d'apprentissage (scénario pédagogique, représentation des connaissances etc.), les JS ciblent particulièrement des objectifs d'expérience de jeu et d'engagement qui doivent être assurés quel que soit le profil des joueurs. Face à ces contraintes, les JS se partagent entre deux types d'applications :

- Des applications à coût réduit rapidement développées, peu adaptatives et répondant à des objectifs d'apprentissage simple (on peut citer par exemple le scénario pédagogique figé, le scénario ayant un objectif de sensibilisation sans entrer dans des compétences complexes procédurales ou analytiques) ;
- Des applications plus ambitieuses en termes d'apprentissage, de simulation et d'adaptation mais aux coûts de développement plus importants et par conséquent plus risqués en termes de succès (bien que ne relevant pas des jeux sérieux, on peut évoquer par exemple les capacités de simulation

dans les environnements d'apprentissage de gestion de crise utilisés par les Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS)).

Dans les deux cas, et toutes les situations intermédiaires, se pose la question de l'efficacité du rendu en termes d'apprentissage et d'engagement. En d'autres termes, émerge le besoin d'évaluer tout d'abord l'adéquation d'un apprentissage particulier à être transposé sous forme de JS, ensuite d'améliorer ses performances, en termes d'apprentissage et d'expérience de jeu, en tenant compte des profils des joueurs. Cette prise en compte de la personnalisation de l'apprentissage, est rendue nécessaire par la diversité des profils cognitifs (compétences, connaissances), émotionnels (engagement, frustration) et sociaux (le degré d'interaction avec les autres joueurs). Paradoxalement cette dimension d'adaptation constitue un frein à la fois par sa présence et son absence : par la complexité supplémentaire qu'elle induit (augmentation des coûts de développement et les risques d'échec) et par le manque de personnalisation lorsqu'elle est absente. En particulier, et malgré son grand intérêt, l'intégration du concept de JSGC dans les processus de formation reste limitée et n'est pas toujours une garantie de son efficacité. Comme tout système d'apprentissage, les JSGC reposent sur l'alignement implicite des *attendus pédagogiques* (connaissances ou compétences) et de *l'expérience de jeu* (motivation, satisfaction, engagement) [11]. En réalité, l'efficacité des JSGC collaboratifs dépend de différents aspects caractérisant les apprenants à savoir : *l'aspect social* (communication, coordination, collaboration), *l'aspect émotionnel* (ennui, frustration, engagement, stress), et *l'aspect cognitif* (compétences, connaissances) [30].

C'est exactement à partir de ces constatations que sont nés les travaux sur *l'évaluation des JSGC* qui constituent actuellement un domaine de recherche en pleine effervescence [88][61]. Plusieurs travaux ont été proposés pour évaluer l'efficacité des JSGC en adoptant différentes méthodes d'évaluation basées sur certains critères spécifiques [30]. En effet, l'évaluation de ces environnements est un processus complexe qui doit prendre en compte de nombreux paramètres à la fois, notamment l'historique des activités du joueur, le contexte d'apprentissage, le profil du joueur et les objectifs pédagogiques du jeu [47]. Cette complexité augmente dans le cas des *JS multi-joueurs collaboratifs* puisqu'il devient nécessaire de prendre en compte les interactions entre les différents joueurs. Ainsi, l'évaluation et l'adaptation des JSGC dans un contexte d'apprentissage multi-apprenants en interaction complexifient encore ces objectifs de par l'hétérogénéité des connaissances, compétences [69] et des émotions ressenties [50]. Tous ces éléments affectent le bon déroulement d'un jeu et ainsi l'apprentissage des joueurs.

Afin de répondre à cette problématique et en nous intéressant aux JSGC collaboratifs, l'objectif principal de cette thèse consiste à proposer une *nouvelle ap-*

proche pour l'évaluation individuelle et collective des apprenants, et du jeu sérieux en tant que tel tout en prenant en compte les critères de succès les plus pertinents. Les résultats de ce travail doivent permettre l'adaptation du jeu sérieux aux profils détectés des joueurs et ainsi l'amélioration de l'efficacité des JS pour la formation à la gestion de crise.

Structure du manuscrit

Ce manuscrit s'articule autour de six chapitres : les deux premiers chapitres présentent un état de l'art, et les chapitres suivants développent nos contributions.

Le premier chapitre consiste en une présentation générale des jeux sérieux ainsi que leurs concepts sous-jacents. Il commence par une présentation du concept de JS ainsi que ses domaines d'application et les classifications existantes. Puis, il introduit notre proposition d'une nouvelle classification de JS ainsi que sa mise en oeuvre, et se termine par une description du domaine de gestion de crise et des jeux sérieux dudit domaine.

Le deuxième chapitre se focalise sur les travaux d'évaluation des JSGC. Il commence par une synthèse des travaux les plus représentatifs de cette thématique, réalisée en se basant sur la méthode de recherche "*revue systématique de la littérature*", et est suivi d'une analyse et d'une critique de ceux-ci.

Le troisième chapitre porte sur la présentation de notre première contribution pour répondre à la problématique de recherche. Cette contribution consiste à proposer un cadre théorique pour l'évaluation individuelle et collective des apprenants dans les JSGC. Ce cadre théorique est basé sur une grille d'analyse détaillant les différents critères et les indicateurs permettant de les mesurer. Ces critères peuvent être classés selon trois facettes d'évaluation : pédagogique, émotionnelle et sociale.

Le quatrième chapitre introduit notre deuxième contribution consistant en une approche d'évaluation des apprenants composée de deux méthodes d'évaluation des facettes sociale et émotionnelle. Cette approche est développée en utilisant plusieurs techniques et algorithmes de l'intelligence artificielle et de la fouille de données éducatives.

Le cinquième chapitre présente un scénario de validation. Le scénario de l'exercice concerne la procédure d'évacuation d'un établissement en cas d'incendie. Nous avons gamifié/ludifié ce scénario en utilisant une plate-forme de développement de JSGC appelée "*iScen*". Les résultats de l'exercice réalisé par plusieurs participants humains sont discutés et analysés pour mieux comprendre

leurs comportements.

Le sixième chapitre vise à introduire l'adaptation dans les jeux sérieux et à proposer une illustration d'une adaptation dans notre contexte en exploitant les résultats d'évaluation obtenus.

Ce manuscrit est clôturé par une conclusion générale qui résume le travail réalisé et présente ses perspectives.

Partie I

ÉTAT DE L'ART

1. Jeux sérieux et gestion de crise

Sommaire

1.1	Introduction	7
1.2	Présentation du concept de jeux sérieux	8
1.2.1	Définitions	8
1.2.2	Domaines d'application	9
1.2.3	Classifications existantes	13
1.2.4	Positionnement	15
1.3	Proposition d'une nouvelle classification des jeux sérieux	18
1.3.1	Nouvelle classification des jeux sérieux	18
1.3.2	Portail Web associé à la classification proposée	20
1.4	Gestion de crise : domaine privilégié d'application de jeux sérieux	21
1.4.1	Définition de la gestion de crise	22
1.4.2	Enjeux et spécificités de la formation à la gestion de crise	23
1.5	Jeux sérieux de gestion de crise	24
1.5.1	Exemples représentatifs	25
1.5.2	Évaluation des joueurs dans les jeux sérieux de gestion de crise	27
1.6	Conclusion	28

1.1. Introduction

Notre objectif, dans ce premier chapitre, est de présenter et d'étudier les principaux concepts clé liés à notre contexte de recherche. A cet effet, nous commençons par une présentation générale du concept de jeux sérieux. Ensuite, dans la deuxième section, nous proposons une nouvelle classification des jeux sérieux et sa mise en oeuvre sous forme d'une application Web. Puis, nous présentons le domaine d'application assez répandu pour les jeux sérieux qui est la gestion de crise. Enfin, nous détaillons quelques exemples représentatifs de jeux sérieux de gestion de crise tout en soulignant l'intérêt de l'évaluation des joueurs et son importance dans les environnements virtuels pour la formation à la gestion de crise.

1.2. Présentation du concept de jeux sérieux

L'objectif de cette section est de situer les jeux sérieux par rapport aux jeux vidéo, simulateurs et applications utilitaires. Pour cela, nous commençons par la présentation de quelques définitions existantes de ce concept de jeux sérieux ; puis nous proposons une nouvelle définition traduisant notre vision des jeux sérieux que nous adoptons. Ensuite, nous effectuons un survol sur les domaines d'application des jeux sérieux ainsi que quelques exemples illustratifs de ceux-ci. Enfin, nous présentons les classifications existantes des jeux sérieux, et nous tentons de positionner le jeu sérieux par rapport aux concepts qui lui sont proches.

1.2.1. Définitions

Une revue de littérature a été effectuée afin de voir comment les spécialistes du domaine définissent le terme "*jeu sérieux*" (en anglais "*serious game*"). Parmi la multitude de définitions répertoriées, nous en avons sélectionné cinq qui résument l'essentiel de ce qu'est le jeu sérieux. La première définition rencontrée est celle de Clark Abt tirée de son ouvrage publié en 1970 [1]. Dans cet ouvrage, le chercheur ne caractérise pas le jeu sérieux en tant qu'application informatique, mais, en faisant le lien entre la possibilité d'apprendre "sérieusement" tout en jouant [1]. L'expression "*jeu sérieux*" est utilisée plutôt pour désigner tout jeu de cartes ou de plateau conçu à des fins éducatives.

Actuellement, le terme "*jeu sérieux*" est généralement utilisé dans un contexte informatique plus marqué et caractérise une gamme de jeux vidéo bien plus large que le simple jeu éducatif. En effet, la définition la plus générale est celle des concepteurs de jeux Sandra Chen et David Michael qui présente le jeu sérieux comme étant : "*jeux dont la finalité première n'est pas le simple divertissement*" [63]. En même temps, le professeur Michael Zyda propose une définition plus spécifique dans son article "*From Visual Simulation to Virtual Reality to Games*" qui présente le jeu sérieux comme étant : "*un défi cérébral, joué avec un ordinateur selon des règles spécifiques, qui utilise le divertissement en tant que valeur ajoutée pour la formation et l'entraînement dans les milieux institutionnels ou privés, dans les domaines de l'éducation, de la santé, de la sécurité civile, ainsi qu'à des fins de stratégie de communication*" [99].

De son côté, l'industriel Ben Sawyer, co-directeur du "*Serious Game Initiative*" explique que celui-ci permet de "*créer des plate-formes informatiques réalisées par des développeurs, des chercheurs et des industriels, qui observent l'utilisation des jeux vidéos et des technologies associées en dehors du divertissement*" [83]. Julian Alvarez, chercheur et concepteur de jeux sérieux, a énoncé lui aussi dans le cadre de sa thèse sa définition de ce nouveau type de jeu. Il le caractérise ainsi comme étant : "*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). Une telle association, qui s'opère par l'implémentation d'un scénario pédagogique, qui sur le plan informatique correspondrait à implémenter un habillage (sonore et graphique), une histoire et des règles idoines, a donc pour but de s'écarter du simple divertissement. Cet écart semble indexé sur la prégnance du scénario pédagogique" [6]. Cette dernière définition se résume par la mise en relation suivante [6] :

**Jeu sérieux = scénario utilitaire (dimension sérieuse) + jeu vidéo
(dimension vidéo-ludique)**

En résumé, nous avons un ensemble de définitions formalisant ce qu'est le jeu sérieux. Bien qu'elles soient différentes, ces définitions convergent toutes vers un aspect commun : celui de rendre ludique la compréhension d'une donnée et/ou d'une information pour atteindre des objectifs d'éducation et/ou de formation. C'est pour cette raison que nous proposons de les fusionner pour formaliser la définition suivante du jeu sérieux : "*application informatique développée à partir des technologies et modalités scénaristiques du jeu vidéo (3D temps réel, mécaniques de jeu, interaction homme-machine, techniques de simulation et d'immersion etc.) pour les mettre au service d'objectifs pédagogiques tels que la formation/l'entraînement, l'éducation/l'enseignement, la communication, l'information, ou encore l'acquisition de compétences/connaissances dans des domaines d'application variés comme la santé, la défense et la gestion des urgences. Il s'agit alors d'un jeu dont le but ne se résume pas au simple divertissement mais surtout à des finalités utiles*" [30].

Cette définition met en évidence les caractéristiques suivantes d'un jeu sérieux :

- Il maintient l'équilibre entre le plaisir de jouer d'une part et l'aspect apprentissage (pédagogique) d'autre part ;
- Il vise à atteindre de multiples objectifs pédagogiques tels que l'enseignement, la formation, et l'éducation.
- Il est utilisé dans nombreux domaines comme la santé, la défense, et l'armée.
- Il est destiné à toutes les tranches d'âge, y compris les enfants, les adolescents, les adultes, et les personnes âgées.

Dans la sous-section suivante, nous nous focalisons sur les domaines d'application des jeux sérieux.

1.2.2. Domaines d'application

La définition de Zyda [99], présentée dans la section 1.2.1, met en évidence la diversité des champs d'application dans lesquels les jeux sérieux peuvent être

employés. Zyda a dressé un diagramme pour cerner les différents domaines d'application du jeu sérieux. Ce diagramme, comme le montre la figure 1.1, couvre des domaines variés et diversifiés tels que l'entraînement et la simulation, la communication stratégique, la santé, la défense, la formation et l'éducation, l'évaluation par le jeu, et bien d'autres encore [99]. Sandra Chen et David Michael y ajoutent les domaines de la politique, de la société, de la religion, de l'art et de l'industrie/l'entreprise [63]. Cette diversité semblant s'accroître continuellement, Alvarez et ses collègues ajoutent à leur tour beaucoup d'autres secteurs à savoir : le militaire, le marketing, l'écologie, l'information et la communication, la publicité, la culture, et la recherche scientifique [32].

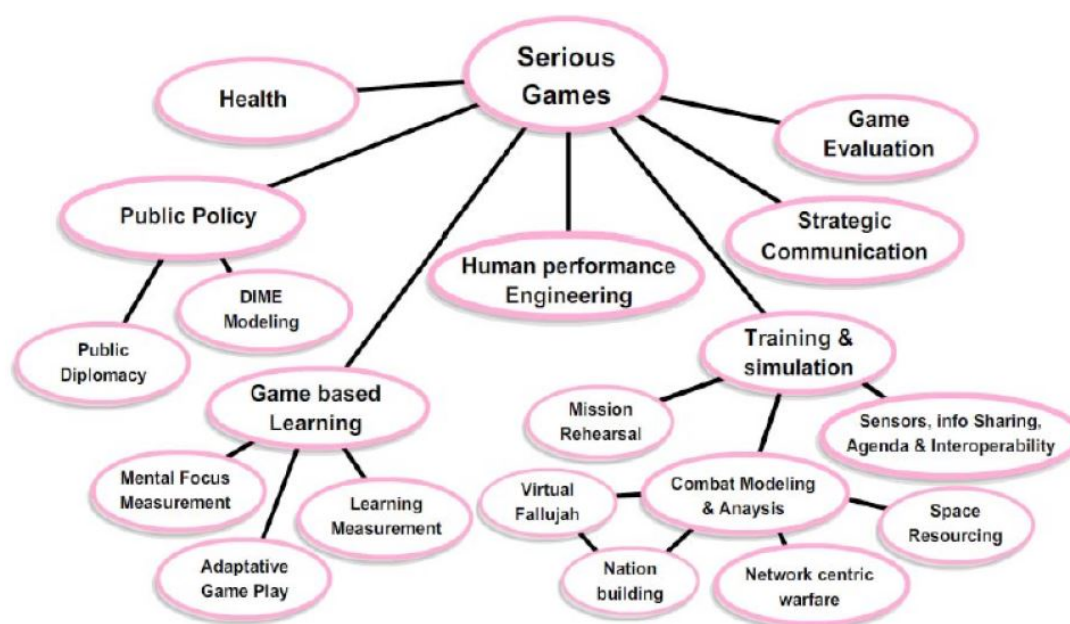


FIGURE 1.1. – Domaines d'application des jeux sérieux selon Zyda [99]

Nous remarquons que les exemples d'applications de jeux sérieux ne cessent de se multiplier ; et nous pouvons affirmer que ces types de jeux peuvent s'appliquer à tous les domaines à condition de combiner à la fois, et avec cohérence, la dimension ludique issue du jeu vidéo et la dimension sérieuse issue du scénario utilitaire. Dans ce cadre, plusieurs jeux sérieux ont été conçus et développés pour former, enseigner, et sensibiliser ses utilisateurs dans des domaines d'application différents. Afin d'illustrer cette hétérogénéité, nous présentons dans ce qui suit des exemples incontournables de jeux sérieux.

- **"America's Army"**¹ : c'est un jeu développé par l'institut MOVES (Modeling, Virtual Environments, and Simulation) du Naval Postgraduate School

1. <https://www.americasarmy.com/>

de Monterey, Californie (États-Unis) et sorti en 2002. Le jeu est conçu afin de valoriser l'image de l'armée américaine et de sensibiliser le grand public à découvrir la réalité des exercices d'entraînements militaires et des missions de combat. Ben Sawyer déclare que *"America's Army fut le premier serious game bien réalisé et ayant rencontré du succès auprès du grand public"* [83]. De ce fait, il était à l'origine de l'expansion du domaine des jeux sérieux. Il s'agit bien d'un jeu de simulation militaire ayant un objectif de marketing précis. Le jeu est disponible gratuitement sur le réseau Internet et considéré parmi les dix jeux d'action les plus populaires joués en ligne. Nous considérons alors America's Army comme une référence de jeux sérieux.

- **"Food-Force"**² : c'est un jeu de stratégie sorti en 2005 et présenté comme le premier jeu vidéo humanitaire éducatif. Il s'agit d'une initiative du Programme Alimentaire Mondial des Nations Unies (PAMNU) pour sensibiliser les jeunes adolescents à la crise alimentaire (problème de la faim) dans les pays en voie de développement. Créé en 3D, on se retrouve parmi une équipe en route pour l'île de Sheylan, une île fictive dans l'Océan Indien, où 6 missions réalistes couvrant toutes les activités du programme alimentaire mondial (achat et livraison de nourriture, gestion des apports caloriques, du budget, etc.) consistent à alimenter un plus grand nombre de personnes avec des budgets limités. Le jeu est téléchargeable gratuitement en ligne.
- **"Terrabilis"**³ : c'est un jeu sérieux développé par l'entreprise d'édition de jeux de société Sly Frog Games et sorti en 2011. Terrabilis est le premier jeu de gestion et de stratégie semi-coopératif sur le développement durable à destination du grand public. L'objectif du jeu consiste à sensibiliser au développement durable à l'échelle mondiale en reliant les notions d'économie, de qualité de vie, d'énergie, d'empreinte écologique, de solidarité, et de responsabilité individuelle et collective. C'est un jeu gratuit et accessible en ligne.
- **"3D Virtual Operating Room"**⁴ : c'est un jeu de simulation 3D multi-joueurs développé en 2013 par des chercheurs de l'Université Champollion (Albi), ainsi que des médecins des Hôpitaux de Toulouse en partenariat avec la société KTM Advance et Novamotion. L'objectif du jeu est de former et d'entraîner les professionnels de santé intervenant en bloc opératoire à gérer des risques médicaux et à prévenir des événements indésirables graves. Son originalité est de proposer un entraînement collaboratif et des outils de débriefing pour le formateur et ses élèves.

Le tableau 1.1 récapitule les principales caractéristiques des jeux sérieux cités précédemment.

2. <http://www.mission-humanitaire.fr/food-force-un-jeu-gratuit-a-telecharger/>

3. <http://www.jeu-terrabilis.com/terrabilis/>

4. <http://3dvor.univ-jfc.fr/>

Nom du jeu sérieux	Développeur et année	Domaine	Objectif	Spécificité
America's Army	Institut MOVES, 2002	Armée	Découvrir les exercices d'entraînements et les missions de combat	Premier jeu ayant rencontré du succès auprès du grand public
Food-Force	PAMNU, 2005	Éducation	Sensibiliser les adolescents au problème de faim	Premier jeu vidéo humanitaire éducatif
Terrabilis	Sly Frog Games, 2011	Écologie	Sensibiliser le grand public aux notions d'économie, d'énergie, etc.	Premier jeu de gestion et de stratégie sur le développement durable
3D Virtual Operating Room	Université Champollion et la société KTM Advance et Novamotion, 2013	Santé et recherche scientifique	Former les professionnels de santé à gérer des risques médicaux	Premier jeu proposant un entraînement collaboratif et des outils de débriefing

TABLE 1.1. – Exemples de jeux sérieux

Face à la grande diversité des jeux sérieux ainsi que leurs domaines d'application, plusieurs approches ont été élaborées pour tenter de les classer selon différents critères. La sous-section suivante est consacrée à la classification des jeux sérieux.

1.2.3. Classifications existantes

La classification des jeux sérieux ne peut pas se baser uniquement sur le *domaine d'application* (appelé aussi le *marché* ou encore le *secteur*) car il y a d'autres critères très importants qu'il faut prendre en compte. En effet, les champs d'application sont trop nombreux pour pouvoir construire une typologie robuste. De plus, le système qui se focalise sur les secteurs d'application ne prend pas en considération le type de finalité visée par chaque jeu. Nous présentons dans ce qui suit deux classifications différentes des jeux sérieux.

La première classification, proposée par Alvarez [6], distingue les jeux sérieux selon l'intention initiale souhaitée et implémentée par les concepteurs. Elle répertorie les cinq catégories suivantes :

- **Les jeux éducatifs (Edugame)** : le terme "*jeu éducatif*" nous renvoie au terme anglais "*edugame*" (pour "*education*" et "*game*"). Un jeu éducatif vise à transmettre une connaissance ou un apprentissage en mobilisant des ressorts ludiques [6] comme le jeu éducatif "*Smart Grids*" qui propose une découverte des réseaux intelligents, et le jeu "*Arcademic Skill Builders*" qui permet aux jeunes élèves de 3 à 8 ans de compléter leur enseignement (en mathématiques) de manière ludique.
- **Les jeux publicitaires (Advergaming)** : le terme "*advergaming*" combine deux mots anglais "*advertising*" (publicité) et "*game*" (jeu). L'objectif des jeux publicitaires est de se baser sur la technologie interactive et la jouabilité des jeux vidéo pour en faire un outil de communication en diffusant un message publicitaire destiné aux consommateurs [6]. L'idée étant de libérer le joueur de l'apprentissage du gameplay pour qu'il se focalise sur les éléments graphiques ou sonores. Ces derniers véhiculent des marques que l'on souhaite mettre en valeur. Citons le jeu "*Milka Biscuit Saga*" comme exemple qui est un jeu permettant à "Milka" de promouvoir sa marque, ses valeurs et ses produits. Citons aussi, le jeu "*La Chuuuuute*" visant à mettre en valeur la marque "Oasis", une marque à l'identité visuelle bien définie.
- **Les jeux de marché (Edumarket game)** : le terme "*edumarket*" désigne le jeu dont l'intention est d'éduquer sur un type de marché. Cette catégorie désigne les jeux sérieux dont l'intention est d'informer, ou tout au moins de sensibiliser les utilisateurs à un message socio-éducatif [6]. Cette forme différente de communication permet de modifier la sensibilité des publics afin qu'ils appréhendent avec plus d'aisance les enjeux sociaux. Par exemple le jeu "*Food-Force*" dont la vocation est de sensibiliser les enfants aux missions

humanitaires que mènent les Nations Unies dans leurs combats quotidiens contre la famine. "*S.O.S. Mission Eau*" est un autre exemple de jeux de marché destiné aux enfants de 7 à 11 ans pour les initier au fonctionnement des réseaux et infrastructures de gestion d'eau potable.

- **Les jeux engagés (Political game)** : ces jeux sérieux expriment des messages de nature politique, religieuse ou militaire. Pour y parvenir, cette catégorie a pour objectif de détourner les règles classiques des jeux vidéo ou leurs aspects graphiques et sonores afin d'interpeller les joueurs. Citons l'exemple de "*Save The Peoples*" qui tente d'envoyer un message anti-guerre où le joueur doit sauver les civils des zones critiques en les guidant vers une tente de base. "*People Power : The Game of Civil Resistance*" est un autre exemple de jeux engagés qui oppose le joueur, incarnant un mouvement populaire non-violent, à un régime contrôlé par l'ordinateur. La lutte s'inscrit dans des scénarios différents comme la dictature, l'occupation, la défense des droits des minorités, la corruption, etc.
- **Les jeux d'entraînement et de simulation (Training and simulation game)** : ces jeux ont pour vocation de permettre à l'utilisateur de s'entraîner à exécuter une tâche donnée ou d'étudier un phénomène s'inspirant du réel qui a été reproduit dans un environnement virtuel [6]. A titre d'exemple, nous citons le jeu "*Security Game*" destiné aux collaborateurs d'entreprises désireuses de sensibiliser leurs employés aux nombreux risques encourus avec l'utilisation omniprésente d'Internet (la cybersécurité). "*Granualts Game*" est un autre exemple de jeux d'entraînement et de simulation permettant de mesurer les risques au sein d'une carrière d'exploitation.

Si la dimension ludique a pour objectif de procurer du plaisir, il reste à cerner les fonctions associées à la dimension sérieuse. Pour cela, la recherche référencée par [32] propose une autre classification prenant en compte les dimensions ludique et sérieuse des jeux sérieux de manière simultanée en se basant sur les trois critères suivants :

- **Jouabilité (Gameplay)** : ce critère renseigne sur la dimension ludique en définissant toutes les activités et stratégies de jeux vidéo mises en oeuvre pour maintenir l'engagement et la motivation du joueur tout au long de la session de jeu.
- **Intention (Purpose)** : ce critère couvre la finalité du jeu sérieux. Il renseigne sur la ou les fonctions utiles dépassant le "simple divertissement" comme la diffusion d'un message éducatif, l'entraînement et l'échange des biens.
- **Secteur (Scope)** : ce critère est basé sur les domaines d'application visés par le jeu sérieux. Il informe sur le type de public (marché et âge) que le concepteur cherche à cibler.

Ces trois critères forment le modèle "G/P/S" permettant ainsi de classifier les jeux sérieux à la fois par leur dimension ludique (*Gameplay*) et leur dimension sérieuse (*Purpose & Scope*) [32]. Afin d'opérationnaliser cette classification, une spécification détaillée de ces trois critères a été décrite comme le montre la figure 1.2.

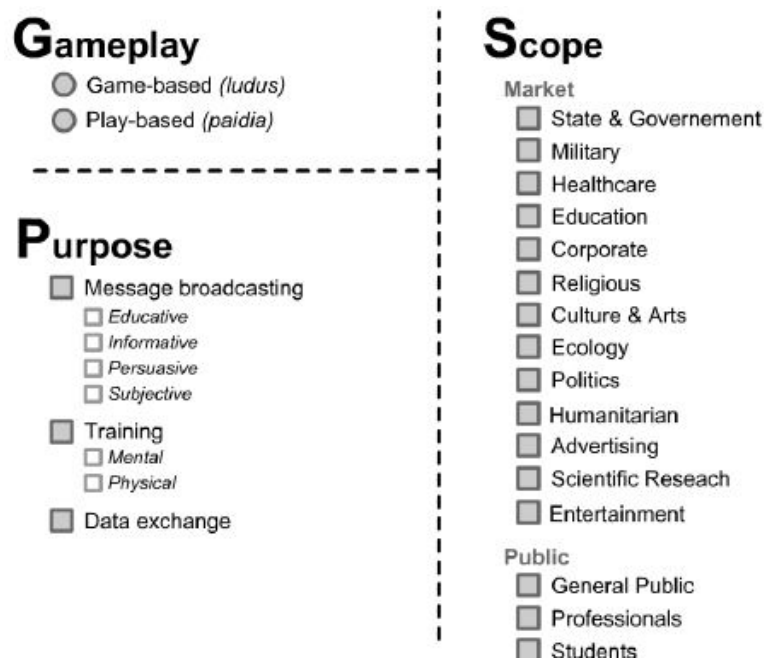


FIGURE 1.2. – Les différents critères de la classification G/P/S [32]

Il est à noter qu'aucun consensus ne semble être établi autour d'une classification unique pour les jeux sérieux qui ne cessent d'évoluer de jour en jour. À ce stade, après avoir présenté les différentes classifications existantes, il apparaît indispensable de positionner le jeu sérieux par rapport aux *jeux vidéo*, *simulateurs* et *applications utilitaires*.

1.2.4. Positionnement

L'introduction des nouvelles technologies de l'information et de la communication par les différentes générations de consoles et d'ordinateurs a permis la conception et le développement de *jeux vidéo* et de *simulateurs* de plus en plus innovants. Cette exploitation commune de ces technologies rend la distinction de ces deux types d'application parfois floue. Les nouveaux logiciels qui sont les *jeux sérieux* accentuent encore cette confusion [66].

Afin de positionner les *jeux sérieux* vis-à-vis des *jeux vidéo*, Zyda [99] a proposé un modèle de jeu sérieux basé sur une extension du jeu vidéo classique, comme

le montre la figure 1.3. En effet, il suppose que le jeu vidéo se compose essentiellement de trois éléments à savoir l'histoire (*story*), l'art (*art*) et le génie logiciel (*software*). Une équipe (*team*) s'occupe de la réalisation de chaque composant, par exemple l'équipe de conception (*design team*) s'occupe de la conception du scénario ou l'histoire du jeu. Après, Zyda a intégré la dimension pédagogique qui formalise l'ensemble des activités permettant d'éduquer et d'instruire une connaissance et/ou une compétence particulière. Cette intégration rend le jeu vidéo plus "sérieux" favorisant ainsi l'apprentissage des apprenants-joueurs. La pédagogie impliquée doit toutefois être liée à l'histoire du jeu (*story*) pour atteindre un objectif bien déterminé. Un jeu sérieux doit alors équilibrer ses deux composantes "divertissante" et "sérieuse".

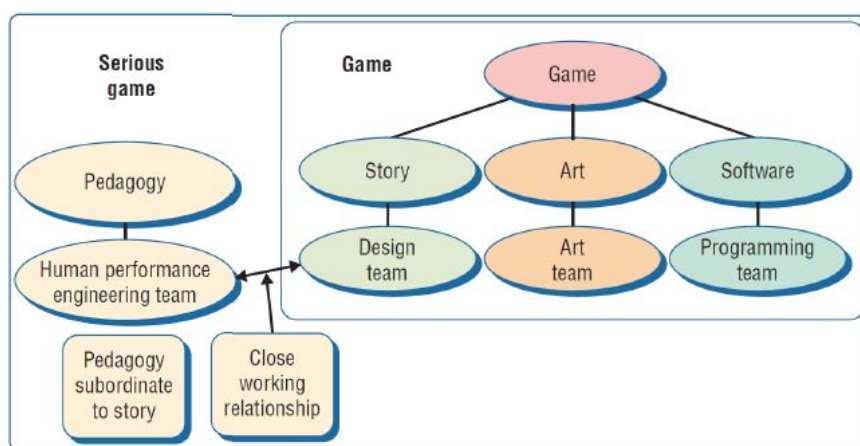


FIGURE 1.3. – Du jeu vidéo au jeu sérieux [99]

Après avoir exposé la différence entre un jeu sérieux et un jeu vidéo, nous allons maintenant à établir une distinction claire entre les concepts *jeu sérieux* et *simulateur*. En effet, les *simulateurs* représentent des logiciels multimédias interactifs avec des éléments dynamiques contrôlés par l'utilisateur et permettent de reproduire artificiellement un fonctionnement d'un phénomène réel [30]. Mais, ils ne comportent pas la dimension ludique d'un jeu sérieux (mécaniques de jeu) et surtout ne contiennent pas un scénario utilitaire supportant la dimension pédagogique. La présence d'un instructeur est alors nécessaire pour exposer notamment le contexte et les objectifs pédagogiques à atteindre. Ainsi, les simulateurs et les jeux sérieux sont très différents dans leurs buts. Alors qu'un simulateur est conçu à des fins d'évaluation ou de calcul, un jeu sérieux est conçu à des fins de divertissement et d'apprentissage où l'utilisateur a un but précis à atteindre [66].

Afin d'illustrer clairement les différences entre ces types d'applications, nous reprenons l'exemple du plus célèbre des jeux sérieux à savoir "America's Army".

Cette application peut être considérée comme un *jeu vidéo* quand elle est téléchargée et jouée pour sa composante ludique ou divertissante. "America's Army" peut être considéré aussi comme un *jeu sérieux* lorsqu'il est utilisé comme outil de recrutement ; et comme un *simulateur* quand il est intégré dans les stages d'entraînement militaire. Ainsi, il est possible de considérer le jeu sérieux comme un concept pouvant avoir des interférences (intersections) avec ceux de jeux vidéo et de simulateurs. Ils possèdent la composante ludique des jeux vidéo tout en proposant, parfois, une simulation d'une situation réelle de formation ou d'apprentissage. Cependant, dans certains cas les frontières entre ces trois concepts restent encore floues [66].

D'un autre côté, la recherche référencée par [6] propose de distinguer quatre concepts clés liés aux jeux sérieux à savoir :

- **Le serious game (jeu sérieux)** : il désigne un jeu vidéo ayant été créé à des fins pédagogiques ou utilitaires.
- **Le serious gaming** : il est un concept plus global définissant le détournement de jeux vidéo à des fins pédagogiques, c'est à dire le fait de détourner un jeu vidéo existant pour en faire un outil "sérieux".
- **La gamification ou la ludification** : elle consiste à transposer les mécaniques du jeu vidéo dans un domaine non-ludique pour résoudre des problèmes de la vie réelle. Elle vise alors à rendre plus ludiques des activités qui ne sont pas considérées comme des jeux.
- **L'application utilitaire** : elle est un logiciel mettant uniquement l'accent sur la dimension sérieuse.

Le *serious gaming* englobe alors les jeux vidéo ainsi que les approches de "détournement vidéo-ludique" qui permettent à un jeu donné de servir des finalités sérieuses non anticipées par ses concepteurs [6]. Le schéma représenté par la figure 1.4 illustre les relations entre ces différents concepts.

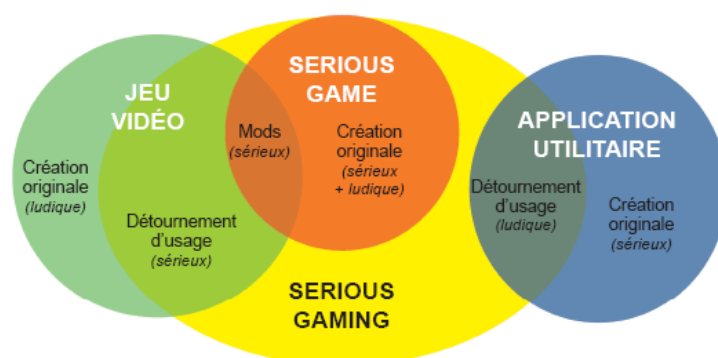


FIGURE 1.4. – Positionnement du jeu sérieux [6]

Pour résumer, dans la première section nous avons commencé par introduire le concept de "*jeu sérieux*" en détaillant les définitions les plus utilisées, et nous avons proposé notre propre définition. Puis, nous avons abordé les différents domaines d'application des jeux sérieux avec quelques exemples représentatifs. Ensuite, nous avons présenté les différentes classifications existantes des jeux sérieux. Finalement, nous avons mis en exergue plusieurs concepts clés liés aux jeux sérieux à savoir : le *jeu vidéo*, le *simulateur*, le *serious gaming*, et la *gamification* ainsi que leur positionnement.

La section suivante est consacrée à la présentation d'une classification des jeux sérieux que nous proposons et sa mise en oeuvre sous forme d'une application Web.

1.3. Proposition d'une nouvelle classification des jeux sérieux

Aujourd'hui, de nombreux jeux sérieux ayant différentes caractéristiques sont développés et intégrés dans des sessions de formation. Cependant, malgré son grand intérêt le concept de jeu sérieux reste très peu exploité dans les processus d'enseignement scolaire et universitaire. Très souvent, les enseignants sont réticents envers l'intégration du jeu sérieux dans leurs cours même si les approches traditionnelles d'enseignement sont de moins en moins acceptées par les élèves. Notre idée consiste alors à proposer une nouvelle classification des jeux sérieux, et la mettre en oeuvre pour qu'elle soit disponible sur internet et exploitable par les personnes travaillant dans ce domaine.

Dans cette section, nous commençons par présenter la nouvelle classification proposée constituant un cadre d'analyse général des jeux sérieux. Puis, nous exposons sa mise en oeuvre sous forme d'un portail Web dans le but de valoriser l'usage des jeux sérieux en offrant un point d'entrée pour les nouveaux publics.

1.3.1. Nouvelle classification des jeux sérieux

La classification des jeux sérieux proposée vise à identifier des critères liés à l'aspect "*sérieux*" ou à l'aspect "*jeu*" de cet environnement. Les critères qui caractérisent l'aspect "*sérieux*" sont par exemple le *domaine d'application* (santé, éducation, écologie etc.), le *contexte d'apprentissage* (compétences techniques liées au domaine ou/et compétences non-techniques) ainsi que les *objectifs pédagogiques (finalité d'usage)* (sensibilisation à une problématique donnée, transmission des informations/connaissances, développement d'une compétence). Les critères qui caractérisent l'aspect "*jeu*" sont par exemple la *nature* (mono-joueur ou multi-joueurs), l'*environnement d'immersion* (2D, 3D, réalité virtuelle, réalité

augmenté), le *déploiement* (numérique ou non-numérique en termes de support utilisé) ainsi que le *public ciblé* (professionnels du domaine, étudiants, enfants). Le tableau 1.2 illustre l'ensemble des critères caractérisant l'aspect "sérieux" et l'aspect "jeu".

Critère	Description/Exemples
<i>Aspect sérieux</i>	
Domaine d'application	Santé, informatique, sport, science, économie, ressources humaines, politique, éducation.
Contexte d'apprentissage	Compétences techniques du domaine, compétences non-techniques (soft skills).
Objectif pédagogique (finalité d'usage)	Transfert de connaissances, développement d'une compétence, sensibilisation à un problème.
Catégorie	Jeu d'entraînement et simulation, jeu informatif, jeu ludo-éducatif.
Système d'évaluation pédagogique	Aucun, système de score intégré, session de débriefing, questionnaires.
<i>Aspect jeu</i>	
Déploiement	Numérique (téléchargeable ou jouable en ligne), non-numérique (jeu de cartes, jeu de plateau)
Nature	Mono-joueur, multi-joueurs (rôles homogènes ou hétérogènes).
Public ciblé	Professionnels, étudiants, enfants, grand public.
Environnement d'immersion	2D, 3D, réalité mixte, réalité augmentée, réalité virtuelle.
Plate-forme de conception/développement	Système multi-agents, moteur de jeu (Unity 3D, Unreal game).

TABLE 1.2. – Critères caractérisant l'aspect "*sérieux*" et l'aspect "*jeu*"

Cette nouvelle classification des jeux sérieux est exploitée dans la conception et l'implémentation d'un système de classification multicritères permettant d'as-

sister les utilisateurs dans la recherche de jeux sérieux selon plusieurs critères et de leur proposer les jeux pouvant les intéresser. Ainsi, la classification proposée a pour objectif de déterminer le degré d'adéquation des jeux sérieux pour des établissements de formation ou d'enseignement, et d'améliorer ainsi le degré d'acceptabilité des jeux sérieux dans la communauté d'enseignants ou formateurs en tant qu'outil complémentaire aux pratiques pédagogiques actuelles.

La sous-section suivante présente le portail Web réalisé à partir de cette classification.

1.3.2. Portail Web associé à la classification proposée

Ce portail Web de jeux sérieux pour la communauté d'enseignants et formateurs intéressés par l'intégration de ce concept dans leurs cours et formations est une application Web dynamique permettant de leur offrir à la fois une base de données riche de jeux sérieux classifiés selon plusieurs critères et un espace collaboratif d'échange et de partage d'idées/informations sur le domaine de jeux sérieux. La figure 1.5 montre la page d'accueil du portail Web.



FIGURE 1.5. – Page d'accueil du portail Web

Le portail vise à sensibiliser, assister, et encourager les enseignants à l'intégration du jeu sérieux comme une nouvelle technique de la pédagogie active, en leur permettant de :

- Rechercher les jeux sérieux en se basant sur notre classification multicritères et hiérarchisée visant à présenter une liste de jeux qui sont susceptibles de les intéresser et à s'adapter à leurs besoins pédagogiques.
- Échanger leurs retours d'expériences sur l'utilisation des jeux sérieux via un espace collaboratif sous forme d'un forum de discussion en leur offrant l'op-

- Opportunité de trouver de nouvelles idées, réduire les difficultés de choisir le jeu le plus pertinent, et de discuter les nouvelles stratégies d'enseignement.
- Consulter l'espace de publication traitant les actualités et les dernières nouveautés en matière d'application de jeux sérieux (événements, formations, journées de recherche etc).
- Être notifiés par les nouveautés qui s'adaptent à leurs profils grâce à un module de recommandation en leur envoyant des notifications proposant des jeux adaptés à leurs profils (selon leur domaine d'intérêt, les cours qu'ils enseignent etc) comme le montre la figure 1.6.



FIGURE 1.6. – Espace de recommandation du portail Web

L'application Web développée permet d'évaluer l'adéquation des jeux sérieux à un projet de formation particulier. La diffusion et l'utilisation de ce portail par un large public contribuera à la valorisation de ce type d'apprentissage et encouragera l'évolution des nouvelles méthodes pédagogiques. Une première version de l'application est en cours d'expérimentation avant diffusion en ligne.

La section suivante est consacrée à la présentation d'un domaine privilégié d'application des jeux sérieux qui est *la formation à la gestion de crise*. Les jeux sérieux de gestion de crise ont montré leur potentiel et leur intérêt pour améliorer l'apprentissage des procédures de la gestion de crise dans un environnement sûr tout en réduisant les coûts de formation.

1.4. Gestion de crise : domaine privilégié d'application de jeux sérieux

Aujourd'hui, les crises et les risques comme les catastrophes naturelles, les accidents industriels et les attaques terroristes représentent une menace réelle et

majeure dans le monde entier. Ces différentes crises peuvent causer des conséquences différentes allant des moins graves au plus graves mettant en danger la vie humaine (décès, blessures, maladies, situations d'handicap etc.), l'infrastructure et même l'économie des pays [93]. La fréquence croissante des crises et ses dommages néfastes exigent des processus efficaces de gestion de crise afin d'assurer une réponse rapide et efficace, et de réduire les pertes dans des conditions stressantes et critiques.

Dans cette section, nous présentons d'abord le processus de gestion de crise ainsi que ses différentes phases. Puis, nous nous concentrons sur les enjeux et les spécificités de la formation à la gestion de crise.

1.4.1. Définition de la gestion de crise

La gestion de crise est définie par Walker et al. [97] comme étant : *"l'application de stratégies conçues pour aider une organisation, ses intervenants, ou le grand public à faire face à un événement négatif, inattendu et important"*. Dans le cadre de sa thèse, Oulhaci [68] a tenté de définir la gestion de crise comme étant : *"une activité coopérative dans laquelle plusieurs acteurs (intervenants) ayant différents objectifs à plusieurs niveaux (allant de l'opérationnel au stratégique) coopèrent pour gérer une crise. Une crise est généralement définie comme une situation difficilement maîtrisable"*. L'objectif de la gestion de crise est alors d'être bien préparé pour la crise et d'assurer une réponse rapide et adéquate à la situation de crise. La gestion de crise représente un processus qui implique différents types de compétences, allant de procédures techniques très spécifiques aux compétences non-techniques (transversales). Ce processus implique également différents types d'intervenants de différentes organisations (unité médicale, police, protection civile, etc.) devant travailler simultanément et rapidement afin d'atteindre leur objectif commun consistant à réduire les conséquences de la crise [54].

Les situations de crise existantes sont généralement classées en trois grandes catégories comme suit [80] :

- **Les catastrophes naturelles** : ce sont des catastrophes résultantes de dangers naturels qui menacent la vie humaine, les biens, et l'environnement lui-même comme les tremblements de terre, les feux de forêt, et les inondations.
- **Les catastrophes d'origine humaine** : ce sont des événements désastreux causés par les êtres humains tels que les attaques terroristes et la pollution.
- **Les crises technologiques** : ce sont les catastrophes causées par l'application humaine de la science et de la technologie comme les accidents industriels, les cyber-attaques et les accidents d'avion.

Afin de faire face aux situations de crise et de revenir à un état normal de manière rapide et avec le minimum de dégâts, chaque organisation devrait avoir une équipe de communication de crise qui devrait appliquer toutes les phases du processus de gestion de crise. En général, le processus de gestion de crise comprend les phases suivantes [80] :

- **Phase de préparation** : dans cette étape, les membres de l'équipe d'urgence doivent déterminer les besoins et les exigences de l'atténuation ainsi que les menaces et les conséquences possibles de la situation de crise.
- **Phase d'intervention** : au cours de cette phase, les membres de l'équipe d'urgence doivent reconnaître la gravité du problème afin de mettre en place une réponse appropriée. Ils doivent appliquer leurs expertises techniques et leurs compétences sociales pour sauver les vies humaines et répondre aux besoins physiques et mentaux des victimes.
- **Phase de rétablissement** : l'étape finale du processus de gestion de crise est le moment où les choses commencent à revenir à l'état normal. Les membres de l'équipe d'urgence doivent s'entraîner à trouver de nouvelles solutions ainsi qu'à reconstruire les bâtiments et les infrastructures détruits afin de développer une plus grande résistance à toute catastrophe future.

Étant présenté la gestion de crise, nous nous intéressons dans la sous-section suivante à la formation à la gestion de crise, ses enjeux et ses spécificités.

1.4.2. Enjeux et spécificités de la formation à la gestion de crise

Comme déjà annoncé dans la sous-section précédente, la gestion de crise est une procédure qui englobe l'ensemble des actions permettant de limiter la gravité de ses conséquences (les dégâts et les victimes). Cependant, l'évolution sans cesse des crises au gré des progrès technologiques ainsi que les changements politiques et climatiques rend cette procédure de plus en plus difficile. Par ailleurs, dans des contextes accompagnés généralement par des états de panique, de stress et de frayeur, le défi technologique et humain est de gérer efficacement et rapidement une situation de crise. C'est pour toutes ces raisons que se développent des environnements de simulation des scénarios de gestion de crise afin de produire des données en cas d'absence des données réelles mais aussi d'effectuer des séances de formation et/ou d'entraînement à la gestion de crise comme le *Mouvement International de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge* [30].

Cependant, les méthodes traditionnelles de simulation et de formation à la gestion de crise comme les cours théoriques en salle et surtout les exercices sur un terrain d'entraînement physique sont complexes à organiser (requièrent matériel de formation, coaching, séances de débriefing etc.), coûteuses, et consomment beaucoup de temps pour être mises en pratique dans la réalité [80]. De plus, l'or-

ganisation de telles sessions n'est pas simple et ne fait pas partie des habitudes de la majorité des organisations. En outre, ces méthodes classiques sont limitées en termes de nombre de scénarios possibles pour simuler plusieurs types de crises.

Depuis peu, des environnements virtuels sont mis en oeuvre pour mieux préparer les intervenants dans des situations de crise stressantes de manière efficace et rapide [3]. Ces environnements virtuels et en particulier les jeux sérieux dans le secteur de gestion et de simulation de crise constituent un support très pertinent pour la mise en place des activités favorisant l'engagement des joueurs tout en améliorant la qualité de l'apprentissage des compétences relatives à la gestion de crise [97]. En effet, les jeux sérieux de gestion de crise ont le potentiel de développer chez les joueurs des compétences à la fois techniques (expertise et connaissances pour appliquer les procédures opérationnelles d'urgence) et non-techniques (aussi appelées les bonnes pratiques comme la communication, la coordination et la gestion du stress). Par ailleurs, les jeux sérieux de gestion de crise sont développés dans le but de sensibiliser le grand public aux problèmes les plus pertinents liés au domaine de gestion de crise. L'utilisation des jeux sérieux pour enseigner les concepts liés au domaine de la gestion de crise ne constitue pas seulement une alternative complémentaire efficace en termes de temps et argent ; mais elle permet également un apprentissage optimal en faisant le lien entre la théorie et la pratique dans un environnement de simulation [7].

Enfin, il faut souligner que, et comme mentionné par Oulhaci dans sa thèse [68], les jeux sérieux ne visent pas à exclure les exercices réels de la formation à la gestion de crise qui restent nécessaires. Cependant, l'objectif principal de l'utilisation des jeux sérieux dans ce domaine est d'apprendre les bonnes pratiques de la gestion de crise notamment la communication entre les différents intervenants et la coordination car la gestion de crise est avant tout un processus collaboratif ayant pour objectif global et commun le retour à la situation normale [68].

La section suivante est consacrée à la présentation de quelques exemples de jeux sérieux de gestion de crise en soulignant l'intérêt de produire une évaluation des apprenants-joueurs dans ces environnements.

1.5. Jeux sérieux de gestion de crise

La gestion de crise représente un terrain fertile pour les jeux sérieux en raison de sa disponibilité, de son coût relativement faible par rapport aux exercices sur le terrain, et de la variété des situations de crise qu'on peut simuler (accidents, catastrophes naturelles, attentats terroristes etc.). Ces différents types de crises impliquent différents rôles (premiers intervenants, sapeurs-pompiers, policiers

etc.) ayant des comportements collaboratifs (évacuation, sauvetage des victimes, processus décisionnel etc.) [18]. Cette complexité offre, sans doute, des opportunités de recherche et de développement caractérisées par des contributions pluridisciplinaires et interdisciplinaires. C'est pour cela que cette section vise à présenter, en premier lieu, des exemples intéressants de jeux sérieux développés pour la formation à la gestion de crise ; et en second lieu, la thématique de recherche qui nous intéresse à savoir l'évaluation des joueurs dans ces environnements.

1.5.1. Exemples représentatifs

Au cours de ces dernières années, l'utilisation croissante des technologies de l'information et de la communication a favorisé l'utilisation des mécaniques de simulation et du jeu vidéo comme outils méthodologiques pour la formation à la gestion de crise. Dans ce cadre, les jeux sérieux de gestion de crise visent à apprendre aux joueurs à gérer une situation de crise dans un environnement immersif tout en réduisant les coûts et en gagnant du temps. Les jeux sérieux de gestion de crise peuvent aller d'un développement relativement simple (scénario linéaire) ciblant la sensibilisation du grand public à un cadre de formation complexe avec un scénario multi-joueurs reproduisant une situation réelle de gestion de crise destiné à la formation des professionnels/experts du domaine (orienté-simulation)⁵ [29]. Pour plus de clarté, les caractéristiques principales de certains jeux sérieux existants récemment conçus pour la formation à la gestion de crise sont récapitulées dans le tableau 1.3.

En résumé, nous pouvons affirmer que l'exploitation des jeux sérieux dans le domaine de gestion de crise est en plein essor grâce aux expériences d'apprentissage offertes ; et le développement de ces environnements virtuels pour la formation à la gestion de crise ne cesse de s'accroître jour après jour.

5. [http ://www.vr-crisis.com/](http://www.vr-crisis.com/)

Jeu sérieux	Multi-joueurs	Public ciblé	Type de crise	Objectif	Plate-forme
SIMFOR [68]	Oui	Grand public	Échappement de produits toxiques après un accident de circulation	Apprendre différentes compétences (partagées ou spécifiques) dans une même session de jeu	Simulation multi-agents
Stop Disasters! ⁶	Non	Grand public	Catastrophes naturelles	Sensibiliser les gens de l'impact des catastrophes naturelles	Jeu en ligne
FloodSim ⁷	Non	Grand public de la Royaume-Uni	Inondation	Sensibiliser les gens au danger des inondations	Jeu en ligne
SPRITE [2]	Non	Grand public de l'île d'Oléron	Inondation	Apprendre à gérer le risque de la submersion marine	Simulation multi-agents
SGIMFPD [7]	Oui	Grand public	Tremblements de terre	Enseigner les concepts de la communication et de la collaboration pendant les opérations post-crise	Moteur de jeu : Unity 3D
B-SaFe! [23]	Oui	Étudiants	Risques naturels et humains	Sensibiliser les citoyens aux risques naturels et leur donner des conseils	Jeu de plateau

TABLE 1.3. – Exemples de jeux sérieux de gestion de crise

1.5.2. Évaluation des joueurs dans les jeux sérieux de gestion de crise

La gestion de crise est un domaine d'application des jeux sérieux qui s'est développé de manière exponentielle et a fait l'objet de nombreux travaux. Ces travaux concernent d'une part la conception, la scénarisation et la mise en oeuvre de ces environnements, et d'autre part l'analyse des usages des jeux sérieux et de leurs impacts sur la société, ainsi que l'évaluation et le suivi des apprenants dans de tels environnements. Toutes ces recherches font intervenir diverses disciplines comme l'informatique et plus précisément le génie logiciel, l'intelligence artificielle, et l'interaction homme-machine, mais aussi les sciences de l'homme et de la société et en particulier la psychologie, la didactique, et l'ergonomie cognitive. Dans notre travail, nous nous intéressons à la problématique de l'évaluation des apprenants dans les jeux sérieux collaboratifs pour la formation à la gestion de crise. En effet, l'un des "traits culturels" les plus importants de la gestion de crise est la nécessité d'évaluer ce qui s'est passé après la crise (crise réelle ou simulée), notamment ce qui a mal fonctionné afin d'améliorer les procédures dans des situations futures. Ce besoin d'évaluation constitue un élément important voire vital de tout environnement virtuel de formation, car il permet de dégager des informations pertinentes sur ce qui s'est bien ou mal passé pendant une session de jeu. Ces informations sont utiles puisqu'elles peuvent être exploitées pour fournir aux apprenants l'expérience la plus appropriée en fonction de leurs profils et de leurs besoins d'apprentissage [30].

Cette évaluation se complexifie dans un contexte multi-joueurs collaboratif, multi-compétences et surtout avec la gestion des émotions, tout en maintenant la motivation et l'engagement chez les joueurs durant le déroulement du scénario. En effet, dans ce contexte multi-joueurs, l'évaluation présente la particularité d'intégrer non seulement l'évaluation individuelle des joueurs, mais également leurs interactions sociales avec d'autres joueurs, celles-ci peuvent influencer sur la performance collective du groupe. Dans ce cas, afin d'évaluer l'apprentissage (les compétences et/ou connaissances acquises) des joueurs, nous devons les évaluer non seulement individuellement mais aussi collectivement, car la gestion de crise est un processus collaboratif impliquant différents participants qui sont amenés à communiquer et à collaborer pour ramener la situation à un état normal. L'évaluation individuelle est déjà problématique en soit car dans le domaine de la gestion de crise nous avons plusieurs intervenants ayant différents rôles (et alors compétences et émotions hétérogènes) qui collaborent afin d'atteindre leur objectif global commun. L'évaluation collective quant à elle, doit évaluer la performance collective du groupe ainsi que la qualité de la collaboration des différents membres du groupe [69].

Pour finir, nous pouvons conclure que l'évaluation des apprenants dans la for-

mation à la gestion de crise représente un véritable enjeu de recherche dans les jeux sérieux qui doit prendre en compte plusieurs aspects à la fois (les interactions sociales, les émotions, les connaissances antérieures etc.).

1.6. Conclusion

Le jeu sérieux constitue l'un des outils innovants de ces dernières années en matière de pratique pédagogique. Dans ce chapitre, un tour d'horizon effectué sur les jeux sérieux nous a permis de confirmer l'intérêt de les utiliser dans un contexte d'apprentissage et en particulier pour la formation à la gestion de crise. Ce domaine multidisciplinaire des jeux sérieux de gestion de crise admet plusieurs axes de recherche tels que la conception et le développement des jeux sérieux, l'analyse de l'usage des jeux sérieux et de leurs impacts dans des contextes réels d'apprentissage ainsi que l'évaluation du succès du jeu sérieux et son adaptation aux profils des joueurs. Ce travail de thèse se focalise sur l'évaluation des jeux sérieux de gestion de crise dans un contexte multi-joueurs, évaluation tant individuelle que collective. Ainsi, le chapitre suivant est consacré à une étude bibliographique et une critique des travaux de la littérature existants sur l'évaluation des jeux sérieux de gestion de crise.

2. Évaluation des jeux sérieux de gestion de crise : une revue systématique de la littérature

Sommaire

2.1	Introduction	29
2.2	Méthode de recherche : revue systématique de la littérature	30
2.2.1	Questions de recherche	31
2.2.2	Termes de recherche	31
2.2.3	Base de données de recherche	32
2.2.4	Critères d'inclusion et d'exclusion	32
2.2.5	Diagramme de PRISMA Flow	33
2.3	Synthèse des travaux d'évaluation dans les jeux sérieux de gestion de crise	34
2.3.1	Concept de l'évaluation	34
2.3.2	Étude bibliographique	36
2.3.2.1	Critères d'évaluation	36
2.3.2.2	Approches d'évaluation	37
2.3.2.3	Techniques d'évaluation	38
2.3.3	Travaux représentatifs	42
2.4	Discussion	44
2.4.1	Critique de l'existant	44
2.4.2	Solution proposée et objectif	47
2.5	Conclusion	48

2.1. Introduction

Comme le montre le chapitre précédent, le concept de jeux sérieux est de plus en plus présent dans différents domaines et en particulier dans le domaine de gestion de crise. Mais malgré son grand intérêt, l'utilisation de ce concept donne des résultats plus ou moins satisfaisants en termes d'efficacité pour l'apprentissage. C'est à partir de ce constat que sont nés les travaux tournant autour de l'évaluation des jeux sérieux aussi bien que l'évaluation dans les jeux sérieux.

Ces deux thématiques constituent actuellement des domaines de recherche en pleine effervescence. La première se focalise sur l'efficacité des jeux sérieux, tandis que la deuxième se focalise sur l'apprentissage des apprenants-joueurs au cours de jeu. Compte tenu de l'objectif de cette thèse, ce chapitre développe un état de l'art sur l'évaluation des apprenants dans les Jeux Sérieux de Gestion de Crise (JSGC). Pour ceci, nous commençons par la présentation de la méthode de recherche adoptée pour la réalisation de l'étude bibliographique. Puis, nous synthétisons un ensemble représentatif de travaux existants relatif à ce sujet en décrivant les critères, les approches et les techniques utilisées pour produire une évaluation des apprenants et du jeu en question. Enfin, nous développons une critique des travaux d'évaluation existants et nous présentons la solution que nous proposons dans l'optique de combler certaines limites détectées.

2.2. Méthode de recherche : revue systématique de la littérature

Aujourd'hui, les travaux de recherche en évaluation de JS sont de plus en plus nombreux et concernent tous les domaines. Ce nombre rend d'autant plus difficile la réalisation d'un état de l'art, et en fait une tâche délicate qui mérite d'être rigoureusement organisée. En effet, un état de l'art inadéquat affecte négativement l'intérêt et la validité de la recherche et peut même la remettre en question. La méthode classique de réalisation de l'état de l'art, connue sous le nom de *revue narrative*, cherche à identifier de façon itérative les connaissances dans un domaine précis, recueillies à partir de la littérature pertinente sans avoir au préalable posé des questions de recherche [22]. C'est une revue dans laquelle la recherche bibliographique n'est en général pas exhaustive et qui représente plus l'opinion d'un expert suite à une interprétation subjective des sources collectées. C'est pour toutes ces raisons que l'état de l'art réalisé au début de cette thèse a suivi une méthode plus performante que la méthode classique intitulée "*revue systématique de la littérature* (*systematic literature review* en anglais)" [86]. Cette méthode consiste en une évaluation critique d'un ensemble de publications liées à une question de recherche précise en adoptant une approche rigoureuse afin d'atteindre la plus grande objectivité possible. Au lieu d'aborder à tour de rôle chaque publication ou chaque auteur, elle analyse la littérature comme un tout afin de présenter les idées, les concepts et les débats principaux du domaine d'étude et de révéler les lacunes dans la littérature. Cette analyse nous aide non seulement à montrer la validité de la recherche, mais aussi à formuler une (des) question(s) de recherche claire(s) et précise(s) [86]. Ainsi, cette méthode permet d'effectuer des recherches plus ciblées que celles de la méthode classique en commençant par la formulation des questions de recherche avant d'aborder la lecture des sources collectées.

En adoptant cette méthode, nous avons utilisé le protocole "*Preferred Reporting*

Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses" (PRISMA) ¹ pour la réalisation des revues systématiques et des méta-analyses qui est composé principalement de cinq étapes à savoir : la formulation des questions de recherche, l'élaboration des termes de recherche, la réalisation des recherches automatiques dans différentes bases de recherche, la formulation des critères d'inclusion et d'exclusion, et enfin la sélection des travaux à inclure dans notre étude [86].

Nous détaillons dans ce qui suit les différentes étapes citées précédemment.

2.2.1. Questions de recherche

La première étape dans toute revue systématique de la littérature consiste à bien formuler le(s) question(s) de recherche et de se positionner par rapport à un axe de recherche bien déterminé. Les questions de recherche doivent être claires et précises et dans notre contexte, elles sont les suivantes :

- **QR1** : comment évaluer *l'efficacité* des jeux sérieux en général ?
- **QR2** : quels sont les principaux *critères* qu'il faut prendre en compte pour évaluer l'efficacité (et alors le succès) d'un environnement de JS GC ?
- **QR3** : comment quantifier ces critères pour élaborer des *indicateurs* et des techniques permettant de produire une *évaluation* des apprenants et ainsi une évaluation de l'adéquation du jeu par rapport aux apprenants ?
- **QR4** : à part l'aspect *pédagogique*, comment les travaux de la littérature évaluent les aspects *d'émotions et d'engagement* et leurs impacts sur le déroulement du jeu ?
- **QR5** : comment les travaux existants évaluent les *interactions sociales* entre les différents joueurs dans un environnement *collaboratif* de JS GC ?
- **QR6** : comment conduire une *adaptation* du jeu étudié en exploitant les résultats d'évaluation obtenus ?

2.2.2. Termes de recherche

En se basant sur les questions de recherche déjà posées, nous établissons un ensemble de termes de recherche qui sont les *mots clés* (en anglais) que nous utilisons pour effectuer une recherche des études et qui ont un lien avec notre sujet d'intérêt. Dans le cas de notre projet, nous considérons tous les synonymes des jeux sérieux notamment dans le domaine de gestion de crise ainsi que les impacts qui résultent de l'usage des jeux sérieux et les différents aspects liés au processus d'évaluation. Les termes retenus peuvent être exprimés comme suit :

(serious game OR learning game OR educational game OR game-based learning

OR simulation and training game)

AND (crisis management OR risk management OR disaster management)

AND (evaluation OR assessment OR adaptation)

1. <http://www.prisma-statement.org/>

AND (emotion OR engagement OR Flow)
 AND (social interaction OR collaborative OR multi-players).

2.2.3. Base de données de recherche

Après avoir fixé nos termes de recherche, nous les avons utilisés pour effectuer des recherches électroniques dans différentes bases de données telles que : Scholar Google², Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)³, Scopus⁴, Springer⁵, Web of Science⁶, et dblp⁷.

Suite à des échanges avec des chercheurs rencontrés dans des manifestations scientifiques liées à notre thématique de recherche, nous avons mis à jour nos références en incluant les travaux publiés jusqu'à Mai 2019.

2.2.4. Critères d'inclusion et d'exclusion

Les critères d'inclusion et d'exclusion sont les critères qui nous permettent soit de retenir les papiers trouvés pour les analyser par la suite soit de les éliminer car ils répondent à un ou des critère(s) d'exclusion bien déterminé(s). Le tableau 2.1 illustre l'ensemble des critères d'inclusion et d'exclusion que nous avons adoptés.

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Articles publiés en français ou en anglais présentant des critères, une approche, une technique pour évaluer et/ou adapter les jeux sérieux (notamment les JSGC)	Articles reportant la conception et le développement des jeux sérieux dans des domaines autres que celui de la gestion de crise
Articles étudiant l'aspect social dans les jeux sérieux collaboratifs (notamment les JSGC)	Articles discutant l'évaluation des EIAH et basés sur des principes non comparables aux jeux sérieux
Articles traitant l'aspect émotionnel et l'engagement dans les jeux sérieux	Articles n'incluant aucune information sur l'évaluation ou l'adaptation des jeux sérieux

TABLE 2.1. – Critères d'inclusion et d'exclusion

2. <https://scholar.google.fr/>

3. <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

4. <https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/scopus/>

5. <https://www.springer.com/fr/>

6. <https://clarivate.com/webofsciencgroup/solutions/web-of-science/>

7. <https://dblp.uni-trier.de/>

2.2.5. Diagramme de PRISMA Flow

Le PRISMA Flow est un outil développé par PRISMA utilisé pour la construction des diagrammes illustrant les différentes étapes d'une revue systématique de la littérature. Il s'agit d'une représentation graphique du flux des citations étudiées dans la revue systématique. Il permet ainsi d'établir le nombre d'articles identifiés, inclus et exclus tout au long du processus de la revue systématique. La figure 2.1 schématise le diagramme de PRISMA Flow⁸ associé à notre recherche.

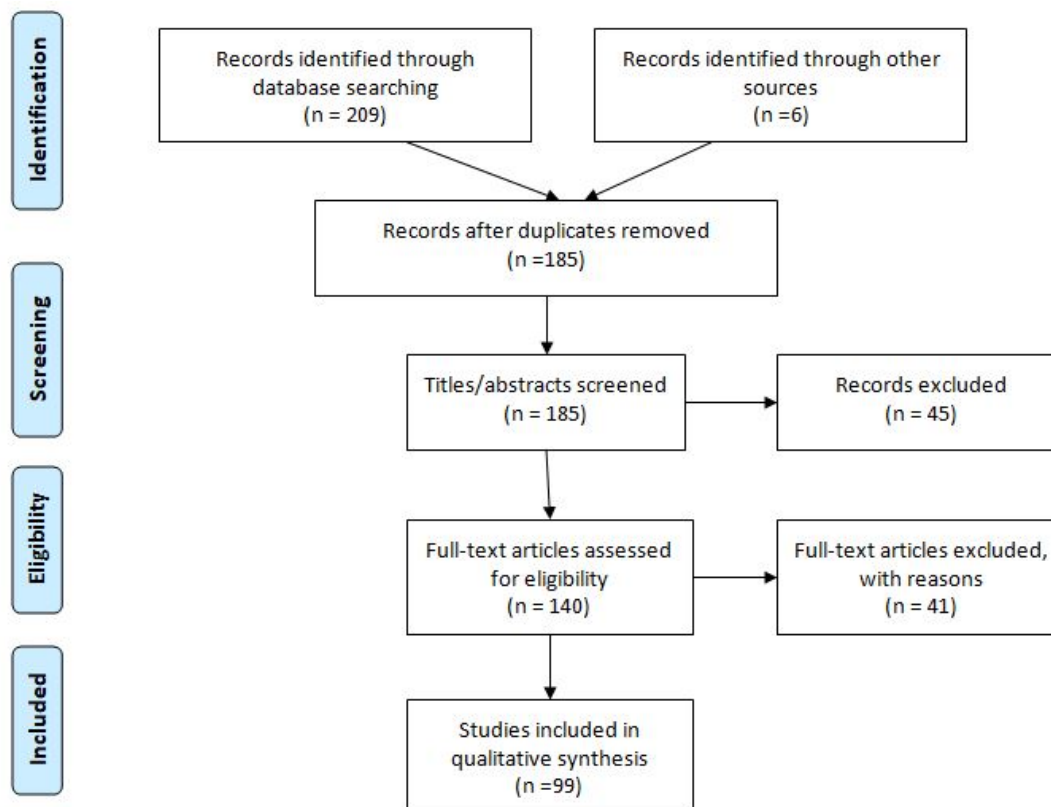


FIGURE 2.1. – Étapes de la revue selon le protocole PRISMA

Après avoir identifié l'ensemble des travaux de recherche à inclure dans notre état de l'art et qui concernent notamment l'évaluation dans les JSGC, la prochaine étape consiste à lire et à analyser ces travaux pour les synthétiser. La section suivante présente cette synthèse.

8. <http://www.prisma-statement.org/>

2.3. Synthèse des travaux d'évaluation dans les jeux sérieux de gestion de crise

Cette section présente une revue ciblée sur la thématique d'évaluation dans les JSJC. Pour ceci, nous commençons par rappeler la définition du concept de l'évaluation dans le contexte des jeux sérieux, et nous suggérons de distinguer les deux termes "*évaluation sommative*" (evaluation en anglais) et "*évaluation formative*" (assessment en anglais). Puis, nous décrivons les principaux critères ainsi que les approches utilisées pour produire une évaluation des apprenants et du jeu en distinguant deux types d'approches : *implicite* et *explicite*. Pour chacune de ces deux approches, nous présentons les techniques et les méthodes les plus utilisées dans le contexte des jeux sérieux et nous proposons une taxonomie permettant une meilleure organisation de toutes les informations citées. Enfin, nous terminons par une récapitulation des travaux d'évaluation proposés.

2.3.1. Concept de l'évaluation

L'évaluation est un processus complexe dont la définition ne fait pas actuellement l'objet d'un consensus et dont la mise en oeuvre dépend étroitement du système étudié et des objectifs visés [20]. Plusieurs définitions ont été proposées pour l'évaluation. Dans ce qui suit, nous présentons la définition de Goodwin [48] que nous jugeons proche de notre perception de l'évaluation : évaluer signifie "*mesurer, tester, valider, détecter les anomalies, tester l'utilisabilité et tester la fonctionnalité d'un système*"[48]. Il existe principalement deux types de processus d'évaluation qui se distinguent par leurs objectifs et le moment où ils interviennent [68] à savoir l'évaluation *formative* (assessment en anglais) et l'évaluation *sommative* (evaluation en anglais). Dans ce qui suit, nous projetons ce concept sur notre domaine d'intérêt et nous consacrons la partie suivante à l'évaluation dans les jeux sérieux.

L'évaluation des apprenants-joueurs dans les environnements de jeux sérieux est une tâche indispensable pour le formateur (ou l'enseignant) et l'apprenant. D'une part, elle permet au formateur de connaître le niveau de ses apprenants et de tester l'efficacité du jeu en question. D'autre part, et grâce à la méta-cognition (c'est-à-dire la connaissance par l'apprenant de ses propres compétences et lacunes), elle permet à l'apprenant de progresser et d'évoluer. L'évaluation décrit alors le processus d'utilisation des données relatives aux apprenants pour démontrer que les objectifs d'apprentissage visés par le jeu sont réellement atteints. Comme évoqué précédemment, l'évaluation dans les jeux sérieux peut être aussi *formative* ou *sommative*.

La figure 2.2 résume les principales différences et similarités entre ces deux types d'évaluation dans notre contexte de recherche.

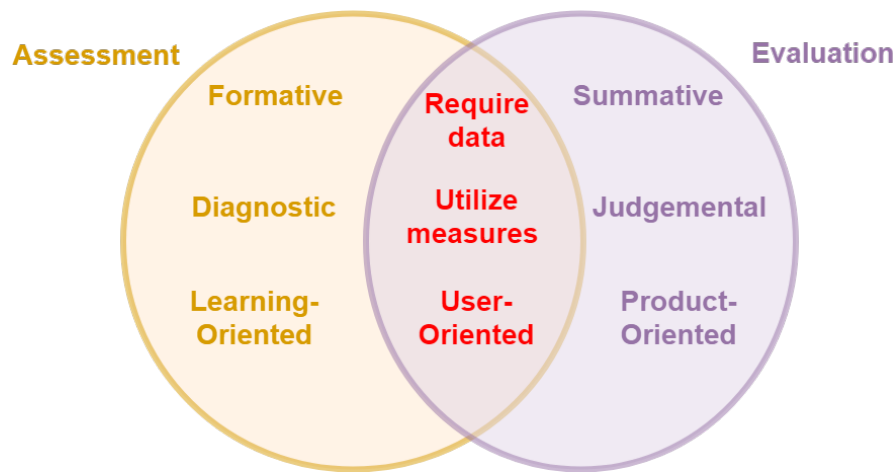


FIGURE 2.2. – Évaluation formative Vs Évaluation sommative [30]

Comme le montre la figure 2.2, ces deux types d'évaluation nécessitent des données sur les apprenants (*qualitatives et/ou quantitatives*), et utilisent des mesures (*directes et/ou indirectes*) pour comprendre et analyser leurs comportements durant une session d'apprentissage ou de formation [11]. *L'évaluation formative* est définie comme un processus de collecte et d'interprétation de données sur les apprenants afin de leur fournir un retour d'information sur leurs échecs et leurs progrès, puis d'améliorer leurs performances et de réguler leurs activités d'apprentissage. Alors que *l'évaluation sommative* est le processus qui consiste à dégager des jugements finaux sur les performances des apprenants et/ou sur l'efficacité de l'environnement en se basant sur des critères bien définis [10].

Plus précisément, *l'évaluation formative* peut être décrite comme une mesure mise en oeuvre et présente tout au long du processus d'apprentissage afin de diagnostiquer les activités des apprenants et d'identifier les pistes d'amélioration de la qualité d'apprentissage. Tandis que *l'évaluation sommative* (appelée aussi évaluation finale ou encore certificative) ne peut se dérouler qu'après la fin du processus d'apprentissage (à la fin de la session de jeu) afin de valider (certifier) la somme des acquis cognitifs des apprenants et de produire des jugements définitifs et complets sur la qualité de l'apprentissage ainsi que l'efficacité du dispositif de formation. Pour conclure, *l'évaluation formative* concerne plutôt le processus d'apprentissage, tandis que *l'évaluation sommative* se focalise sur le produit (le dispositif d'apprentissage) en question [30].

Dans ce travail de thèse, nous nous intéressons à produire une évaluation *formative* aussi bien qu'une évaluation *sommative* des apprenants dans les JSGC. Les résultats de l'étape d'évaluation seront utiles pour améliorer l'apprentissage et l'adapter aux caractéristiques courantes des apprenants-joueurs. Dans ce qui

suit, nous récapitulons l'étude bibliographique réalisée en se basant sur les travaux de recherche retenus suite à l'application du protocole PRISMA décrit au début de ce chapitre.

2.3.2. Étude bibliographique

Les travaux d'évaluation présents dans les jeux sérieux, en particulier dans le domaine de gestion de crise, sont très variés. Ils se distinguent principalement par le *critère évalué*, la *technique ou l'approche* adoptée pour produire une évaluation ainsi que les *conditions de son application* (type d'évaluation, la population ciblée, le niveau initial des joueurs, le genre du jeu étudié, le contexte d'apprentissage etc.).

De manière générale, les recherches effectuées sur l'évaluation dans les environnements de JS GC tentent de répondre à quatre grandes questions à savoir : Qui/Qu'est-ce qui est concerné ? Quand et Pourquoi ? À quel niveau ? Et comment ? Ainsi, nous proposons respectivement quatre dimensions qui tentent de répondre aux questions précédentes à savoir : (i) les *cibles* (qui représentent les critères évalués), (ii) les *moments* où intervient le processus d'évaluation (évaluation formative et/ou sommative) et son *objectif lié*, (iii) les *niveaux d'évaluation* (un niveau individuel pour évaluer chaque joueur et/ou un niveau collectif pour évaluer de façon collective un groupe de joueurs), ainsi que (iv) les *approches et les techniques* utilisées pour produire une évaluation dans les JS GC.

Dans les sous-sections qui suivent, nous présentons essentiellement une synthèse des critères, approches et techniques d'évaluation dans les JS GC. Cette synthèse vise à répondre aux différentes questions de recherche posées au début de ce chapitre. Nous notons bien que cette synthèse est valable aussi pour l'évaluation des jeux sérieux dans n'importe quel domaine d'application.

2.3.2.1. Critères d'évaluation

Pour valider l'apprentissage par jeu, un processus d'évaluation s'impose. En effet, l'évaluation des apprenants peut fournir des indications sur ce qui a été bien ou mal appris au cours d'une session de jeu. Ces indications sont généralement basées sur des critères d'évaluation permettant principalement de caractériser l'apprenant-joueur et le jeu [30]. En effet, l'évaluation concerne non seulement l'apport pédagogique du jeu sérieux, mais aussi vise à évaluer les comportements observables du joueur à travers le jeu (ses expressions faciales, ses postures, son discours etc.). Il s'agit ainsi d'évaluer le jeu en tant que dispositif d'apprentissage et/ou de formation, et d'évaluer le joueur en tant que élément central du processus de l'évaluation.

Dans la majorité des travaux de recherche, le critère visé par l'évaluation constitue *l'apprentissage* c'est à dire les compétences et/ou les connaissances acquises par l'apprenant-joueur [2][7][89][68][75][91][4]. Dans d'autres travaux moins nombreux, le critère évalué consiste en *l'aspect social* comme la communication (interactions sociales) entre les joueurs ainsi que la coordination/collaboration et la prise de décision de groupe [51][69][94][78]. Dans notre travail, nous estimons qu'une évaluation des interactions des apprenants avec le jeu conduit à produire une évaluation de l'adéquation du jeu par rapport aux apprenants [11]. Ainsi, nous nous focalisons, dans ce qui suit, sur les différents critères qui permettent de caractériser les apprenants-joueurs. Ces critères sont décrits dans le tableau 2.2.

Nom du critère	Description
Cognitif	Ce critère modélise l'apprentissage de l'apprenant comme les connaissances et/ou les compétences acquises durant une session de jeu.
Émotionnel	Ce critère caractérise l'état affectif du joueur et les émotions ressenties au cours du déroulement du jeu comme la motivation, l'engagement, le stress, la satisfaction, l'anxiété, et l'ennui.
Social	Ce critère modélise les interactions sociales entre les joueurs, notamment dans les jeux multi-joueurs, comme la communication, la collaboration, la coopération, et la coordination.

TABLE 2.2. – Les différents critères d'évaluation

Il faut souligner enfin que le profil initial du joueur, caractérisant ses connaissances antérieures, ses traits de personnalité, ses préférences d'apprentissage, et ses intérêts [76], a un impact important sur le déroulement du jeu ainsi que les résultats de son évaluation.

2.3.2.2. Approches d'évaluation

Nous distinguons principalement deux approches d'évaluation dans les jeux sérieux à savoir : *approche explicite* et *approche implicite*. Dans les approches explicites, une intervention humaine est nécessaire en dehors du jeu pour produire une évaluation. Par contre dans les approches implicites, l'évaluation est

intégrée au jeu et ne nécessite aucune intervention humaine ce qu'on appelle en anglais "*stealth assessment*" [85]. Nous détaillons, dans ce qui suit, ces deux types d'approches :

- **Évaluation explicite** : ce type a fait l'objet de nombreux travaux pour évaluer les apprenants, mais aussi pour évaluer les forces et les faiblesses du jeu utilisé. Pour ce faire, diverses techniques sont utilisées pour recueillir des données permettant une évaluation explicite. Nous citons par exemple les *pré/post questionnaires d'auto-évaluation* adoptés respectivement avant et après l'utilisation d'un jeu sérieux afin d'évaluer les connaissances acquises et même le niveau de motivation et d'engagement [91][89][4]. Les *sessions de débriefing humain* ainsi que les *entretiens* (questions posées oralement) sont aussi des techniques souvent utilisées pour évaluer les apprenants [51][64][75]. Récemment, des études se sont penchées sur l'observation des états émotionnels du joueur pendant son interaction avec le jeu comme la reconnaissance faciale et de mouvement grâce à des *capteurs biométriques* et des *signaux physiologiques* [74][42][76][50]. Nous notons que ces techniques récentes sont intrusives, et l'annotation des données générées peut être réalisée de façon manuelle.

Évaluation implicite : ce type est principalement basé sur des techniques de *l'intelligence artificielle* implémentées dans le jeu. Pour ceci, plusieurs travaux s'appuient sur la *technologie agent* pour évaluer les compétences et/ou les connaissances acquises par les apprenants durant leurs interactions avec un jeu sérieux [68][19]. Dans le cadre de sa thèse, Benjamin [13] a eu recours à deux modèles informatiques qui jouent des rôles complémentaires à savoir les *réseaux de Pétri* pour suivre la progression de l'apprenant-joueur étape par étape et surtout pour diagnostiquer les connaissances procédurales ainsi qu'une *ontologie* modélisant les concepts du domaine et leurs correspondances avec les actions dans le jeu. L'évaluation *implicite* a l'avantage d'être "*discrète*" puisqu'elle favorise la continuité du déroulement du jeu et surtout n'interrompt pas l'apprenant durant son activité d'apprentissage [85]. Elle vise alors à maintenir sa motivation et le garder dans l'état du Flow (engagement).

2.3.2.3. Techniques d'évaluation

Même si l'évaluation de l'apprenant durant son interaction avec un jeu sérieux est un champ de recherche relativement récent, plusieurs travaux ont développé des outils techniques répondant à ce besoin. L'exploration des différentes techniques proposées a montré qu'elles peuvent être exécutées de deux manières différentes : *manuelle* et *automatique*. En se basant sur cette distinction, nous proposons une nouvelle taxonomie permettant d'organiser les techniques existantes selon les deux types d'approches introduites précédemment comme le montre la figure 2.3 [30].

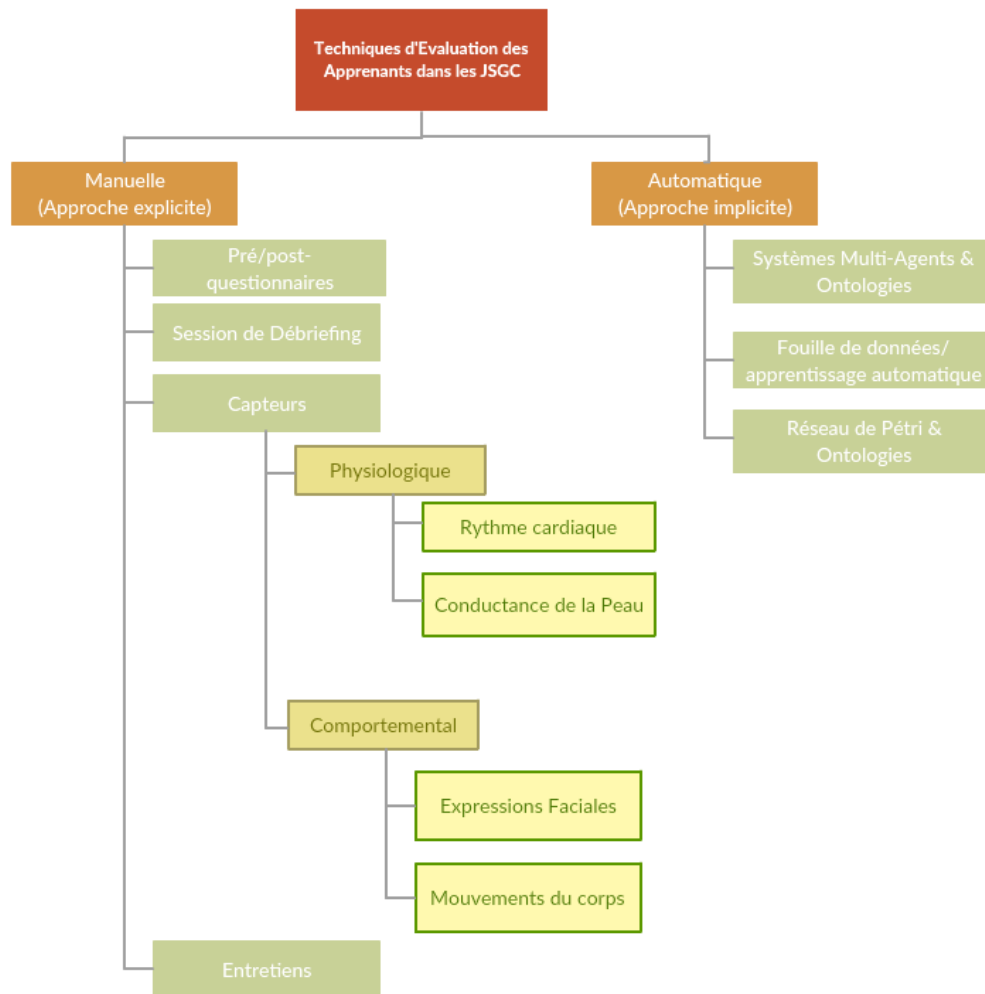


FIGURE 2.3. – Taxonomie des techniques d'évaluation [30]

- **Techniques manuelles** : dans la plupart des cas, l'évaluation des joueurs se fait manuellement par un formateur qui contrôle et suit l'évolution de l'apprentissage des apprenants pendant une session de jeu. Dans d'autres cas moins fréquents, l'évaluation est effectuée par l'apprenant lui-même qui estime le niveau des compétences et des connaissances acquises : ce que l'on appelle *l'auto-évaluation*. Le premier cas est assez contraignant puisqu'il nécessite la présence d'un formateur/enseignant pendant la session d'apprentissage. De plus, l'évaluation peut différer d'un formateur à un autre et elle peut provoquer des interprétations contradictoires au niveau du résultat ce qui nuit à l'efficacité de l'apprentissage. Dans le deuxième cas, plusieurs méthodes peuvent être mises en oeuvre pour assurer l'auto-évaluation. Nous en citons les questionnaires et les capteurs électro-physiologiques. Dans la plupart des cas, les apprenants doivent remplir avant et/ou après la fin de la session de jeu un questionnaire. Il s'agit d'un ensemble fini de questions quantitatives et/ou qualitatives présenté à l'apprenant pour évaluer ses caractéristiques personnelles, ses connaissances acquises et même son état émotionnel en respectant une échelle bien déterminée [15]. Plus précisément, l'apprenant doit indiquer ce qu'il sent/pense le plus spontanément possible durant son activité en attribuant, pour chaque question, son degré d'accord ou de désaccord sur une échelle de Likert comprenant 1 à 5 degrés [30]. Les questionnaires d'auto-évaluation ont l'avantage d'être simples et faciles à mettre en oeuvre. De plus, ils permettent de collecter des données auprès des personnes questionnées à un coût peu élevé par rapport aux autres méthodes utilisant des équipements sophistiqués tels que les capteurs électro-physiologiques. Cependant, ces questionnaires présentent quelques défauts à savoir *l'incertitude des réponses* à cause de leurs subjectivité (l'apprenant interrogé peut interpréter de manière personnelle ou erronée les questions posées ce qui empêche d'avoir un résultat d'apprentissage correct et cohérent), *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 ce qui interrompt la dynamique du jeu). Ainsi, la méthode d'auto-évaluation par questionnaire n'est pas un outil suffisamment efficace pour évaluer les joueurs et surtout pour mesurer leurs états émotionnels.

Les capteurs électro-physiologiques permettent d'utiliser des mesures physiologiques telles que la fréquence cardiaque, la conductance de la peau, la tension musculaire dans le but de reconnaître les émotions des apprenants durant leurs activités. Parmi ces capteurs, nous citons le capteur *BVP* (*Blood Volume Pulse*), le capteur *GSR* (*Galvanic Skin Response*), le capteur *RSP* (*Respiration*), et le capteur *EMG* (*Électromyogramme*) [60]. L'EMG, par exemple,

fournit des informations sur l'expression des émotions (type : positive ou négative et intensité : fort ou faible) grâce à une mesure directe de l'activité des muscles de la face. L'approche physiologique permet la collecte de données en temps réel, ne nécessitant pas d'interrompre le joueur pendant qu'il joue. A cela s'ajoute qu'elle a l'avantage de détecter les changements physiologiques dus à des réactions émotionnelles de façon plus objective que les questionnaires. Néanmoins, les données recueillies ne se prêtent pas aisément à l'interprétation, surtout lorsque l'on étudie des états mentaux complexes. Par ailleurs, les méthodes physiologiques sont *invasives et contraignantes* car elles réclament une logistique relativement lourde et une mise en place de matériel relativement coûteuse. Aussi, l'établissement de liens directs entre des changements physiologiques et des émotions spécifiques (ennui, anxiété, etc.) n'est pas vraiment faisable lorsque deux émotions différentes pourraient engendrer les mêmes changements physiologiques. Ceci implique le recours de nouveau aux questionnaires d'auto-évaluation pour valider les constatations faites et par la suite établir ces liens. Ainsi, nous pouvons affirmer que malgré le développement récent des méthodes physiologiques, la mesure prédominante, à l'heure actuelle, reste celle fournie par les méthodes d'auto-évaluation par questionnaire [30].

- **Techniques automatiques** : les limitations des techniques manuelles ont donné naissance à plusieurs travaux qui se focalisent de plus en plus sur des techniques automatiques en se basent sur les *traces numériques d'interactions* pour produire une évaluation *implicite*. Ces travaux ont recours aux techniques de l'intelligence artificielle comme les systèmes multi-agents, les réseaux de pétri, les ontologies, l'apprentissage automatique, et la fouille de données [45][10]. Ces techniques sont généralement implémentées dans le jeu pour évaluer les apprenants sans qu'ils soient conscients de cette évaluation. Nous décrivons dans la section suivante le travail de Oulhaci [68] qui se base sur les systèmes multi-agents et les ontologies pour produire une évaluation des apprenants dans un JSGC appelé "SimFor".

Cette étude bibliographique peut aider les chercheurs et les créateurs ou les concepteurs de jeux sérieux à identifier les principaux critères et techniques d'évaluation des apprenants. Les avantages et les limites de chaque technique peuvent faciliter le choix de la façon la plus adéquate pour évaluer un jeu particulier. Malgré l'ampleur de notre enquête, ce travail ne prétend pas inclure toutes les techniques existantes d'évaluation des apprenants. Cependant, il inclut des thèmes majeurs identifiés dans la littérature, et fournit une taxonomie où les travaux futurs peuvent être classifiés.

2.3.3. Travaux représentatifs

Depuis plusieurs années, les JSGC ont fait l'objet de nombreux travaux de l'évaluation qui varient selon le *scénario de crise simulé*, le *nombre de joueurs*, les *indicateurs clés* et les *caractéristiques des apprenants*. Dans ce qui suit, nous décrivons brièvement une liste de travaux représentatifs de JSGC qui ont montré des résultats intéressants d'évaluation. Ces travaux traitent des aspects subjectifs importants pour l'évaluation à savoir les aspects cognitifs et sociaux ; et nous permettent ainsi de répondre aux questions de recherche posées au début de ce chapitre qui portent notamment sur les critères et les techniques adoptées.

Les jeux "*Stop Disasters*" [64] et "*Dread-ed*" [51] ont été évalués via des pré/post-questionnaires d'auto-évaluation. Plus précisément, les objectifs de formation visés par le jeu "*Dread-Ed*" concernent les compétences non-techniques en situation de crise, telles que la communication, le travail d'équipe et la prise de décision de groupe. L'évaluation a été ensuite effectuée à l'aide d'un questionnaire mesurant si le jeu contribue à l'apprentissage des compétences sociales, complétée par une séance de débriefing à la fin du processus de formation [51].

Ayant un objectif pédagogique plus général, "*Stop Disasters*" vise à construire une culture de sécurité pour les situations d'urgences. Afin d'analyser les performances des apprenants et de vérifier si le jeu améliore réellement la prise de conscience des risques, les participants ont répondu à des questionnaires, avant et après avoir joué le jeu, sur trois aspects principaux à savoir la jouabilité, les missions et les scénarii de jeu [64].

De plus, Rebolledo-Mendez et al. [75] ont recours aux entretiens pour évaluer les acquis cognitifs des joueurs durant leur interaction avec le jeu "*FloodSim*". Pour le projet *Sprite*, un jeu sérieux pour l'enseignement de la gestion des risques naturels, il s'appuie tout simplement sur un système de score (permettant d'attribuer un certain nombre de points au joueur en fonction de ses actions réalisées) intégré dans le jeu [91]. Ce système permet d'évaluer les connaissances cognitives acquises par le joueur en se basant sur le score obtenu à la fin d'une session de jeu.

OULHACI, dans le cadre de sa thèse, a proposé un cadre méthodologique pour l'évaluation individuelle et collective dans un jeu sérieux collaboratif pour la formation à la gestion de crise appelé "*SimFor*" [68]. Ce cadre est basé sur trois espaces d'évaluation à savoir : *l'espace physique*, *l'espace comportemental*, et *l'espace social*. Chaque espace proposé permet de produire une évaluation des apprenants selon un point de vue bien déterminé. L'espace *physique* représente le monde virtuel du jeu, l'espace *comportemental* représente les actions et les missions des participants impliqués dans le scénario, et enfin l'espace *social* reflète les interactions sociales entre les joueurs. L'espace d'évaluation se compose de quatre éléments principaux à savoir :

- **Une représentation des connaissances KW** : un ensemble de modèles permettant la formalisation et la caractérisation des connaissances et/ou données nécessaires pour conduire une évaluation.
- **Un ensemble d'indicateurs I** : un indicateur représente une variable qui décrit une information caractérisant une situation en évolution pour en observer les variations périodiques.
- **Un ensemble de métriques M** : une métrique représente la méthode de calcul et les unités de mesures adoptées pour quantifier un indicateur permettant ainsi de produire une évaluation.
- **Un ensemble de modèles d'évaluation AM** : selon le modèle de représentation des connaissances adopté, le calcul des indicateurs, quantifiés par des métriques, requièrent un ou des modèles spécifiques issus de l'IA produisant par conséquence une évaluation.

Par conséquent afin d'implémenter ce cadre, Oulhaci [68] a développé un *système multi-agents* pour produire une évaluation individuelle et collective des apprenants et améliorer l'adaptabilité des personnages non-joueurs (non-player characters en anglais). Toutes les connaissances utilisées ou produites par ce système sont stockées dans une première ontologie dite *modèle de domaine* (décrivant les concepts généraux du domaine de gestion de crise adapté au jeu SimFor) et une deuxième ontologie dite *modèle d'apprenant* (représentant l'état mental de l'apprenant à un instant donné t) [69].

Pour une meilleure vision, les caractéristiques principales des travaux décrits ci-dessus sont récapitulées dans le tableau 2.3. Ces travaux constituent une liste représentative mais non exhaustive des différents travaux d'évaluation des JSGC. Ce survol de la littérature nous a permis de voir différentes perceptions du succès de ces environnements, de les critiquer, et de déterminer notre propre vision comme le montre la section suivante.

Nom du jeu et référence du travail d'évaluation	Multi-joueurs	Approche d'évaluation	Technique d'évaluation	Critère évalué
SimFor [68]	Oui	Évaluation implicite	Systèmes multi-agents et ontologies	Cognitif et social

Dread-Ed [51]	Oui	Évaluation explicite	Session de débriefing et questionnaire	Social
Stop Disasters [64]	Non	Évaluation explicite	Questionnaire	Cognitif
Sprite [91]	Non	Évaluation implicite	Système de score intégré dans le jeu	Cognitif
VigiFlood [4]	Non	Évaluation explicite	Questionnaire	Cognitif
FloodSim [75]	Non	Évaluation explicite	Questionnaire	Cognitif

TABLE 2.3. – Tableau récapitulatif d’une liste représentative de travaux d’évaluation dans les JSGC

2.4. Discussion

Dans cette section, nous commençons par une critique des travaux d’évaluation existants pour proposer par la suite notre solution ainsi que les objectifs de ce travail de recherche.

2.4.1. Critique de l’existant

L’étude bibliographique effectuée dans le cadre de cette thèse, et résumée dans la section précédente, montre que la majorité des travaux existants se focalise sur *l’évaluation des états cognitifs des apprenants* en modélisant les connaissances et les compétences acquises durant une session de jeu (connue sous le nom d’*évaluation pédagogique*). Il est vrai que l’aspect pédagogique est important mais il ne représente qu’une partie du succès des JSGC. En effet, plusieurs autres aspects caractérisant l’apprenant-joueur peuvent être significatifs pour l’évaluation des JSGC. Nous en citons principalement les aspects *émotionnels* tels que l’anxiété, l’ennui, et la motivation et les aspects *sociaux* pouvant être dégagés à partir des interactions sociales entre les apprenants dans un JSGC multi-joueurs collaboratif tels que la communication, la coordination et la collaboration. Malgré leur importance et leur impact sur les résultats de l’apprentissage par jeu, ces deux aspects n’ont pas été suffisamment pris en considération lors du processus de l’évaluation dans les JSGC [30].

Une étude comparative des travaux d'évaluation dans les JSGC est illustrée dans le tableau 2.4. Pour cela, nous avons choisi cinq critères de comparaison que nous jugeons importants pour notre problématique de recherche :

- **L'aspect multi-joueurs** : décrit la modélisation d'un processus collaboratif de gestion de crise (gestion des communications et des interactions entre les différents apprenants).
- **Le type d'évaluation** : indique le moment où intervient le processus de l'évaluation c'est à dire durant la session de jeu (évaluation formative) ou/et à la fin de la session de jeu (évaluation sommative).
- **Le niveau d'évaluation** : décrit le niveau de l'évaluation produite : individuel (évaluation individuelle de chaque apprenant-joueur) et/ou collectif (évaluation collective du groupe d'apprenants).
- **La prise en compte de l'aspect émotionnel** : permet d'étudier et d'évaluer les états émotionnels/affectifs des joueurs.
- **L'adaptation** : permet d'adapter le jeu selon les profils détectés des joueurs.

Nom du jeu et référence du travail d'évaluation	Multi-joueurs	Type d'évaluation	Niveau d'évaluation	Prise en compte des émotions	Adaptation
SimFor [68]	Oui	Formative et sommative	Individuel et collectif	Non	Oui (adaptabilité des PNJ)
Dread-Ed [51]	Oui	Sommative	Individuel et collectif	Non	Non
Stop Disasters [64]	Non	Sommative	Individuel	Non	Non
Sprite [91]	Non	Sommative	Individuel	Non	Non
VigiFlood [4]	Non	Sommative	Individuel	Non	Non
FloodSim [75]	Non	Sommative	Individuel	Non	Non

TABLE 2.4. – Tableau comparatif des travaux d'évaluation dans les JSGC

Le tableau 2.4 nous a permis de dégager principalement quatre observations à savoir :

- **Une minorité de travaux d'évaluation s'intéressent aux JSGC multi-joueurs** : de nombreux travaux d'évaluation dans les JSGC visent à évaluer

les apprenants dans un contexte d'apprentissage simple impliquant un seul joueur pendant une session de jeu. Toutefois, la question de l'évaluation collective dans les jeux multi-joueurs reste très peu abordée pour plusieurs raisons. Premièrement, l'absence d'évaluation collective est surtout due au nombre faible des jeux sérieux multi-joueurs traitant l'apprentissage collaboratif des procédures de gestion de crise [51]. Deuxièmement, l'évaluation devient de plus en plus complexe lorsqu'elle doit prendre en compte non seulement les actions individuelles des acteurs mais également le résultat de leurs interactions sociales. Troisièmement, l'apprentissage collectif dans le domaine de gestion de crise cible l'apprentissage des compétences hétérogènes où le processus collaboratif passe par la réalisation de plusieurs tâches différentes effectuées par des acteurs ayant des rôles différents mais un objectif global commun [68].

- **Absence de travaux qui considèrent l'aspect émotionnel/affectif dans l'évaluation des apprenants durant une session de jeu pour la formation à la gestion de crise** : en effet, l'aspect affectif ou émotionnel représente un facteur primordial qu'il faut prendre en compte dans le processus d'évaluation parce qu'il est le point de départ de toutes les réactions que nous avons vers une crise. Les sentiments négatifs et les émotions négatives comme le stress, la frustration, la colère et la peur représentent un vrai obstacle devant l'établissement d'une réponse positive à une situation de crise [30].
- **Peu de travaux se focalisent sur l'évaluation à la fois formative et sommative à deux niveaux : individuel et collectif** : la formation à la gestion de crise présente plusieurs besoins spécifiques (particularités) du fait de son caractère multi-acteurs, multi-compétences avec des émotions hétérogènes qui requièrent une évaluation formative aussi bien qu'une évaluation sommative à deux niveaux : un niveau individuel (de chaque apprenant) et un niveau collectif (du groupe d'apprenants) en utilisant les techniques de l'intelligence artificielle.
- **Manque de travaux d'adaptation des JSGC** : la plupart des travaux de l'évaluation se limitent au dégagement des jugements sur l'usage d'un JSGC particulier, mais ne les exploitent pas pour améliorer l'environnement ou l'adapter aux profils des apprenants-joueurs.

Toutes les observations citées précédemment nous permettent de confirmer que l'évaluation dans les JSGC suscite encore beaucoup plus d'efforts pour combler les failles des travaux présentés. Ces travaux doivent nous permettre d'identifier les problèmes qui pourraient bloquer l'évolution du concept de jeu sérieux ou diminuer son efficacité pour l'apprentissage.

Compte tenu des idées déjà proposées ainsi que des faiblesses identifiées dans ce domaine, il nous apparaît primordial de proposer, dans le cadre de cette thèse, un travail d'évaluation et d'adaptation dans les JSGC collaboratifs en se basant

sur des critères variés caractérisant les états cognitif, social et émotionnel des apprenants. Cette proposition est décrite dans la sous-section suivante.

2.4.2. Solution proposée et objectif

En nous appuyant sur la critique précédente des travaux existants, il semble qu'il n'existe pas de méthode ou approche permettant l'évaluation (individuelle et collective) et l'adaptation d'un JSJC multi-joueurs basée sur des critères pédagogiques, sociaux et émotionnels. Afin de combler cette lacune, nous proposons une nouvelle approche exploitant les traces numériques d'interactions des apprenants avec un JSJC collaboratif pour deux fins complémentaires : l'évaluation et l'adaptation.

Dans un premier temps, la collecte et le traitement automatique de données issues du jeu permettent d'évaluer son adéquation. Cette évaluation s'effectue à deux niveaux :

- **Un niveau individuel** : qui s'intéresse à l'adéquation du jeu à chacun des apprenants-joueurs (via les traces d'interactions entre un seul apprenant et le jeu). A ce niveau là, nous nous focalisons surtout sur l'évaluation formative (dynamique des états affectifs) et l'évaluation sommative des états affectifs des joueurs.
- **Un niveau collectif** : qui porte sur l'adéquation du jeu au groupe des apprenants (via les traces d'interactions entre les apprenants à travers le jeu). A ce niveau là, nous nous focalisons sur l'évaluation collective des performances des joueurs, leurs interactions sociales ainsi que la génération de l'émotion du groupe.

Dans un deuxième temps, les résultats obtenus lors de l'étape précédente seront exploités pour l'adaptation du jeu aux profils détectés des joueurs. L'objectif de cette thèse consiste alors à assister l'apprentissage des procédures de gestion de crise via un jeu sérieux en améliorant les capacités d'évaluation selon des critères qualitatifs (interactions sociales, émotions) et quantitatifs (durée, succès de la gestion de crise, perte humaine/matérielle etc.) en utilisant les techniques de la fouille de données éducatives et l'intelligence artificielle.

La figure 2.4 présente l'approche de l'évaluation dans les JSJC que nous proposons en précisant les différents acteurs impliqués dans le processus d'évaluation. En effet, l'apprenant-joueur va jouer le jeu pour atteindre les objectifs pédagogiques qui lui ont été affectés. Le jeu est basé sur un scénario particulier de gestion de crise. Ce scénario doit être validé par un expert du domaine. Une fois la session de jeu terminée, le formateur (ou le chercheur) collecte les données produites par les interactions des joueurs avec le jeu pour les analyser et ainsi produire une évaluation de leurs comportements et du jeu en question.

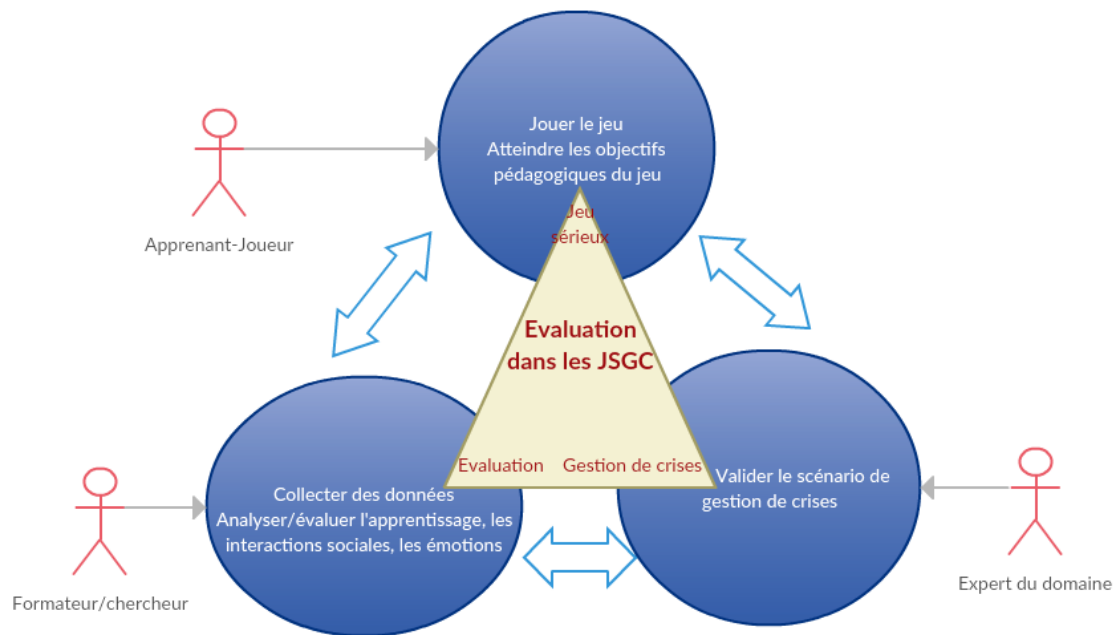


FIGURE 2.4. – Notre approche d'évaluation dans les JSGC

2.5. Conclusion

L'évaluation est une étape cruciale voire vitale pour la diffusion et la progression des jeux sérieux. C'est d'ailleurs pour cette raison que cette évaluation a fait l'objet d'une multitude de travaux de recherche. Ce chapitre a présenté une revue systématique de la littérature axée sur l'évaluation des apprenants-joueurs dans les JSGC. La synthèse réalisée dans ce contexte nous a permis de prendre connaissance des différentes perceptions des travaux d'évaluation proposés ; et de récapituler les limitations de ces travaux afin de nous positionner par rapport à l'existant. Nous avons constaté aussi 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 notamment l'état émotionnel. Toutes ces constatations ont motivé les contributions que nous développons dans les chapitres suivants.

Partie II

CONTRIBUTIONS

3. Un cadre théorique pour l'évaluation des apprenants dans les jeux sérieux de gestion de crise

Sommaire

3.1	Introduction	50
3.2	Contexte théorique	51
3.2.1	Informatique affective et émotions	51
3.2.2	Théorie du Flow	55
3.2.3	Modèle de déséquilibre cognitif	56
3.2.4	Fouille de données éducatives	58
3.3	Le concept de facette d'évaluation	59
3.3.1	Facette pédagogique	61
3.3.2	Facette émotionnelle	61
3.3.3	Facette sociale	61
3.4	Grille d'analyse multicritères pour la caractérisation et l'évaluation des JSGC	62
3.5	Cadre théorique pour l'évaluation individuelle et collective dans les JSGC basé sur les états émotionnels	64
3.5.1	Architecture générale du cadre proposé	64
3.5.2	Processus d'évaluation émotionnelle individuelle	67
3.5.3	Processus d'évaluation collective	67
3.6	Conclusion	69

3.1. Introduction

Depuis plusieurs années, comme le montre le chapitre précédent, l'évaluation dans les JSGC a fait l'objet de plusieurs travaux qui diffèrent selon l'approche adoptée, la technique utilisée, les caractéristiques du scénario de jeu étudié et les critères visés. Compte tenu de la spécificité de la tâche d'évaluation d'une façon générale et de la particularité des environnements de JSGC, nous commençons, dans ce chapitre, par une étude des fondements théoriques (modèles

et théories) nécessaires pour répondre à la problématique déjà exposée. A partir de l'étude bibliographique effectuée, nous avons travaillé sur le regroupement des *critères* les plus pertinents pour l'évaluation de succès des JSGC ainsi que les *indicateurs* correspondants permettant de les mesurer. Cette étape d'analyse nous permet de proposer le concept de *facette d'évaluation* servant de base pour regrouper les *critères* et les *indicateurs* retenus selon trois types de *facettes* à savoir la *facette pédagogique, émotionnelle* et *sociale*. Puis, nous élaborons une *grille d'analyse* multicritères pour la caractérisation et l'évaluation des JSGC basée sur le concept de facette. Enfin en nous appuyant sur cette grille, nous proposons un *cadre théorique* pour l'évaluation individuelle et collective dans les jeux sérieux collaboratifs de gestion de crise.

Cette contribution a donné lieu à la publication intitulée "*Towards a Grid for Characterizing and Evaluating Crisis Management Serious Games : A Survey of the Current State of Art*" dans une revue spécialisée en gestion de crise : "*International Journal of Information Systems for Crisis Response and Management*" [30].

3.2. Contexte théorique

Compte tenu du rôle important des émotions dans l'amélioration de l'efficacité des JSGC, nous consacrons cette section à *l'informatique affective* en nous focalisant sur le cadre conceptuel qu'elle offre pour améliorer l'engagement des apprenants tel qu'il est défini par *la théorie du Flow*. Par la suite, nous présentons le domaine de *la fouille de données éducatives* ainsi que ses outils techniques et modèles permettant l'analyse des émotions et l'efficacité d'un JSGC particulier pour des attendus pédagogiques spécifiques.

3.2.1. Informatique affective et émotions

L'une des premières mentions du terme "*Informatique Affective*" était introduite par Picard en 1997 [71]. Selon Picard, ce terme signifie "*la capacité d'un dispositif informatique à reconnaître, modéliser, interpréter et simuler l'état affectif humain*" [71]. Cet *état affectif* est un phénomène complexe comprenant plusieurs éléments à savoir les émotions, les sentiments, l'humeur, les traits de personnalité, les besoins et le bien-être subjectif [76]. Cependant, l'émotion reste l'état affectif le plus pertinent car elle joue un rôle crucial dans la vie quotidienne de l'être humain, notamment dans la prise de décision, l'apprentissage, la communication et la conscience des situations [76][50]. C'est pour cette raison que nous nous focalisons dans notre travail sur les *émotions* ainsi que leur détection et analyse.

Malgré son sens flou et le grand nombre de définitions différentes du concept d'*émotion*, beaucoup s'accordent à dire que l'émotion est "*une réaction à des évé-*

nements jugés pertinents par rapport aux besoins et aux objectifs d'un individu" [71]. L'émotion est caractérisée par un état affectif intense de courte durée, et est activée par l'évaluation d'un événement qui l'a provoqué [67]. Le concept de l'émotion est complexe à comprendre et englobe quatre aspects principaux à savoir *l'expérience subjective* (sentiments de plaisir ou de déplaisir), *les aspects cognitifs* (attention portée aux stimuli pertinents), *les aspects physiologiques* (rythme cardiaque, intensité respiratoire, température, tension musculaire) et *les aspects comportementaux* (expressions faciales et tendances d'action spécifiques) [76]. Dans la littérature, il existe différents modèles et théories qui visent à représenter les émotions. Ils peuvent être classés en trois grandes catégories comme suit :

- **Le modèle discret** : il représente l'émotion par des étiquettes provenant de listes prédéfinies. Le modèle le plus connu dans ce cadre est celui d'Ekman [70] qui suggère une classification selon les six émotions basiques suivantes : *la colère, la joie, la peur, la surprise, le dégoût et la tristesse*. La figure 3.1 montre les émotions basiques d'Ekman en relation avec des expressions faciales.

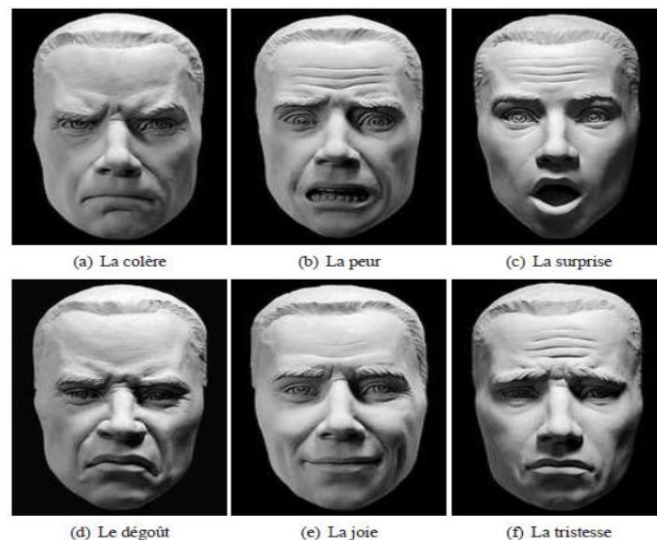


FIGURE 3.1. – Emotions basiques d'Ekman [70]

- **Le modèle dimensionnel** : dans ce modèle, chaque émotion est représentée comme un point dans un système multidimensionnel. Le modèle le plus reconnu, proposé par Russell [79] et comme le montre la figure 3.2, considère une émotion comme une combinaison des *dimensions de l'excitation et de la valence*. La dimension de la *valence* distingue entre émotion agréable (ou positive) et désagréable (ou négative) ; tandis que la dimension de l'*excitation* décrit le niveau d'activation (intensité) lié à une expérience affective, allant du calme à l'excitation extrême.

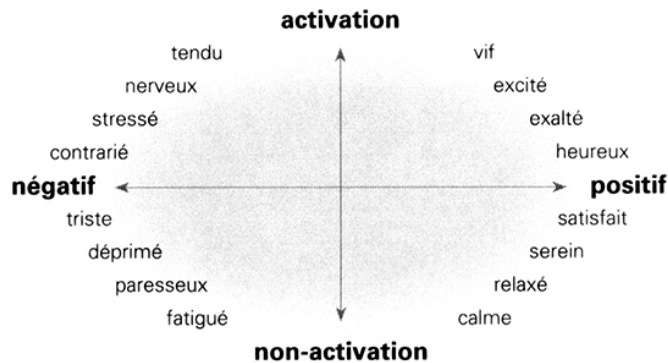


FIGURE 3.2. – Modèle bi-dimensionnel de Russell [79]

- **La théorie de l'évaluation cognitive** : elle adopte une approche légèrement différente pour la représentation des émotions. Cette théorie considère que l'émotion est le *résultat d'une évaluation cognitive* déclenchée par une situation ou un événement particulier. L'un des modèles représentatifs les plus largement adoptés de cette théorie est le modèle OCC d'Ortony, Clore et Collins [67].

Comme les individus peuvent exprimer leurs émotions de différentes manières, il existe également différentes techniques pour détecter et reconnaître les émotions exprimées [33][34]. En effet, l'informatique affective vise à collecter des informations sur les états affectifs des utilisateurs à partir de diverses sources de données, y compris des sources verbales comme le texte et la voix, ainsi que des sources non-verbales comme les données comportementales (expressions faciales, postures et mouvements du corps) et les données physiologiques (rythme cardiaque, respiration, température du corps, activité cérébrale) [74][60].

En général, les outils et les techniques qui permettent de mesurer et de détecter les émotions reposent sur des capteurs, des caméras, des microphones, des questionnaires, ainsi que des entretiens. Par exemple, une caméra peut être utilisée pour détecter les expressions faciales des personnes et/ou leurs postures. De plus, un microphone peut être utilisé pour enregistrer la voix de la personne. Le choix de la technique ou de l'outil à utiliser dépend des besoins des utilisateurs et du type de l'émotion qu'on désire détecter [50]. Après avoir détecté des émotions à partir de différentes sources de données à l'aide des outils cités précédemment, les données émotionnelles doivent être traitées et analysées en appliquant diverses méthodes d'IA telles que les algorithmes d'apprentissage automatique, les techniques de la fouille de données ainsi que les systèmes multi-agents [50][60].

Pour une meilleure synthèse des nombreux travaux sur l'informatique affective,

tive, nous proposons une *taxonomie* illustrée par la figure 3.3. Cette contribution peut être utile aux chercheurs désirant explorer ce domaine en répondant aux quatre questions principales suivantes : (1) Quels sont les *modèles/théories psychologiques* qui représentent le concept de l’émotion ? (2) Quel type de *source de données* peut être utilisé pour détecter les émotions ? (3) Quels *outils* utilisés pour détecter l’état émotionnel des personnes ? Et (4) Quelles sont les principales *techniques* permettant d’analyser les émotions détectées ?

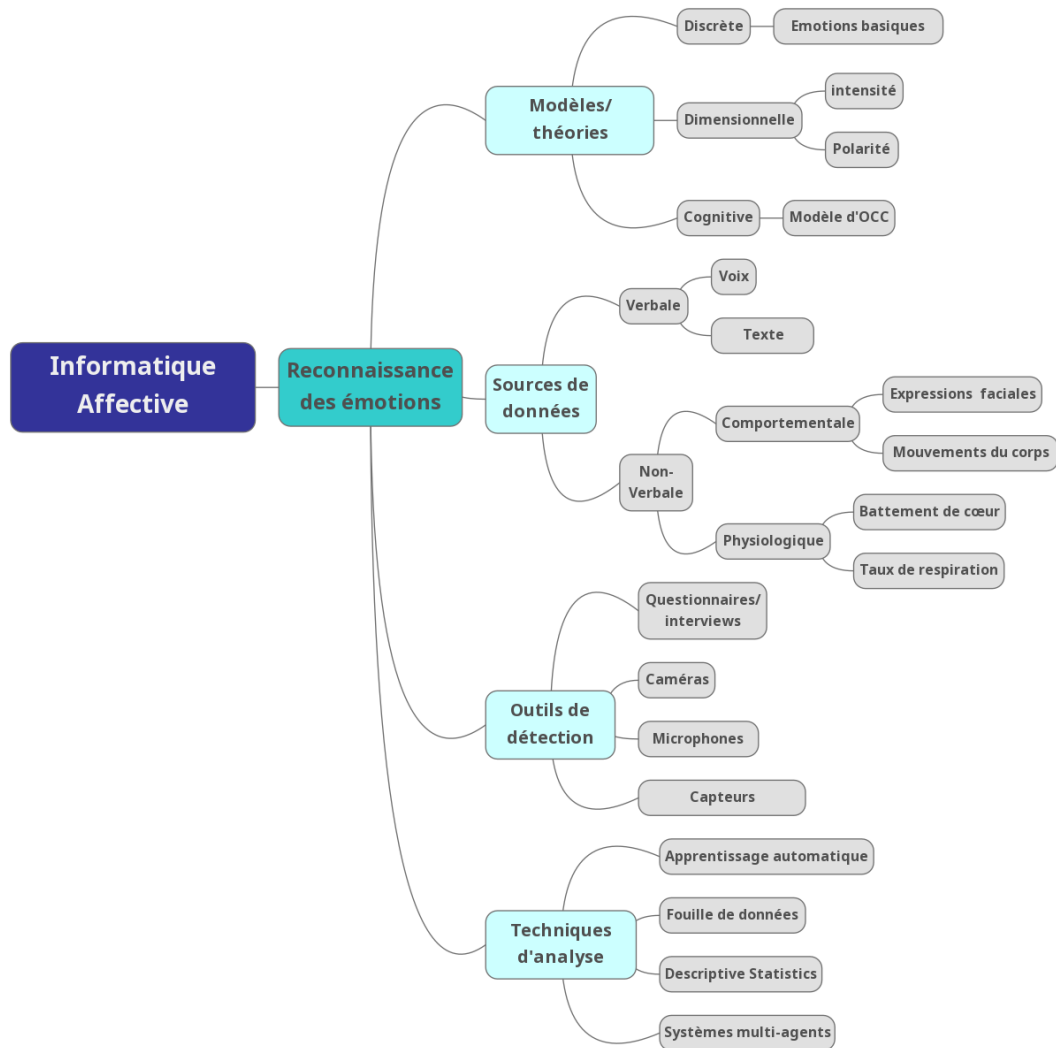


FIGURE 3.3. – Notre taxonomie de l’informatique affective

Une série d’études récentes ont prouvé que les *émotions basiques* identifiées par Ekman [70] ne sont pas suffisamment significatives dans les Environnements Informatiques pour l’Apprentissage Humain (EIAH) [34] [76]. Dans ces environ-

nements, nous étudions plutôt un ensemble d'états *cognitifs-affectifs* qui sont plus pertinents pour l'apprentissage. Ces états affectifs représentés par une combinaison d'émotions basiques sont les suivants : le *Flow* (ou l'engagement), la *frustration* (ou l'anxiété), la *confusion* (ou l'apathie), et l'ennui [36].

La sous-section suivante vise alors à présenter la *théorie du Flow* telle qu'elle est définie par Csíkszentmihályi [26] décrivant les états affectifs cités précédemment.

3.2.2. Théorie du Flow

La théorie du Flow, développée par le psychologue Csíkszentmihályi, représente la psychologie du bonheur ou de l'expérience optimale qui désigne "*un état mental de bien-être que peut connaître un individu immergé dans la réalisation d'une activité qu'il perçoit comme un défi*" [26]. Appliqué à un contexte de jeu sérieux, le sentiment de vivre une expérience optimale d'apprentissage est l'un des déterminants majeurs de la persistance en formation [92][90][14]. L'état du Flow, appelé aussi "*l'engagement concentré*", est une expérience autotélique qui se caractérise par huit dimensions conceptuelles. Celles ci sont classées en deux catégories : la première représente les *conditions* permettant l'atteinte de l'état du Flow et la deuxième représente les *caractéristiques* de cet état [26].

Les *conditions* sont [25] :

- **La concentration de l'acteur** : être en mesure de se concentrer sur l'activité,
- **La précision et la clarté des buts** : savoir ce qui doit être fait et comment cela pourra se réaliser,
- **L'équilibre défi-compétences** : savoir que l'activité est réalisable et que les compétences sont adéquates,
- **La clarté des feedbacks** : la tâche ou l'environnement fournit une rétroaction immédiate.

Les *caractéristiques* sont [25] :

- **La perte de la conscience de soi** : pas de soucis à propos de soi, le sentiment d'une dilation de soi au-delà des frontières habituelles de l'ego,
- **L'altération de la perception du temps** : le temps écoulé durant l'activité peut paraître plus long ou plus court que ce qu'il n'est en réalité en fonction de l'activité menée,
- **Le contrôle serein sur le déroulement de l'action** : percevoir que nous pouvons contrôler nos actions,
- **L'autotélisme de l'expérience** : sentiment de plaisir, d'extase, d'amusement, de bien-être et d'être en dehors de la réalité quotidienne.

Le Flow, l'anxiété, la confusion et l'ennui sont des états émotionnels, très souvent appelés *états cognitifs-affectifs*, pouvant être produits durant une session d'apprentissage par jeu [36]. Les apprenants peuvent ressentir de *l'ennui*, un état d'inactivité et de manque d'intérêt, lorsque le jeu ne les attire pas. Cet état se produit lorsque leur niveau de compétences est très élevé et le niveau de défi (difficulté) du jeu est très faible. En revanche, les apprenants peuvent éprouver de *l'anxiété*, un état d'insatisfaction, lorsqu'ils font des erreurs et se retrouvent bloqués. L'état d'*anxiété* se produit lorsque leur niveau de compétences est très faible et le niveau de défi du jeu est très élevé. Le *Flow* est un état mental dans lequel l'implication et le plaisir dans le processus d'apprentissage sont si forts que la perception du temps et de la fatigue disparaît [26]. Comme le montre la figure 3.4, l'état du *Flow* se produit lorsque les niveaux de compétences des apprenants et de défi du jeu sont très élevés. Cependant, l'état de *confusion* est un état d'incertitude vécu lorsque les apprenants ont des difficultés pour comprendre le jeu et ne savent pas comment procéder. L'état de *confusion* se produit lorsque les deux niveaux de compétences des apprenants et de défi du jeu sont très faibles.

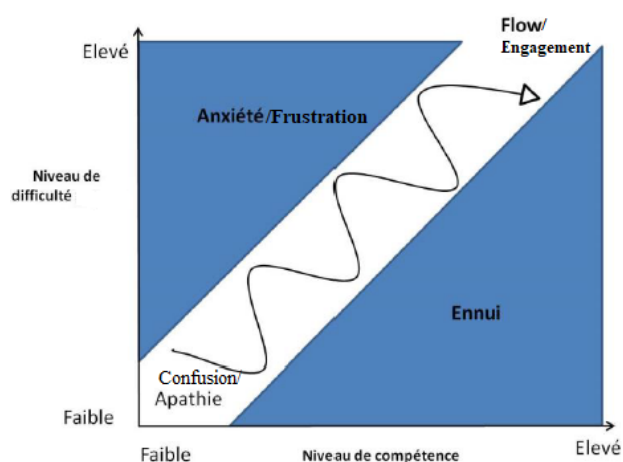


FIGURE 3.4. – Diagramme de la théorie du Flow (reproduit à partir de [26])

La sous-section suivante présente le *modèle de déséquilibre cognitif* [35] qui étudie la dynamique des états affectifs des apprenants au cours du temps durant des activités d'apprentissage complexes.

3.2.3. Modèle de déséquilibre cognitif

Pendant une session d'apprentissage par jeu, les apprenants changent périodiquement leurs états cognitifs-affectifs. Un modèle théorique, appelé le *modèle de*

déséquilibre cognitif, a été proposé pour étudier les transitions possibles entre les états affectifs des apprenants durant leurs activités dans des sessions d'apprentissage relativement courtes [36]. Ce modèle suppose que les apprenants sont dans un état de base d'engagement jusqu'à ce qu'ils font face à des contradictions, des anomalies, des retours d'information inattendus, des erreurs, des incertitudes et d'autres obstacles. La confusion est un état clé du déséquilibre cognitif qui se produit lorsqu'une impasse est détectée [35]. Les apprenants retournent à l'état d'engagement si l'équilibre est rétabli par une pensée, une réflexion, ou une résolution des problèmes. Cependant, lorsque la source de la confusion n'est jamais résolue, l'apprenant reste bloqué et des objectifs importants ne sont pas atteints. Dans cette situation, l'apprenant devient frustré, puis s'ennuie si la frustration persiste. L'état d'ennui représente un point critique où l'apprenant se désengage totalement du processus d'apprentissage [35].

La figure 3.5 illustre le modèle de déséquilibre cognitif sous forme d'un réseau d'états et de transitions. Les noeuds (cercles) présentent les états affectifs (entre parenthèses) et leurs causes présumées (en gras). Les liens (en rouge) présentent les situations qui déclenchent les transitions entre les différents états. Ces liens (en rouge) ont été confirmés par des expérimentations décrites dans [35]. Cependant, les auteurs ont affirmé, dans la discussion, que d'autres transitions de la frustration à la confusion ou à l'engagement peuvent être envisagées dans d'autres scénarios. En outre, le travail de [36] a confirmé la présence des oscillations de l'ennui à la frustration et de la frustration à la confusion dans un contexte d'apprentissage complexe (liens en vert).

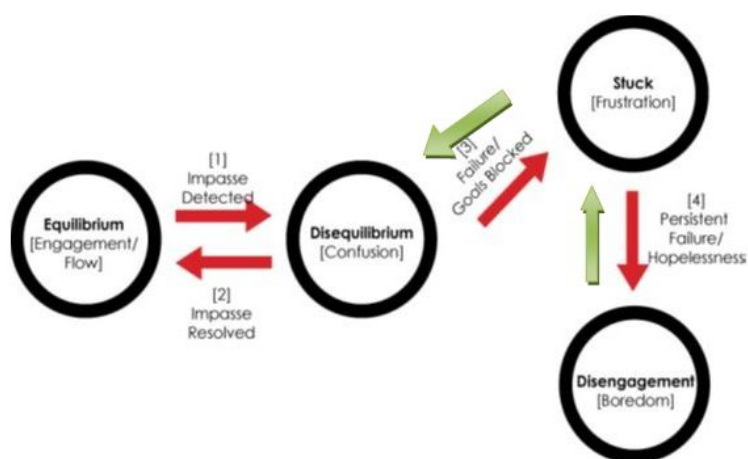


FIGURE 3.5. – Modèle de déséquilibre cognitif [35]

La sous-section suivante présente une approche de la *fouille de données éduca-*

tives (*Educational Data Mining EDM*) et ses composantes qui offrent des outils techniques permettant de détecter et d'analyser les émotions.

3.2.4. Fouille de données éducatives

La fouille de données éducatives (*Educational Data Mining EDM* en anglais) est un domaine de recherche qui explore des données issues des apprenants et de leurs contextes d'apprentissage en appliquant des algorithmes de statistiques, de l'apprentissage automatique, de l'éducation, et de la psychologie cognitive. Le domaine émergent de l'EDM est principalement utilisé pour comprendre comment les utilisateurs apprennent dans le contexte des EIAH, notamment les systèmes de tutorat intelligents, les cours en ligne ouverts et massifs et les jeux sérieux. Il offre de nouveaux outils pour découvrir des connaissances à partir d'une grande variété de types de données numériques provenant de différentes sources de données comme les fichiers journaux (traces d'interaction), ainsi que des données multimodales telles que les expressions faciales et d'autres données provenant des capteurs physiologiques [8][77].

Il existe différentes applications (ou usages) de l'EDM. Ces applications peuvent être classifiées en fonction de l'utilisateur final visé à savoir *les apprenants, les formateurs (ou les instructeurs), les chercheurs et les administrateurs* [77] :

- La modélisation des *apprenants* est un processus qui vise à analyser et à représenter les principales caractéristiques des activités des apprenants, telles que les connaissances acquises, les traits de personnalité et les états émotionnels.
- Pour les *formateurs*, l'analyse et la visualisation des données, en fournissant des rapports contenant des informations utiles sur les différents aspects des apprenants, peuvent les aider à prendre des décisions afin d'améliorer les performances de la formation.
- Pour les *chercheurs*, l'analyse des données éducatives peut les aider à mieux comprendre les interactions des apprenants avec les EIAH et éventuellement à proposer de nouvelles méthodes pour évaluer leur efficacité pédagogique et ainsi personnaliser l'expérience de l'apprentissage.
- Les algorithmes de l'EDM peuvent être exploités par les *administrateurs* pour évaluer la meilleure façon d'organiser les ressources institutionnelles (humaines et matérielles) et leur offre éducative [8].

Il existe également de multiples méthodes et techniques de l'EDM à utiliser pour chacune des diverses applications citées précédemment. Ces méthodes et techniques sont les mêmes que celles utilisées dans le domaine de la fouille de données en général, comme la classification et la régression, l'extraction des règles d'association, et la visualisation [8].

Pour une meilleure synthèse des nombreux travaux pertinents sur l'EDM, nous proposons une taxonomie illustrée par la figure 3.6. Cette contribution peut être

utile aux chercheurs désirant explorer ce domaine en répondant aux cinq questions principales suivantes : (1) quels sont les principaux *EIAH* concernés ? (2) Quels sont les *acteurs* considérés ? (3) Quel type de *sources de données* peut être exploitée ? (4) Quels sont les différentes *applications* ? Et (5) Quelles sont les principales *méthodes et/ou techniques* permettant l'analyse des données ?

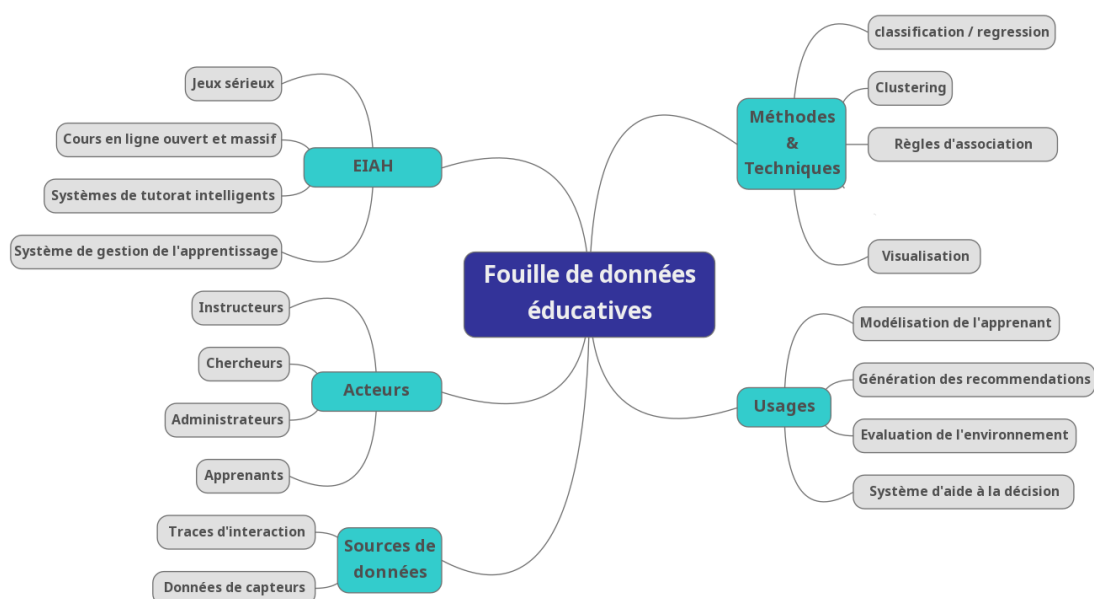


FIGURE 3.6. – Notre taxonomie de la fouille de données éducatives (EDM)

Après avoir présenté les concepts théoriques nécessaires pour notre travail de recherche, nous réservons la section suivante pour introduire notre contribution en commençant par le concept que nous proposons à savoir *facette d'évaluation*. Cette contribution enrichit les travaux de la littérature déjà existants pour mieux répondre à nos questions de recherche posées dans le deuxième chapitre.

3.3. Le concept de facette d'évaluation

Dans cette section, nous proposons le concept de facette d'évaluation associé à un certain nombre de critères et d'indicateurs pour évaluer l'efficacité (et alors le succès) d'un JSJC spécifique.

En effet, l'un des enjeux majeurs de la recherche dans le domaine des EIAH, notamment le domaine des JSJC, est la découverte des *facteurs de succès* contribuant à l'efficacité de ces environnements. Cette découverte est cruciale pour comprendre et analyser les critères de validation d'un apprentissage particulier par un JSJC. Ainsi, un jeu sérieux de gestion de crise peut être considéré comme un outil de formation efficace si tout d'abord (1) les attendus pédagogiques sont

validés, et (2) s'il offre une valeur ajoutée par rapport aux formations classiques (comme les exercices sur le terrain d'entraînement) [30].

Dans le premier cas, se pose la question de la validation de l'apprentissage, c'est-à-dire comment décider ou mesurer le succès du transfert des connaissances et des compétences acquises. Le deuxième cas met en exergue les concepts de motivation et d'engagement qui décrivent l'état émotionnel des apprenants à même de favoriser l'assimilation des connaissances et le développement des compétences. Dans tous les cas, le terme "connaissance" recouvre plusieurs réalités selon qu'il décrive des connaissances déclaratives (informations devant être apprises), procédurales (typiquement en situation de résolution de problèmes), émotionnelles ou sociales (par exemple attitude de coopération ou gestion de conflits) [30].

A ces objectifs d'apprentissage correspondent des traces ou des données produites par les apprenants-joueurs au cours du déroulement du jeu. Une même donnée peut être exploitée différemment selon l'objectif d'évaluation : mesurer le degré d'acquisition des connaissances et/ou caractériser l'état émotionnel du ou des apprenants. Par une boucle rétroactive, l'information de cet état peut améliorer le chemin pédagogique suivi par les apprenants et ainsi leur apprentissage.

Afin de répondre à cet enjeu, *trois types de facettes d'évaluation* sont proposées en relation avec trois types d'aspects caractérisant les états des apprenants-joueurs à savoir l'état cognitif (compétences, connaissances), l'état émotionnel (engagement, frustration, ennui) et l'état social (communication, coordination, collaboration). D'où les appellations suivantes des facettes : *facette pédagogique*, *facette émotionnelle*, et *facette sociale*.

Chaque facette d'évaluation proposée se compose de deux éléments à savoir :

- **Critères d'évaluation** : qui représentent entre autres les facteurs de succès d'un JSJC, en relation avec la facette étudiée, devant être pris en considération lors du processus d'évaluation des apprenants-joueurs.
- **Indicateurs et/ou méthodes d'évaluation** : qui sont élaborés à partir des traces d'interaction permettant de quantifier les critères identifiés et ainsi de produire une évaluation des apprenants et du jeu en question au regard de la facette concernée.

Dans ce qui suit, nous détaillons chacune des facettes d'évaluation proposées. Le lecteur ou la lectrice notera que la contribution proposée se focalise surtout sur la *facette émotionnelle et sociale* et la facette pédagogique ne sera pas traitée en détail puisque l'aspect pédagogique a été traité suffisamment dans la littérature.

3.3.1. Facette pédagogique

La facette pédagogique est une composante indispensable pour l'évaluation de tout exercice de gestion de crise [68]. En effet, l'évaluation de cette facette consiste à mesurer le niveau d'atteinte des objectifs pédagogiques préalablement fixés mais aussi à identifier les difficultés rencontrées par les apprenants. Elle a pour but de dégager des retours d'expériences permettant de retirer tous les enseignements possibles en vue d'améliorer le scénario développé et l'expérience de jeu.

Dans le contexte de gestion de crise, l'évaluation de la facette pédagogique est basée généralement sur les réponses des joueurs aux questionnaires, les indicateurs/paramètres de performance des joueurs dans le jeu (*système de score*), la comparaison du comportement observé du joueur avec un scénario de référence, ou une session de débriefing humain organisée à la fin de la session de jeu [30]. Les retours et les informations recueillies seront d'un grand intérêt pour évaluer les compétences et les connaissances aussi bien acquises que manquantes et par la suite pour identifier les voies d'amélioration.

3.3.2. Facette émotionnelle

L'état émotionnel de l'apprenant représente un facteur essentiel pour la persistance dans le processus d'apprentissage ou de formation par jeu. Il s'agit de conserver l'intérêt du joueur, de renforcer sa motivation, d'éviter son ennui ou son angoisse qui peuvent nuire grandement à son apprentissage. L'évaluation de cette facette consiste alors à étudier et analyser les émotions des joueurs ressenties au cours du déroulement d'une session de jeu.

Dans le contexte de gestion de crise, l'évaluation de la facette émotionnelle devra se baser sur plusieurs modèles et théories de l'informatique affective à savoir le modèle des émotions basiques d'Ekman [70], le modèle bidimensionnel d'émotions de Russel [79], et la théorie du Flow [26] afin de mesurer le niveau d'engagement des joueurs.

3.3.3. Facette sociale

Dans les JSGC multi-joueurs collaboratifs, l'aspect social est un facteur primordial car il est le moteur de la collaboration entre les acteurs de la gestion de crise ; et un JSGC doit alors soutenir ces mécanismes sociaux et donner la possibilité d'évaluer dans quelle mesure ils sont efficaces. L'évaluation de cette facette comporte une étude et une analyse des interactions sociales (communication simple, coordination, collaboration) entre les différents participants de la session de jeu

caractérisant ainsi la dimension collective de la situation d'apprentissage.

Dans le contexte de gestion de crise, l'évaluation de la facette sociale est basée généralement sur un ensemble d'indicateurs quantitatifs mesurant la communication au niveau individuel ainsi que la coordination et la collaboration au niveau de groupe [78]. Par ailleurs, nous devons prendre en compte les caractéristiques spécifiques d'un scénario particulier de gestion de crise afin d'évaluer la qualité de ces interactions selon un scénario expert [24].

La section suivante est consacrée à la présentation d'une grille d'analyse pour la caractérisation et l'évaluation des JSGC basé sur le concept proposé de la facette. Cette grille a été conçue après la lecture de plusieurs papiers ciblés du domaine des jeux sérieux [30].

3.4. Grille d'analyse multicritères pour la caractérisation et l'évaluation des JSGC

Suite à l'étude décrite dans la section précédente, nous nous proposons dans cette partie de synthétiser l'ensemble des facettes ainsi que ses composants (critères et indicateurs) sous forme d'un grille d'analyse. Une telle grille sera la base d'un cadre théorique permettant de collecter d'une part des informations sur les caractéristiques d'un JSGC particulier et d'identifier d'autre part les critères de son évaluation ainsi que les indicateurs associés (qualitatifs et/ou quantitatifs).

L'objectif de cette grille est de regrouper tous les critères affectant l'efficacité d'un JSGC afin de mieux orienter leur évaluation. Cette évaluation permet d'améliorer les résultats de l'apprentissage et ainsi maximiser l'utilisation de ce concept dans les formations réelles de gestion de crise. La grille, comme le montre la figure 3.7 intitulée "*Grille d'Analyse Multicritères pour la Caractérisation et l'Évaluation des Jeux Sérieux de Gestion de Crise*", décrit un schéma de classification qui peut être considéré comme un outil descriptif et évaluateur des JSGC. Afin de faciliter la lecture de la grille, nous proposons de la subdiviser en deux thèmes principaux incluant plusieurs critères analytiques à savoir "*la caractérisation*" et "*l'évaluation*". Ces thèmes constituent un support riche pour à la fois caractériser et évaluer le succès d'un jeu sérieux pour la formation à la gestion de crise [30].

Le premier thème, appelé "*Critères de Caractérisation des JSGC*", fournit une description brève du jeu. Il se compose des critères qualitatifs les plus pertinents utilisés pour décrire les caractéristiques générales d'un JSGC consistant à : la *nature* (mono ou multi-joueurs), le *type de crise étudiée* (naturelle, humaine ou technologique), le *déploiement* (en ligne, mobile, standalone), le *public ciblé* (étudiants, enfants, professionnels), le *contexte d'apprentissage* (compétences tech-

niques et/ou non-techniques), et les *objectifs pédagogiques (finalité d'usage)* (sensibilisation à un problème particulier, transfert de connaissances, développement d'une compétence) [30]. Nous jugeons que toutes ces caractéristiques affectent considérablement le déroulement et les résultats du jeu, c'est pour cette raison qu'elles doivent être prises en compte dans le processus d'évaluation.

Le deuxième thème, appelé "*Facettes d'Évaluation des JSGC*", représente les trois dimensions qu'il faut prendre en compte pour produire une évaluation complète de l'efficacité d'un JSGC à savoir les dimensions *pédagogique, émotionnelle, et sociale*. En adoptant notre vision de facette d'évaluation, il nous est désormais plus facile d'identifier les critères ainsi que leurs indicateurs correspondants. En effet, pour chaque critère d'évaluation identifié, nous avons suggéré un ensemble d'indicateurs quantitatifs et/ou qualitatifs permettant sa mesure pour produire une évaluation des apprenants comme décrit dans la section précédente.

Critères de Caractérisation des JSGC	
Nature : mono ou multi-joueurs collaboratif	
Public visé : professionnels du domaine, étudiants, enfants	
Type de crise : naturelle, humaine ou technologique	
Contexte d'apprentissage : compétences techniques et/ou non-techniques	
Déploiement : en ligne, mobile, standalone	
Finalité d'usage : sensibilisation, développement de compétences, transfert de connaissances	
Facettes d'Évaluation des JSGC	
Critères	Indicateurs/méthodes
Facette pédagogique	
Compétences	Performance : actions réalisées, score, temps écoulé, nombre de victimes
Connaissances	Session de débriefing humain, questionnaires
Facette émotionnelle	
Etat affectif-cognitif de chaque joueur	Intensités des six émotions basiques d'Ekman : Joie, Tristesse, Peur, Colère, Dégoût, Surprise
	Les quatre états de la théorie du Flow : Engagement, Frustration, Ennui, Apathie
Etat émotionnel du groupe d'apprenants	Polarité d'émotion de groupe : Positive ou Négative
Facette sociale	
Communication	Mesures de centralité
Coordination/collaboration	Mesure de densité & contextualisation du scénario de référence

FIGURE 3.7. – Grille d'analyse multicritères pour la caractérisation et l'évaluation des jeux sérieux de gestion de crise

En résumé, la grille d'analyse vise à assister et guider les évaluateurs des JSGC

ainsi que les experts du domaine dans la vérification de l'adéquation d'un jeu particulier aux apprenants grâce surtout à la caractérisation générale notamment les profils du public visé comme le niveau de culture "ludique" et/ou "gestion de crise".

En se basant sur cette grille, nous proposons un cadre théorique pour résoudre notre problématique de recherche à savoir l'évaluation individuelle et collective dans les JSGC. Ce cadre théorique possède une double utilité. Sur le plan théorique, il permet de formaliser conceptuellement notre contribution, poser de nouvelles questions, et s'orienter vers des pistes de recherche. Sur le plan pratique, il devient une solution applicative qui implémente des méthodes et des techniques qui seront détaillées dans le chapitre suivant. La section suivante est consacrée à la présentation de ce cadre.

3.5. Cadre théorique pour l'évaluation individuelle et collective dans les JSGC basé sur les états émotionnels

Comme les travaux de la littérature se concentrent surtout sur l'aspect pédagogique et présentent un intérêt assez limité aux aspects émotionnels et social, nous nous focalisons dans notre travail sur l'évaluation de ces deux aspects. Dans cette section, nous présentons notre cadre théorique pour l'évaluation individuelle et collective dans les JSGC en se basant sur la grille d'analyse précédente. Pour ceci, nous commençons par décrire l'architecture générale de ce cadre et par la suite nous détaillons ses différents composants.

3.5.1. Architecture générale du cadre proposé

Comme développé dans les sections précédentes, l'efficacité des JSGC peut être améliorée par des capacités d'évaluation plus étendues basées sur une analyse approfondie des différentes caractéristiques des états des apprenants. Pour soutenir ces capacités, nous avons conçu un cadre théorique pour une évaluation dans les jeux sérieux collaboratifs pour la formation aux procédures de gestion de crise. Nous étudions comment chaque critère, qu'il soit *qualitatif* (interactions sociales, émotions) ou *quantitatif* (durée, score, nombre de victimes etc.) ainsi que les données sur lesquelles il repose, peuvent être regroupés et analysés globalement.

Le cadre proposé est composé essentiellement de deux processus : un premier processus, appelé *Processus d'Évaluation Émotionnelle Individuelle (PEEI)*, focalisant sur l'évaluation de la facette émotionnelle, et un deuxième processus, appelé *Processus d'Évaluation Collective (PEC)*, traitant l'évaluation collective au niveau

du groupe en exploitant les résultats du premier processus (pour générer l'émotion de groupe). Chacun de ces deux processus se compose principalement de trois étapes comme le montre la figure 3.8.

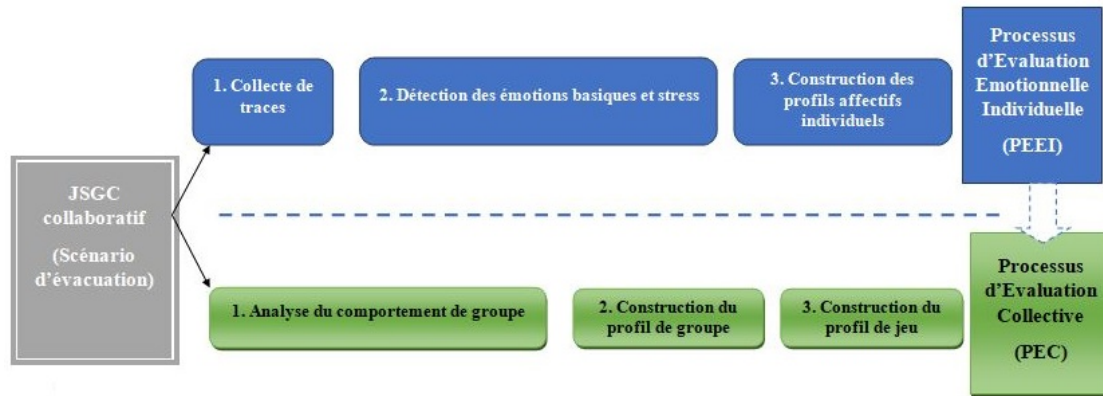


FIGURE 3.8. – Architecture globale du cadre théorique proposé

Ce cadre met en évidence les théories, les modèles, les algorithmes utilisés ainsi que les liens possibles entre eux permettant de produire des évaluations selon les trois facettes prédéfinies dans la grille présentée dans la section 3.4. La Figure 3.9 illustre le cadre théorique proposé en détaillant les étapes de ses deux processus. Dans cette figure, afin de mieux mettre en valeur nos contributions, nous avons distingué trois points :

- Ce qui relève de l'application de techniques existantes (en trait noir),
- Ce qui a nécessité une adaptation afin de répondre à nos besoins d'évaluation (en trait gris clair pointillé),
- Des propositions originales que nous avons formulées (fond gris foncé).

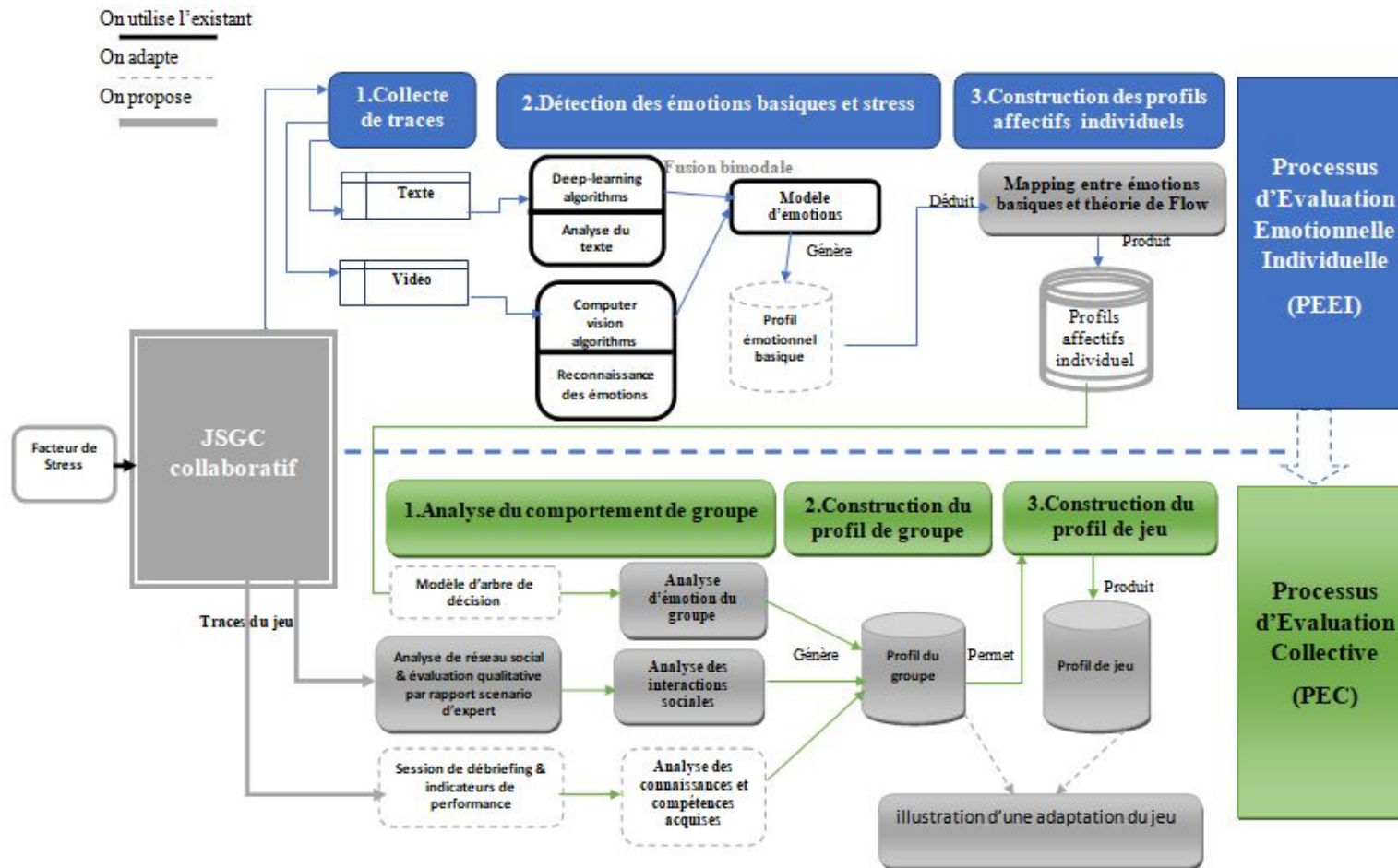


FIGURE 3.9. – Cadre théorique pour l'évaluation individuelle et collective dans les JSGC basé sur les états émotionnels

Dans ce qui suit, nous détaillons les étapes des deux processus constituant notre cadre théorique.

3.5.2. Processus d'évaluation émotionnelle individuelle

Le Processus d'Évaluation Émotionnelle Individuelle (PEEI) vise à produire une évaluation formative et sommative de l'état émotionnel des joueurs à un niveau individuel en analysant leurs émotions basiques détectées à partir des traces collectées durant une session collaborative d'un JSGC. Ce processus comprend une étude et une analyse des caractéristiques évolutives des états émotionnels des joueurs comme la transition entre les émotions ainsi que la variabilité de leurs intensités dans le temps. En effet, chaque joueur est décrit par son *état mental* (polarité d'émotions et degré d'activation) détecté à partir de ses traces pour un scénario de jeu donné. Par conséquent, ce PEEI se compose de trois étapes principales dont chacune contient un ensemble de tâches comme illustrée par la figure 3.9 :

- **Collecte de traces** : la collecte des données réelles durant l'interaction avec un JSGC constitue la première étape du PEEI. Ainsi, dans notre expérimentation, nous collectons des données visuelles (enregistrements vidéo en temps-réel) pour capturer les expressions faciales et des données textuelles (les messages échangés entre les joueurs durant la session de jeu) pour détecter les émotions à partir du texte. Pour être exploitées (traitées et analysées), ces données doivent être préalablement annotées par des outils logiciels spécifiques.
- **Détection des émotions basiques et de stress aigu** : dans cette étape, les données collectées seront analysées selon la classification des émotions basiques d'Ekman [70] pour extraire les émotions basiques ressenties par chaque joueur. Nous visons à reconnaître aussi l'état de stress aigu (qui n'est pas considéré comme une émotion basique) afin d'étudier son impact sur la dynamique des états affectifs des joueurs.
- **Construction de profils affectifs** : cette étape prend en entrée les émotions basiques détectées afin de les analyser et produire une évaluation individuelle aussi bien formative que sommative des états affectifs des joueurs en se basant sur la correspondance que nous avons proposée entre émotions basiques (joie, tristesse, peur, colère dégoût, surprise) et états cognitifs-affectifs (Flow, ennui, confusion, frustration). Cette correspondance sera décrite dans le chapitre suivant.

3.5.3. Processus d'évaluation collective

Le Processus d'Évaluation Collective (PEC) vise à produire une évaluation finale des différents états des apprenants à un niveau collectif en exploitant les

résultats du PEEI. Ce processus comprend une étude et une analyse des comportements des joueurs au niveau du groupe à partir des traces collectées à savoir la performance collective et les interactions sociales. A partir de ces analyses, pourra être produite la caractérisation de l'émotion du groupe. Toutes ces informations constituent le profil du groupe permettant ainsi de définir un profil pour le jeu étudié. Par conséquent, ce PEC se compose de trois étapes principales dont chacune contient un ensemble de tâches comme illustré par la figure 3.9 :

- **Analyse du comportement de groupe** : dans cette étape, nous performons une analyse des comportements des joueurs (émotions, interactions sociales et connaissances cognitives) au niveau collectif. Premièrement, nous exploitons les *profils affectifs individuels* du premier processus pour générer l'émotion du groupe en utilisant le modèle de l'arbre de décision. Deuxièmement, nous analysons les *interactions sociales* (communication, coordination/collaboration) entre les différents joueurs modélisant ainsi la dimension collective de l'apprentissage. Cette analyse est basée sur des *indicateurs quantitatifs de centralité et de densité* mesurant respectivement le niveau de communication et de coordination ainsi qu'une évaluation qualitative multi-niveaux des interactions sociales par rapport à un scénario expert. Troisièmement, nous planifions de réaliser une analyse de la performance collective des joueurs à la fin du processus de formation afin de valider leurs connaissances et compétences acquises dans le domaine de gestion de crise. Cette analyse est basée sur des indicateurs du bilan généré par le jeu et une session de débriefing humain organisée à la fin de la session de jeu.
- **Construction du profil de groupe** : l'agrégation de toutes les évaluations individuelles des apprenants permet de produire une évaluation collective et de générer un feedback global sur les différents états des apprenants et ainsi de construire leur profil de groupe.
- **Construction du profil de jeu** : le profil de groupe permet de dégager des jugements finaux sur le dispositif d'apprentissage en termes d'efficacité et ainsi de construire le profil de jeu. Le profil de jeu contient alors toutes les informations pertinentes permettant de juger l'efficacité du jeu en question.

Les résultats d'évaluation seront d'un grand intérêt pour produire des jeux sérieux adaptatifs qui répondent aux besoins pédagogiques des formateurs et qui conviennent aux profils des apprenants. C'est pour cette raison que nous proposons d'exploiter le profil de jeu (représentant ses différentes caractéristiques et son évaluation) ainsi que le profil du groupe (représentant ses différents états évalués) pour développer une illustration d'une adaptation du jeu étudié permettant d'améliorer la qualité de l'apprentissage et de personnaliser l'expérience de jeu. Cette illustration sera décrite dans le dernier chapitre.

3.6. Conclusion

Actuellement, les jeux sérieux de gestion de crise sont de plus en plus intégrés dans les processus d'apprentissage et les sessions de formation. Afin d'améliorer l'efficacité de l'apprentissage dans un contexte collaboratif de gestion de crise, une évaluation complète des apprenants qui prend en compte plusieurs aspects caractérisant leurs états cognitifs, sociaux, et émotionnels doit être mise en oeuvre. Dans ce chapitre nous avons présenté un cadre théorique pour l'évaluation individuelle et collective dans les jeux sérieux collaboratifs de gestion de crise basé sur les états émotionnels des joueurs. Ce cadre théorique est basé sur une grille d'analyse détaillant les critères de succès ainsi que les indicateurs permettant de les mesurer. Cette grille est caractérisée par le concept de facette d'évaluation. Les facettes proposées couvrent trois différents aspects à savoir l'aspect pédagogique, émotionnel et social. Afin de mettre en oeuvre le cadre proposé, nous avons développé une approche méthodologique d'évaluation des apprenants dans les JSJC que nous décrivons dans le chapitre suivant.

4. Approche d'évaluation des apprenants dans les jeux sérieux de gestion de crise : mise en oeuvre du cadre théorique

Sommaire

4.1	Introduction	71
4.2	Méthode d'évaluation de la facette sociale	71
4.2.1	Vue générale de la méthode d'évaluation de la facette sociale	71
4.2.2	Modélisation du réseau social d'apprentissage	73
4.2.3	Évaluation quantitative du réseau social	75
4.2.3.1	Mesures proposées pour l'évaluation de la communication et de la coordination	75
4.2.3.2	Récapitulatif des mesures et interprétations possibles	78
4.2.4	Évaluation qualitative des interactions sociales	79
4.2.4.1	Concepts de base pour la construction d'un scénario expert	79
4.2.4.2	Évaluation qualitative multi-niveaux par rapport à un scénario expert	81
4.3	Méthode d'évaluation de la facette émotionnelle	86
4.3.1	Vue générale de la méthode d'évaluation de la facette émotionnelle	86
4.3.2	Collecte et annotation des données	88
4.3.2.1	Annotation des données textuelles	88
4.3.2.2	Annotation des données visuelles	89
4.3.3	Fusion des données collectées	91
4.3.4	Analyse des données	92
4.3.4.1	Détection du stress aigu	92
4.3.4.2	Correspondance entre émotions basiques et états affectifs	93
4.3.5	Visualisation des données	94
4.4	Conclusion	96

4.1. Introduction

Comme le développait le chapitre précédent, notre première contribution consistait en une formalisation d'un cadre théorique basé sur une grille d'analyse détaillant les trois facettes proposées : pédagogique, émotionnelle et sociale. Ce cadre théorique tente de répondre à la problématique de l'évaluation individuelle et collective dans les JSGC collaboratifs. Cette étape nous a permis de proposer une *approche d'évaluation* des apprenants dans les JSGC composée de deux *méthodes d'évaluation* de la facette *sociale* et de la facette *émotionnelle*. Dans ce chapitre développant notre deuxième contribution, nous commençons par présenter notre méthode d'évaluation aussi bien quantitative que qualitative des interactions sociales entre les différents apprenants-joueurs. Après, nous présentons notre méthode d'évaluation de la facette émotionnelle dans les JSGC collaboratifs basée sur les techniques de fouille de données éducatives. Les résultats de l'application de ces deux méthodes seront développés dans le chapitre suivant.

Cette contribution d'ordre méthodologique a donné lieu à deux articles récemment acceptés. Le premier article s'intitule "*An EDM-based Multimodal Method for Assessing Learners' Affective States in Collaborative Crisis Management Serious Games*" publié dans "*13th International Conference on Educational Data Mining*" [31]. Le deuxième article s'intitule "*Improving Learners' Assessment and Evaluation in Crisis Management Serious Games : an Emotion-based Educational Data Mining Approach*" dans la revue "*Entertainment Computing*".

4.2. Méthode d'évaluation de la facette sociale

Dans cette section, nous proposons une méthode d'évaluation de la facette sociale issue de la grille d'analyse proposée. Cette méthode est basée sur les critères et les indicateurs définis dans la facette sociale. Ainsi, la méthode proposée vise à produire une évaluation aussi bien quantitative que qualitative des interactions sociales entre les différents joueurs dans un environnement collaboratif de JSGC. Pour ce faire, nous commençons d'abord par la présentation du processus général adopté, puis nous décrivons en détail les différentes tâches qui le composent.

4.2.1. Vue générale de la méthode d'évaluation de la facette sociale

Comme évoqué précédemment, la gestion de crise est une activité coopérative dans laquelle différents types d'intervenants de différentes organisations (unité médicale, police, protection civile) coopèrent pour gérer une crise [68]. En effet, l'aspect social est un facteur primordial pour évaluer les procédures collectives

dans les jeux sérieux collaboratifs pour la formation à la gestion de crise [30]. Pour ceci, nous nous focalisons sur l'évaluation des critères que nous avons identifiés dans la facette sociale à savoir la *communication* et la *coordination*. Sans toutefois totalement la remplacer, il s'agit d'assister, automatiser la phase de debriefing accompagnant tout exercice de crise. En d'autres termes, il s'agit de proposer un diagnostic de la session de jeu en identifiant, toujours d'un point de vue social, ce qui s'est bien passé ou non, en référence avec le scénario de crise utilisé.

La question des interactions sociales et leur analyse dans les environnements d'apprentissage multi-apprenants s'est développée depuis plusieurs années. Si on retrouve cette question dans les JSGC collaboratifs, dans notre approche il s'agit moins d'identifier des "leaders d'opinion" à l'aide d'un graphe social, mais de vérifier que les comportements sociaux sont conformes à ceux attendus dans le scénario de référence. De fait, la gestion d'une crise implique que chacun joue son rôle et interagisse avec les autres joueurs au bon moment et de manière adéquate, et ce parfois dans un environnement difficile. Les travaux autour de la plate-forme "*SimFor*" [68], avaient commencé à aborder cette question. Notre propre travail de recherche vise à généraliser le traitement de cette question en utilisant les outils et les méthodes des réseaux sociaux, pour évaluer quantitativement et qualitativement ces interactions :

- **Quantitativement** : il s'agit d'établir qui communique avec qui durant une session de jeu.
- **Qualitativement** : il s'agit de déterminer les joueurs ayant pleinement joué leur rôle au sein des interactions, et par voie de conséquence identifier ceux n'ayant pas interagi de manière satisfaisante.

Ces deux approches peuvent se résumer par la question de l'évaluation de la communication et la coordination (au sens large) entre les joueurs. Ainsi, la méthode proposée se compose principalement de trois étapes correspondant à des tâches spécifiques à savoir : la modélisation du réseau social en nous appuyant sur la théorie de l'analyse des réseaux sociaux d'apprentissage comme formalisme de représentation, l'analyse quantitative du réseau construit en proposant des indicateurs quantitatifs permettant de mesurer la communication et la coordination (plus précisément la cohésion du groupe), et l'évaluation qualitative en nous référant à un scénario expert. Ce dernier doit définir les interactions souhaitées ainsi que leur contenu afin de pouvoir s'y référer et décider de la qualité des interactions. Ainsi, dans le cas de l'expérimentation détaillée dans le chapitre suivant, nous nous sommes basés sur les directives du dispositif d'urgence de la France ORSEC (Organisation de la Réponse de Sécurité Civile).

La figure 4.1 illustre la méthode proposée. Cette évaluation aussi bien quantitative que qualitative permet d'évaluer la structure du réseau social ainsi que

son comportement et la qualité de la collaboration entre les différents joueurs. Les trois étapes de cette méthode sont décrites dans les sous-sections suivantes.

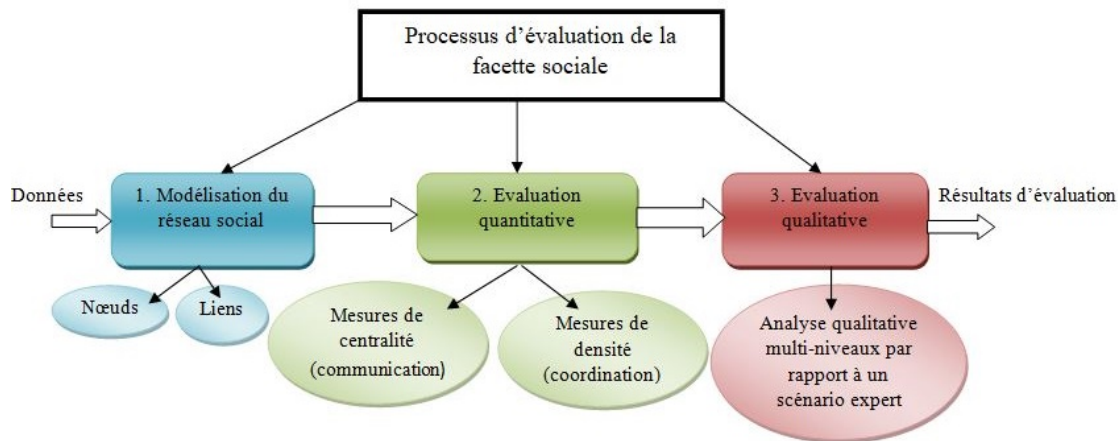


FIGURE 4.1. – Méthode d'évaluation de la facette sociale proposée

4.2.2. Modélisation du réseau social d'apprentissage

La question des interactions peut s'entendre à la fois comme la relation existante à un instant t entre deux apprenants, et la contribution de l'un et l'autre à cette relation. Nous abordons ici l'identification des relations d'interaction durant une session de jeu. Cette approche purement quantitative, se retrouve dans les travaux autour de la construction et l'analyse des réseaux sociaux.

Ainsi, c'est d'une manière tout à fait naturelle et intuitive que nous nous sommes orientés vers la théorie de l'*Analyse des Réseaux Sociaux d'Apprentissage* (ARSP) comme formalisme de représentation ou modélisation. Cette théorie, appelée aussi fouille de réseaux, a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs désirant analyser et évaluer les interactions sociales entre les apprenants durant leurs activités d'apprentissage [78][84][17][37][39][82]. L'ARSP fournit une boîte à outils permettant de visualiser et modéliser les relations sociales comme des noeuds (les individus, les organisations) et des liens ou arcs (relations entre ces noeuds) identifiant les flux de communication [62]. De ce fait, l'analyse des réseaux sociaux d'apprentissage repose sur des visualisations graphiques et plus particulièrement sur la formalisation des sociogrammes grâce à la théorie des graphes permettant par la suite de calculer des degrés de force et de densité entre les différents acteurs d'un réseau [57].

Une nuance doit être apportée dans le contexte de recherche : d'une part la taille du réseau social peut varier en fonction du nombre d'acteurs impliqués

dans l'exercice simulé d'une gestion de crise (moins d'une dizaine à une centaine d'intervenants). D'autre part, il s'agit moins de découvrir la structure du réseau social que de vérifier qu'il corresponde bien à ce que les procédures de gestion de crise doivent produire.

Dans notre thèse, notre solution consiste, dans un premier temps, à modéliser par un *graphe d'influence social orienté* dont les noeuds représentent les apprenants-joueurs et les arcs ou liens représentent les interactions sociales ou les flux de communication entre ces apprenants. Ce graphe est construit à partir des données issues d'une session de formation collaborative supportée par un JSGC. Nous proposons, dans un second temps, de dégager les propriétés de ce graphe en se basant sur la théorie de l'ARSP, de les étudier et de les exploiter pour évaluer les critères sociaux de communication et de coordination dans les JSGC collaboratifs. Dans ce qui suit, nous définissons de manière plus formelle le modèle adopté.

Un réseau social $G=(V,E)$ orienté est déterminé par :

- Un ensemble V de noeuds. Si $|V|=N$, on dit que le graphe G est d'ordre N .
- Un ensemble E de couples ordonnés de noeuds représentant les arcs. On note $|E|=M$.

Pour décrire un graphe, diverses représentations possibles peuvent être utilisées. Nous proposons d'utiliser la matrice d'adjacence. C'est une matrice à coefficients 0 ou 1 :

$$A = (A_{i,j})_{i=1..N, j=1..N}$$

Où chaque ligne (respectivement colonne) correspond à un noeud du graphe G et où :

$$A_{i,j} = 1 \text{ si et seulement si } (i,j) \in E \text{ (} A_{i,j} = 0 \text{ sinon)}$$

Dans le but de raffiner cette modélisation, nous proposons de pondérer chaque arc par le nombre de messages y étant passés. Nous utilisons alors une matrice P que nous appelons matrice des poids pour sauvegarder les poids des différents arcs :

$$P_{i,j} = P(u) \text{ si et seulement si } u = (i,j) \in E \text{ (} P_{i,j} = 0 \text{ sinon)}$$

Dans notre contexte, une interaction sociale, assurée par le système de messagerie instantanée du jeu étudié et modélisée par un arc orienté, est caractérisée par :

- L'identifiant de l'acteur émetteur de l'interaction
- L'identifiant de l'acteur récepteur
- Le poids effectif de l'arc qui est le nombre de messages échangés.

Avec une telle modélisation, nous savons qui a contacté qui, et le nombre de messages échangés. Une fois que nous avons une modélisation des interactions sociales par un graphe, nous pouvons exploiter les propriétés de ce graphe dans l'étape d'évaluation. Ainsi, la sous-section suivante est consacrée à l'étude de la communication et de la coordination dans les JSGC collaboratifs et à la proposition de mesures quantitatives adéquates pour leur évaluation en se basant sur la théorie de l'ARSP.

4.2.3. Évaluation quantitative du réseau social

La théorie de l'ARSP fournit un ensemble de mesures quantitatives de centralité et de densité permettant respectivement l'évaluation de la communication entre les apprenants et la coordination au niveau du groupe d'apprenants (plus précisément la cohésion du groupe) [12]. Dans cette sous-section, nous présentons d'abord ces mesures quantitatives et puis nous récapitulons les mesures et leurs interprétations possibles dans notre contexte.

4.2.3.1. Mesures proposées pour l'évaluation de la communication et de la coordination

D'une manière générale, la communication a toujours été considérée comme un concept central en informatique. Dans les jeux sérieux collaboratifs de gestion de crise en particulier, elle a un rôle déterminant puisqu'elle supporte les interactions sociales. En effet, elle permet aux joueurs d'échanger des informations afin de coopérer, coordonner leurs actions et atteindre leur objectif global commun [68]. Dans notre thèse, nous nous intéressons particulièrement au mode de communication directe par échange de messages textuels. Pour appréhender la structure de notre graphe de communication, nous commençons par une caractérisation locale montrant pour chaque noeud (joueur) les autres noeuds (joueurs) auxquels il est relié. Nous déterminons alors pour chaque noeud n les mesures suivantes :

- **Le demi-degré sortant $d^+(n)$** : c'est le nombre d'arcs ayant le noeud n comme source. Il reflète le degré de participation du joueur correspondant à la communication. Si nous utilisons la représentation du graphe par sa matrice d'adjacence, nous aurons alors : $d^+(n) = \sum_{j=1}^N A_{nj}$

Soit l'exemple du graphe illustré par la figure 4.2 ci-après. Considérons le cas du noeud A, ce dernier possède 4 arcs sortants alors son demi-degré sortant $d^+(A)$ est égal à 4.

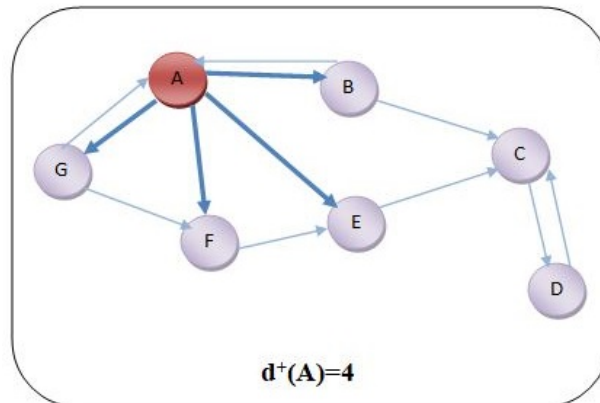


FIGURE 4.2. – Exemple de calcul du demi-degré sortant

- **Le demi-degré entrant $d^-(n)$** : c'est le nombre d'arcs ayant le noeud n comme destination. Il reflète le degré de sollicitation du joueur correspondant à l'acte de communication. Si nous utilisons la représentation du graphe par sa matrice d'adjacence, nous aurons alors : $d^-(n) = \sum_{i=1}^N A_{in}$. Soit l'exemple du même graphe précédent illustré par la figure 4.3 ci-dessous.

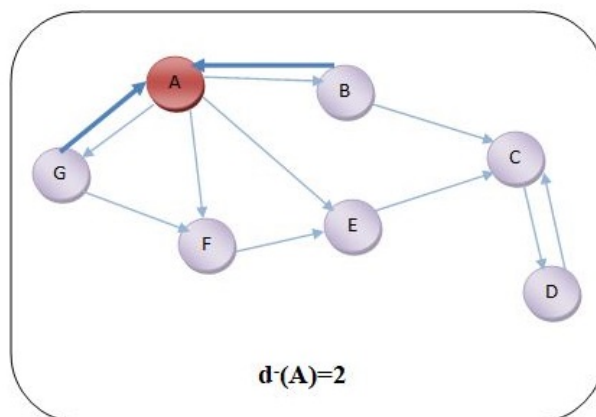


FIGURE 4.3. – Exemple de calcul du demi-degré entrant

Considérons le cas du même noeud A, ce dernier possède 2 arcs entrants alors son demi-degré entrant $d^-(A)$ est égal à 2.

- **La centralité** : c'est une caractéristique exprimant la position et l'activité d'un noeud dans le graphe. Elle permet de déterminer l'importance/popularité d'un noeud dans le réseau et à quel point il est influent. Plusieurs indicateurs sont utilisés pour mesurer la centralité, ici nous utilisons le degré de centralité. $Cd(n)$ désigne le degré de centralité du noeud n et est calculé selon la formule suivante :

$$Cd(n) = Kn/N - 1$$

Avec $K_n = d^+(n) + d^-(n)$ et N le nombre de noeuds. Dans la figure 4.4 ci-dessous, nous présentons les mesures des degrés de centralité de chacun des noeuds composant le graphe donné en exemple.

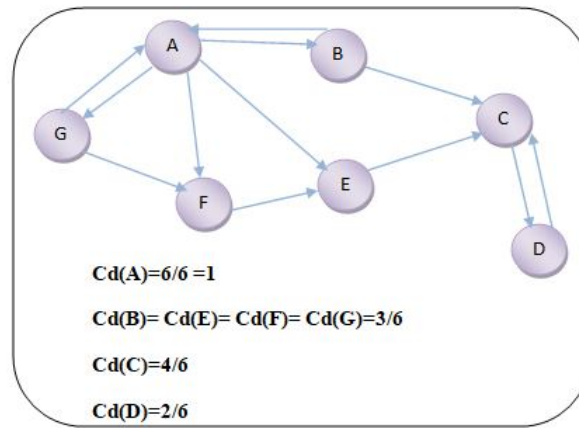


FIGURE 4.4. – Exemple de calcul des degrés de centralité des noeuds d'un graphe

- **La densité** : c'est le nombre de liens présents divisé par le nombre de liens possibles du graphe. Cette mesure donne une indication sur le taux de diffusion des connaissances partagées entre les joueurs et nous informe alors sur le niveau de coordination (plus précisément la cohésion du groupe). La définition de la densité est donnée par la formule suivante :

$$Densité = M / N(N - 1)$$

Avec $M = |E|$ le nombre de liens présents dans le graphe et N le nombre de noeuds.

Soit l'exemple du même graphe précédent illustré par la figure 4.5 ci-dessous. Dans ce cas, la densité de ce réseau est égale à 0.28.

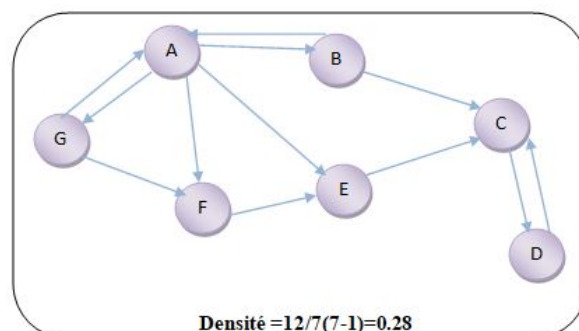


FIGURE 4.5. – Exemple de calcul de densité du réseau

4.2.3.2. Récapitulatif des mesures et interprétations possibles

Le tableau 4.1 résume les différentes mesures associées respectivement à la communication et la coordination dans l'évaluation des JSGC collaboratifs tels que décrit dans la littérature. Pour chaque mesure nous déterminons s'il s'agit d'une mesure individuelle, c'est-à-dire permettant de caractériser un joueur, ou bien d'une mesure collective c'est-à-dire permettant de caractériser le groupe de joueurs. Nous présentons également les interprétations génériques possibles de ces différentes mesures sous forme d'indications qui seront développées plus tard en se basant sur les spécificités du scénario expert de gestion de crise étudié.

Les mesures de centralité et de densité représentent des indicateurs quantitatifs utiles pour évaluer les interactions sociales durant l'apprentissage collaboratif à un niveau respectivement individuel et collectif. Cependant, nous notons que ces mesures n'intègrent pas la dimension qualitative pour évaluer la qualité des échanges entre les acteurs. En effet, dans un contexte de gestion de crise, il est très important de produire une interprétation qualitative des interactions sociales pour déterminer si un acteur donné a échangé avec les *bons acteurs au bon moment et a communiqué les bonnes informations*. Ceci a un impact sur les performances individuelles et collectives pour la gestion d'une crise. C'est pour cette raison que nous proposons d'ajouter aux mesures de centralité et de densité une évaluation qualitative permettant de qualifier les interactions sociales par rapport à un scénario de référence (ou expert) et selon un ensemble de critères bien déterminés. Cette évaluation qualitative est décrite dans la sous-section suivante.

Critère d'évaluation	Niveau	Mesures proposées	Indications d'interprétations
Communication	Individuel	Demi-degré sortant $d^+(n)$	Participation du joueur à la communication : son influence dans le réseau.
Communication	Individuel	Demi-degré entrant $d^-(n)$	Sollicitation du joueur à la communication : son importance et sa popularité dans le réseau.
Communication	Individuel	Centralité $C(d)$	Position du joueur dans le réseau : un joueur ayant beaucoup de liens est considéré comme central : c'est le joueur le plus actif du point de vue communication.

Coordination	Collectif	Densité	Degré d'intégration des acteurs du réseau (cohésion du groupe) : plus le niveau de densité est faible moins la coordination est bonne.
--------------	-----------	---------	--

TABLE 4.1. – Récapitulatif et interprétations possibles des mesures de communication et de coordination

4.2.4. Évaluation qualitative des interactions sociales

Comme évoqué précédemment, le principe d'un jeu sérieux de gestion de crise consiste à réaliser sous forme informatique des actions et des interactions visant à gérer ou limiter les conséquences d'une crise. Les exercices sur le terrain supposent le respect de protocoles, la réalisation de gestes techniques et d'échanges d'information en vue de s'adapter à une situation changeante.

Les joueurs, agissant et interagissant dans un JSJC, interagissent avec des objets de l'environnement de jeu (voiture, téléphone) et communiquent entre eux (texte, échanges vocaux, gestes). Un JSJC suppose alors d'avoir un scénario de jeu établissant les différentes actions et interactions prévues, ainsi que la traçabilité de tous les actes des joueurs durant la session de jeu.

L'évaluation qualitative implique d'avoir un modèle de référence (scénario) pour déterminer la pertinence d'une interaction entre deux joueurs (destinataire et contenu). Plutôt que d'avoir une description abstraite d'un tel scénario, nous illustrons par la suite les concepts de base de notre méthode en référence au dispositif d'urgence de la France *ORSEC (Organisation de la Réponse de Sécurité Civile)* et notamment le *Plan Communal de Sauvegarde (PCS)* [72]. Puis, nous introduisons notre évaluation qualitative multi-niveaux des interactions sociales entre les joueurs impliqués dans un scénario supporté par un JSJC. Une illustration et une discussion de cette évaluation sur un exercice d'évacuation seront présentées dans le chapitre suivant.

4.2.4.1. Concepts de base pour la construction d'un scénario expert

Un scénario de gestion de crise crédible, d'un point de vue apprentissage, doit inclure plusieurs éléments parmi lesquels [43] :

- La définition de la crise, son périmètre, sa vitesse d'aggravation etc.
- Les rôles mobilisés par la crise.
- Les actions, voire les séquences d'actions, et les interactions entre ces rôles.
- Les traces laissées par les acteurs afin de pouvoir alimenter un processus de débriefing faisant partie intégrante de l'objectif pédagogique de l'exercice de gestion de crise.

Ainsi, la détermination du succès de l'exercice ne se mesure pas qu'au travers des résultats globaux mais requiert également une analyse "micro" des comportements des acteurs par rapport à ce qui était attendu. Un scénario peut alors nécessiter une description fine de ces comportements afin de pouvoir les comparer à ceux qui auront été observés réellement durant une session de jeu.

Dans le projet "SimFor" [69], la description de ces comportements dépendait de l'objectif de l'évaluation : définition des comportements attendus par des diagrammes d'activité UML, définition des dialogues possibles au cours d'un scénario, et construction d'un graphe d'interaction décrivant la structure sociale du groupe mobilisé dans le scénario. L'ajout de la dimension émotionnelle, et de sources de données plus riches, nous a amenés à redéfinir ce qu'était un scénario afin qu'il puisse produire les traces et les références nécessaires à l'évaluation d'une session de jeu.

La gestion de crise est un processus qui implique l'intervention de différents organismes et acteurs de secours. Ces derniers ont des responsabilités et des rôles selon l'importance et le degré de sévérité de la crise. Dans le but de diminuer les dégâts et les pertes, des plans de gestion des crises sont organisés dans de nombreux pays autour du monde. L'objectif de ces plans consiste principalement à intégrer et coordonner toutes les installations, y compris les ressources matérielles et humaines, pour répondre à toute situation de crise. Dans notre travail, nous nous référons au programme d'organisation des secours de la France appelé *ORSEC* [49] qui permet une mise en oeuvre rapide et efficace de tous les moyens nécessaires pour faire face à une situation de crise. En effet, l'organisation des secours, la prise en charge des personnes, la protection des biens et de l'environnement nécessitent une préparation en amont pour apporter la réponse opérationnelle la plus efficace et la plus rapide possible en cas de crise. Cette préparation prend trois formes différentes à savoir : *la planification de l'organisation de la réponse de sécurité civile (ORSEC)*, *les exercices*, et *les retours d'expériences (RETEX)* [24].

L'*ORSEC* représente un dispositif planifié et prévoyant l'organisation de secours en cas de catastrophes naturelles ou d'événements de grande ampleur afin de sauver et protéger la santé des personnes. Il s'agit d'une part d'une capitalisation de l'expérience des événements passés pour améliorer le système et éviter de reproduire les erreurs ; et d'autre part d'une recherche à envisager des situations nouvelles. L'*ORSEC* constitue alors, un moyen de réponse commun aux événements quelle que soit leur origine : accident de type transport ou incendie, catastrophe naturelle, attentat terroriste. Ses objectifs sont les suivants [49] :

- Mettre en place une organisation opérationnelle, permanente et unique de gestion des événements affectant gravement la population.
- Mobiliser et coordonner les acteurs de la sécurité civile.
- Analyser les risques.

Les exercices permettent aux acteurs de la gestion de crise (sapeurs-pompiers, service d'aide médicale urgente, policiers, etc.) d'apprendre à mieux se connaître et d'acquérir les bons réflexes [41]. Ces exercices sont basés sur un outil de planification et d'organisation communale appelé *Plan Communal de Sauvegarde* (PCS). Cet outil regroupe l'ensemble des documents existants contribuant à l'information préventive et à la protection des personnes (alerte des acteurs, évacuation et accueil de la population, recensement des moyens mobilisables, transmissions, communication et information de la population, connaissance des lieux de regroupement etc.). Le PCS constitue alors un outil opérationnel servant d'aide mémoire et de guide méthodologique permettant de savoir "qui va faire quoi et comment" [72].

Les RETEX permettent de tirer les enseignements d'accidents réels ou simulés dans le cadre des exercices ainsi que les éléments méthodologiques. Les informations collectées sont souvent précieuses car elles participent efficacement à améliorer et à fiabiliser le dispositif ORSEC [24].

En résumé, c'est à partir de l'ensemble de ces informations que peut être construit un scénario de référence (expert) d'un exercice particulier.

4.2.4.2. Évaluation qualitative multi-niveaux par rapport à un scénario expert

Afin de produire une évaluation qualitative des interactions sociales entre les joueurs durant une session de jeu, il faut répondre aux questions suivantes : *Qui communique avec qui ? Quand¹ ? et Quelle information échangée ?*

Avec une telle évaluation, nous pouvons déterminer si un acteur donné a communiqué avec les bons acteurs/rôles au bon moment et en échangeant la bonne information. Par conséquent, nous proposons de caractériser une interaction sociale entre deux acteurs donnés par un ensemble d'attributs à savoir :

- L'acteur émetteur
- L'acteur récepteur
- Le moment d'interaction (plus généralement le contexte d'interaction)
- Le contenu du message textuel

Ainsi, une interaction sociale est représentée comme suit :

$$InteractionSociale = \{Acteur_{\text{émetteur}}, Acteur_{\text{récepteur}}, Contexte, Contenu\}$$

Dans un scénario de gestion de crise supporté par un jeu sérieux, chaque acteur (ayant un rôle bien déterminé) se voit attribuer un ensemble d'actions à réaliser afin d'atteindre son objectif. Ces actions peuvent être de plusieurs types :

1. Au sens large, quand d'un point de vue temporel (date) ou vis-à-vis d'une séquence d'actions réalisées par le joueur.

se déplacer, envoyer un message, trouver/signaler une personne à évacuer, fermer/ouvrir la fenêtre/porte, téléphoner aux pompiers/SAMU, etc. Dans ce cadre, une interaction n'arrive pas sans contexte, elle fait suite à des actions d'un joueur et produit des effets chez le joueur "récepteur" qui agira et/ou mettra à jour ses informations. Dans la communauté multi-agents [3], on parle d'acte communicatif. Dans ce travail nous désignons ce concept par "*contexte d'interaction*". Ce contexte est caractérisé par l'ensemble des actions ayant conduit à l'interaction (rôle émetteur) ou qui y sont directement liées (rôle récepteur). Par conséquent, évaluer les interactions sociales qualitativement, c'est évaluer globalement, au niveau du groupe, que les échanges ont bien lieu mais aussi évaluer qu'au niveau de chaque interaction, chaque acteur joue son rôle convenablement (du point de vue respect des pré-conditions, nombre et/ou ordre des actions réalisées).

Le tableau 4.2 résume notre évaluation qualitative multi-niveaux. Pour chaque niveau identifié, nous proposons des indicateurs produisant des scores réels entre 0 et 1 et permettant de mesurer la qualité d'une interaction sociale entre deux acteurs donnés.

Niveau	Objectif	Indicateurs proposés
I.Interaction avec le bon rôle/acteur	Vérifier si un acteur donné communique avec le bon acteur/rôle	1 si communiqué avec le bon acteur/rôle, 0 sinon
II.Moment d'échange (contexte d'interaction)	Vérifier si un acteur donné communique au bon moment avec un autre acteur : en vérifiant le respect des pré-conditions ainsi que le nombre et l'ordre des actions réalisées	Calcul des scores relatifs à la performance du joueur (établis à partir des règles du jeu) : $Score_{precd} = \frac{NbRespectedPrecd}{NbPrecd}$ $Score_{order} = \frac{NbOrderedAction}{NbActions}$ $Score_{number} = \frac{NbPerformedAction}{NbActions}$
III.Contenu échangé	Vérifier si un acteur donné communique la bonne information	Analyse sémantique par l'expert : 1 si communiqué la bonne information, 0 sinon

TABLE 4.2. – Niveaux d'évaluation qualitative des interactions sociales

Afin de bien illustrer l'évaluation d'une relation sociale au niveau du moment d'échange (contexte d'interaction), nous prenons un exemple général d'une relation entre deux acteurs a1 et a2 comme le montre la figure 4.6.

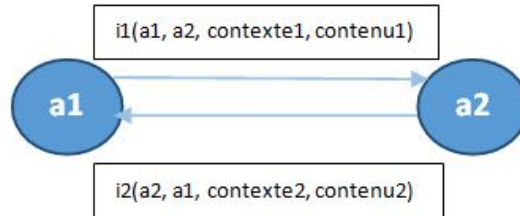


FIGURE 4.6. – Exemple général d'une relation entre deux acteurs

D'après l'exemple ci-dessus, l'évaluation d'une relation entre deux acteurs a1 et a2 au niveau du contexte d'interaction est donnée par :

$$EvalRelation^{II}(a1,a2) = EvalInter^{II}(a1,a2) + EvalInter^{II}(a2,a1)$$

avec :

$$EvalInter^{II}(a1,a2) = \sum_{i \in I} EvalInter_{a1}^{II}(i,a1,a2) + \sum_{i \in I} EvalInter_{a2}^{II}(i,a1,a2)$$

et

$$EvalInter^{II}(a2,a1) = \sum_{i \in I} EvalInter_{a2}^{II}(i,a2,a1) + \sum_{i \in I} EvalInter_{a1}^{II}(i,a2,a1)$$

La performance sociale d'un acteur a1 au niveau du contexte d'interaction est donnée alors par cette formule :

$$PerformanceSociale^{II}(a1) = \sum_{i \in I, x \in A - a1} EvalInter_{a1}^{II}(i,a1,x) + \sum_{i \in I, x \in A - a1} EvalInter_{a1}^{II}(i,x,a1)$$

sachant que :

$EvalInter_{a1}^{II}(i,a1,x)$ présente le score total attribué à l'acteur émetteur a1 et calculé à partir des indicateurs proposés au niveau du contexte d'interaction et définis dans le tableau 4.2.

I : l'ensemble des interactions et A : l'ensemble des acteurs.

Le contexte d'interaction s'inscrit alors dans la perspective d'un scénario comportemental impliquant au moins deux rôles. La définition de ce scénario nécessite une formalisation non technique pouvant être comprise facilement. Cette formalisation d'ailleurs, peut accompagner le briefing précédant la session de jeu. Pour ceci, nous avons retenu deux langages pour décrire un scénario d'interaction : le langage UML et le langage BPMN. Tous deux permettent de décrire de manière relativement simple un scénario d'interaction, sans rentrer dans les détails techniques relatifs à l'exercice. Le modèle métier ainsi obtenu, servira de référence, lors d'une session de jeu, pour évaluer qualitativement les comportements des joueurs.

Afin qu'il soit exploitable par le jeu sérieux, nous procédons à une traduction dans un modèle intermédiaire, intégrant l'ensemble des informations nécessaires aux différentes méthodes d'évaluation. Ainsi, à partir de ce modèle métier, il est possible de construire un graphe de dialogue de référence (Action de l'acteur-Interaction) définissant à priori les interactions nécessaires entre les acteurs comme le montre la figure 4.7.

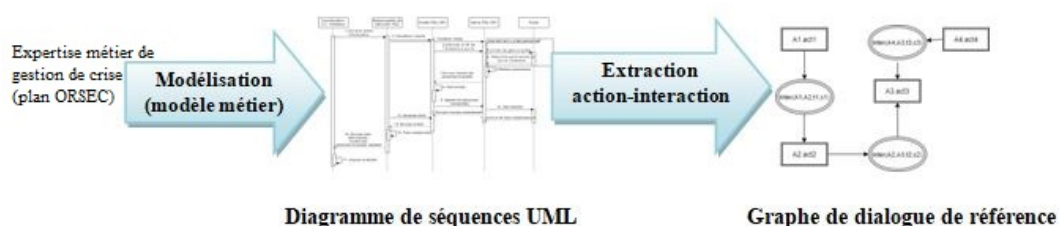


FIGURE 4.7. – Construction du graphe de référence à partir du modèle métier

Ce graphe de dialogue de référence sera utilisé pour le comparer avec celui construit à partir des interactions constatées durant l'exercice et produire ainsi une évaluation qualitative multi-niveaux. En résumé, nous définissons une évaluation de la qualité d'une interaction sociale entre deux acteurs donnés comme suit :

- Identifier les bons acteurs participants à cette interaction (notamment leurs rôles),
- Évaluer le moment de l'interaction en vérifiant la performance de l'acteur émetteur (en termes de respect du nombre, l'ordre des actions et les pré-conditions qui ont conduit à l'envoi du message), et en vérifiant la bonne réception du message et s'il a bien donné lieu aux actions que le récepteur était censé produire.
- Évaluer l'information échangée en analysant sémantiquement le contenu textuel.

Concrètement, cette évaluation peut être vue comme une fonction utilitaire objective qui produit un score global permettant de valider ou non une interaction sociale dans un scénario donné et selon plusieurs indicateurs. En effet, ces différents indicateurs (pré-conditions, respect du nombre et de l'ordre des actions etc.) permettent de calculer un score d'une valeur réelle entre 0 et 1 comme le montre le tableau 4.2. Le score global sera alors une moyenne des différents scores individuels produits par chaque indicateur dans chaque niveau d'évaluation.

Pour avoir une idée plus précise de cette évaluation, nous prenons un exemple

général illustré par la figure 4.8. Comme le montre cet exemple, le modèle métier de référence et réel sont transformés en une représentation abstraite sous forme d'un graphe de dialogue modélisant les actions des acteurs et leurs interactions. La forme rectangle du graphe de dialogue représente l'action réalisée par le joueur suite à une interaction; et la forme ovale modélise l'interaction produite entre deux joueurs en indiquant ses caractéristiques (acteurs, contexte et contenu).

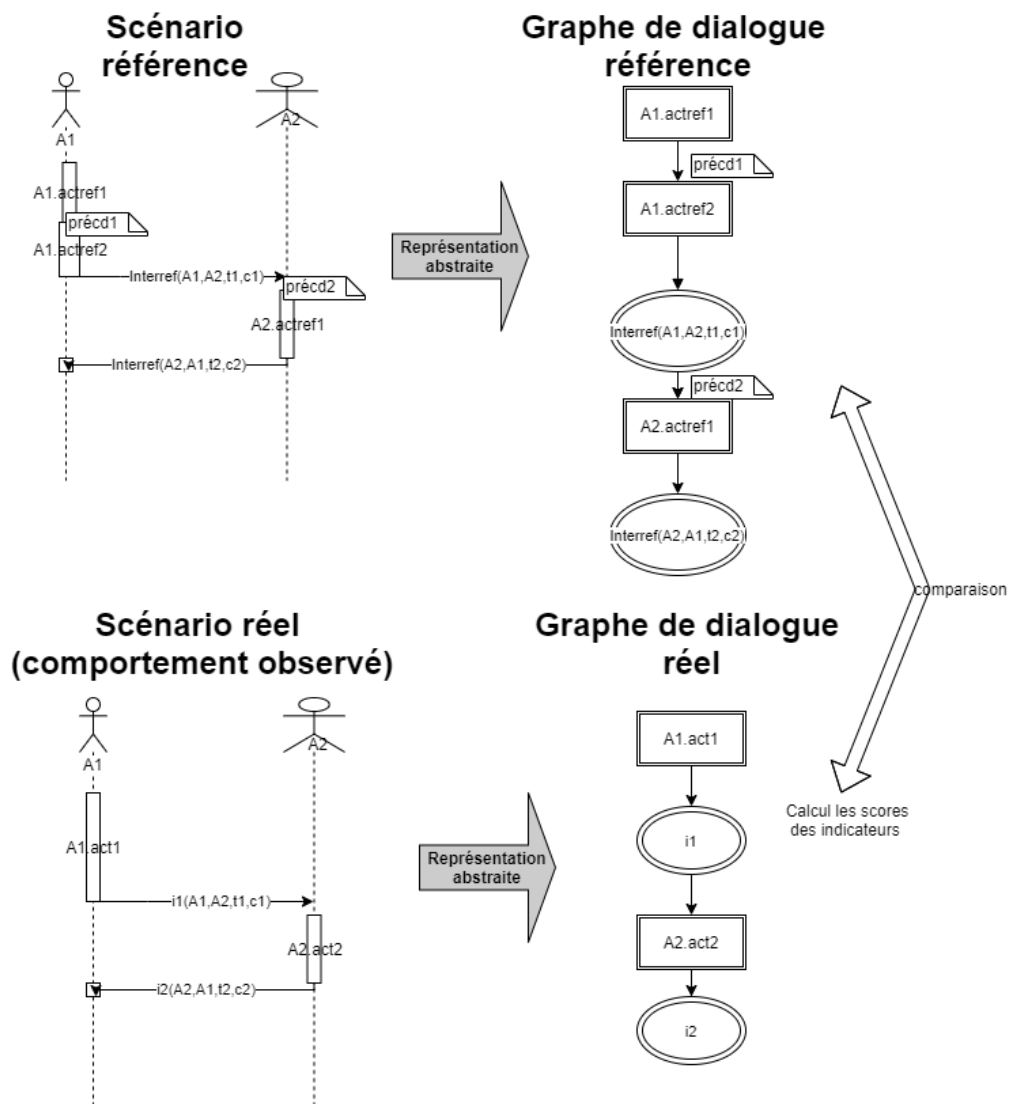


FIGURE 4.8. – Exemple de comparaison des graphes de dialogue de référence et réel

Dans le scénario de référence, la séquence d'actions "A1.actref1-A1.actref2" est traduite par l'action détectable du jeu "A1.act1" suivie d'une pré-condition "précd1" et d'une action "A1.act2". Au niveau de l'évaluation, les actions détec-

tables seront produites et reconnues au travers des interactions du jeu avec les objets interactifs du jeu (voiture, téléphone). S'agissant de construire le graphe de dialogue réel, on reconstruit la séquence des actions et on vérifie, par exemple, que l'action "A1.act2" a bien suivi l'action "A1.act1" et qu'alors la pré-condition "précd1" était bien vérifiée.

Une fois que nous avons obtenu les deux graphes correspondants, nous procédons à les comparer en calculant les scores des différents indicateurs proposés pour chaque interaction entre deux acteurs.

La section suivante est consacrée à la présentation de la méthode d'évaluation de la facette émotionnelle que nous proposons.

4.3. Méthode d'évaluation de la facette émotionnelle

Malgré son grand intérêt, l'état émotionnel de l'apprenant est souvent négligé dans l'évaluation des JSGC [68]. Par conséquent, les apprenants peuvent se retrouver avec une profonde frustration ou ennui durant une session de jeu sans que cette situation soit adressée et remédiée [30]. Le travail présenté dans cette section a été motivé par cette constatation. Il s'agit de développer une méthode d'évaluation de la facette émotionnelle en se basant sur les critères et les indicateurs définis dans notre grille d'analyse. Ainsi, la méthode proposée exploite le potentiel d'une approche de l'informatique affective pour produire une évaluation formative et une évaluation sommative des états affectifs des apprenants. Pour ce faire, nous commençons d'abord par la présentation du processus général adopté, puis nous décrivons en détail les différentes tâches qui le composent.

4.3.1. Vue générale de la méthode d'évaluation de la facette émotionnelle

Comme évoqué précédemment, la gestion de crise avec les nouvelles technologies de formation implique non seulement l'enseignement des procédures cognitives de management mais aussi des processus émotionnels qui peuvent avoir un impact significatif sur l'apprentissage des joueurs. En effet, les états affectifs positifs tels que *l'engagement/Flow* peuvent contribuer à atteindre les objectifs d'apprentissage, tandis que les états affectifs négatifs tels que la *frustration et l'ennui* peuvent entraîner des erreurs et des difficultés. Par conséquent, le processus d'apprentissage par jeu passe par de nombreuses transitions entre états affectifs positifs et négatifs. Ainsi, l'évaluation de ces états, dans une simulation de crise basée sur un jeu sérieux, est d'une importance capitale pour la régulation des émotions et l'amélioration de l'expérience d'apprentissage [31].

Pour ceci, nous nous focalisons sur la *détection* et *l'analyse des émotions* des apprenants en se basant sur des données textuelles échangées par messages entre les joueurs et les données visuelles associées à leurs expressions faciales. Ces deux types de modalités sont sélectionnés parce qu'ils nous permettent de détecter les émotions de manière *objective* et *implicite* sans interrompre les joueurs. À notre connaissance, la mesure de l'engagement des joueurs et son impact sur l'apprentissage à l'aide des techniques de l'intelligence artificielle, notamment l'apprentissage automatique et la vision par ordinateur, n'ont pas été à ce jour étudiés. Par conséquent, notre contribution consiste à développer une méthode permettant d'analyser la dynamique affective des apprenants durant une session collaborative de jeu pour la formation à la gestion de crise, et d'évaluer leurs états finaux à deux niveaux (individuel et collectif) en fonction de deux modes d'interaction différents, à savoir les expressions faciales et les messages textuels. Cette proposition vise une évaluation plus complète dans les JSGC collaboratifs.

La méthode proposée se compose principalement de cinq étapes correspondant à des tâches spécifiques, à savoir la collecte des données, l'annotation des données, la fusion des résultats, l'analyse des données, et la visualisation des données, comme l'illustre la figure 4.9. Ces cinq tâches correspondent aux différentes étapes du *Processus d'Évaluation Émotionnelle Individuelle (PEEI)* de notre cadre théorique à savoir : l'étape de la collecte des traces (correspond à la tâche de collecte des données), l'étape de la détection des émotions basiques et du stress aigu (comprennent les tâches d'annotation, de fusion et d'analyse), et l'étape de la construction de profils affectifs (correspond à la tâche de visualisation des données à deux niveaux individuel et collectif). Ces cinq tâches sont décrites dans les sous-sections suivantes.

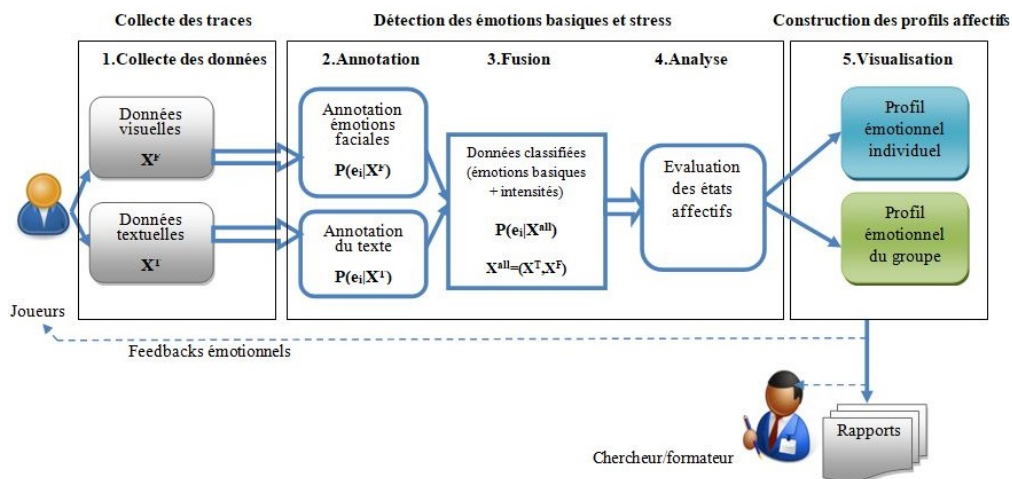


FIGURE 4.9. – Méthode d'évaluation de la facette émotionnelle proposée

4.3.2. Collecte et annotation des données

La collecte des données réelles (ou traces d'interaction) constitue la première étape du processus d'évaluation. En général, les traces collectées peuvent être de diverses natures provenant de plusieurs sources telles que les indicateurs de jeu sérieux (un paramètre ou un ensemble de paramètres représentant l'état ou l'évolution du jeu), les systèmes de capture comme l'enregistrement audio ou vidéo, les capteurs physiologiques, et les fichiers journaux.

Afin de collecter les données de manière plus efficace et moins intrusive que les mesures physiologiques [90][36], nous récupérons des *données visuelles* (enregistrements vidéo en temps-réel) pour capter les expressions faciales et des *données textuelles* (les messages échangés entre les joueurs durant la session de jeu grâce au système de messagerie instantanée intégré dans le jeu étudié) pour détecter les émotions à partir du texte. Pour être exploitées, ces données doivent être préalablement annotées à l'aide des étiquettes caractérisant les émotions basiques d'Ekman [70]. Ainsi, ces deux sources de données sont annotées comme le montre les paragraphes suivants.

4.3.2.1. Annotation des données textuelles

La détection et la reconnaissance des émotions à partir des données textuelles représentent un domaine de recherche récent qui est étroitement lié à l'analyse de sentiments. En effet, l'analyse de sentiments a pour but de détecter, extraire et classer les sentiments en trois catégories : positive, neutre, ou négative à partir du texte. Par contre, l'analyse des émotions vise à détecter et reconnaître les types des sentiments exprimés dans le texte comme la colère, le dégoût, la peur, la joie, la tristesse, et la surprise [50].

Le contenu textuel exprimé en langage naturel dans les messages échangés entre les joueurs représente une source riche pour détecter leurs émotions. Celles-ci peuvent être extraites et analysées en utilisant les techniques du traitement automatique du langage naturel et de l'apprentissage automatique/profond. En réalité, un message textuel envoyé d'un joueur à un autre durant une session de formation à la gestion de crise peut transmettre non seulement des informations qui concernent la situation de crise, mais aussi ses retours, ses émotions et ses expériences personnelles.

Pour ce faire, nous utilisons une boîte à outils puissante appelée "*Indico*"². Cette boîte à outils est classée comme l'une des meilleures API de l'intelligence artificielle pour la détection et l'analyse des émotions à partir du texte brut (comme les conversations) avec une précision de 93,5%³. Le recours à *Indico* est alors justifié par la rapidité et la précision de ses résultats. La détection des émotions

2. <https://indico.io/>

3. <https://indico.io/blog/docs/indico-api/text-analysis/>

dans *Indico* est une fonction qui prend en entrée un texte et retourne la probabilité que l'auteur exprime une telle émotion ainsi que leurs intensités. Les émotions considérées sont inspirées de la classification des émotions basiques d'Ekman [70].

4.3.2.2. Annotation des données visuelles

Les données visuelles récupérées sous forme d'un enregistrement vidéo peuvent être annotées à l'aide de plusieurs algorithmes d'apprentissage automatique et de vision par ordinateur pour reconnaître les expressions faciales. Pour cela, nous utilisons *Openface 2.0*⁴, une boîte à outils automatique pour l'analyse et la compréhension du comportement facial pour trois raisons principales. Premièrement, *Openface* est une boîte à outils facile à utiliser via une interface graphique disponible gratuitement pour des fins de recherche. Deuxièmement, *Openface* permet, comme le montre la figure 4.10, la détection précise du repère facial, le suivi de la pose de tête, l'estimation du regard, et la reconnaissance des Unités d'Action Faciales (UAF). Cette fonctionnalité est la plus utilisée pour décrire les mouvements du visage en unités d'action et pour analyser les expressions faciales. Troisièmement, *Openface* est capable de fonctionner sur des corpus de données visuelles en temps réel provenant d'une simple Webcam sans aucun matériel spécialisé, de vidéos enregistrées, de séquences d'images ou d'images individuelles [9].

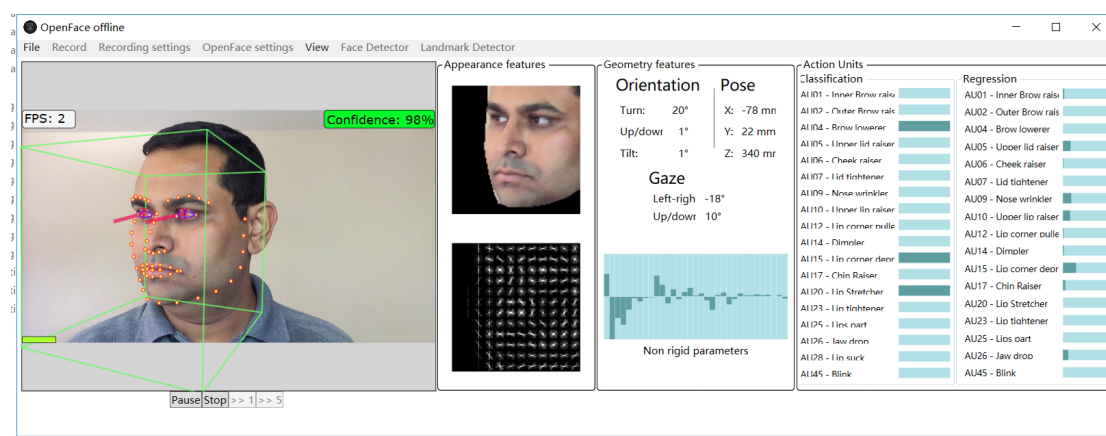


FIGURE 4.10. – Le framework Openface 2.0

Il est également possible de traiter les données de sortie exprimées sous forme de 18 Unités d'Action Faciales (UAF : codes décrivant des activations spécifiques des muscles faciaux) répertoriées en termes de présence (0 comme non présent et 1 comme présent dans le visage) et d'intensité (niveau d'activation de l'UAF

4. <https://github.com/TadasBaltrusaitis/OpenFace>

sur une échelle de 5 points). Le tableau 4.3 illustre les UAF utilisées en fournissant des informations sur l'Intensité (I) ou la Présence (P).

Numéro de l'UAF	Description	Prédiction : Intensité (I) ou Présence (P)
UAF1	Remontée de la partie interne des sourcils	I
UAF2	Remontée de la partie externe des sourcils	I
UAF4	Abaissement et rapprochement des sourcils	I
UAF5	Ouverture entre la paupière supérieure et les sourcils	I
UAF6	Remontée des joues	I
UAF7	Tension de la paupière	P
UAF9	Plissement de la peau du nez vers le haut	I
UAF10	Remontée de la partie supérieure de la lèvre	I
UAF12	Étirement du coin des lèvres	I
UAF14	Plissement externe des lèvres (fossettes)	I
UAF15	Abaissement des coins externes des lèvres	I
UAF17	Élévation du menton	I
UAF20	Étirement externe des lèvres	I
UAF23	Tension refermante des lèvres	P
UAF25	Ouverture de la bouche et séparation légère des lèvres	I
UAF26	Ouverture de la mâchoire	I
UAF45	Clignotement	P

TABLE 4.3. – Liste des UAF et leurs descriptions [9]

Dans notre travail, nous exploitons les résultats du système de reconnaissance des Unités d'Action Faciales parce qu'il exprime les émotions humaines selon

Ekman [70]. Afin de reconnaître les émotions basiques, nous faisons une correspondance entre les sorties du système UAF et les émotions basiques en se basant sur l'EMFACS (Emotional Facial Action Coding System) [44] présenté dans le tableau 4.4. Ce tableau représente un standard commun pour caractériser les six émotions basiques à partir des UAF détectées qui sont bien définies et universelles.

UAF	Emotion basique
UAF6 + UAF12	Joie
UAF1 + UAF4 + UAF15	Tristesse
UAF4 + UAF5 + UAF7 + UAF23	Colère
UAF1 + UAF2 + UAF5 + UAF26	Surprise
UAF1 + UAF2 + UAF4 + UAF5 + UAF20 + UAF26	Peur
UAF9 + UAF15 + UAF16	Dégoût

TABLE 4.4. – Liste des UAF en fonction des émotions basiques [44]

4.3.3. Fusion des données collectées

Dans l'étape précédente, les données ont été collectées selon deux modalités différentes et ont été pré-classifiées de façons indépendantes. L'objectif de l'étape courante consiste alors à fusionner les résultats obtenus afin d'obtenir une classification finale. La méthode de fusion utilisée au cours de cette étape donne une estimation globale des catégories d'émotions étiquetées, basée sur les résultats partiels [74]. Diverses stratégies de fusion au niveau décisionnel ont été proposées dans la littérature notamment la règle de la somme, la règle du produit, la règle de la moyenne en utilisant des poids, et le vote à la majorité [56].

Dans notre travail, nous considérons la modalité faciale comme un mode "major" d'un point de vue qualitatif mais aussi quantitatif comme ce mode d'interaction produit plus de données que le mode textuel. De plus, la détection de l'affect basée sur les expressions faciales est intéressante et plus fiable car il existe un lien très fort entre les caractéristiques faciales et les états cognitifs-affectifs [36]. Pour ces deux raisons, nous adoptons la règle de la moyenne en utilisant des poids comme règle de combinaison pour la tâche de fusion. Ainsi, nous attribuons les poids comme suit : $\mu^T=0.3$ pour la modalité textuelle et $\mu^F=0.7$ pour la modalité faciale. Nous adoptons ce choix de poids proposé et validé par [90] et [92].

La fusion au niveau décisionnel des résultats des annotateurs individuels donne le vecteur global $X^{all} = (X^T, X^F)$ qui est composé du vecteur textuel, X^T et du vecteur facial, X^F . Deux classifieurs distincts fournissent les probabilités postérieures $P(e_i | X^T)$ et $P(e_i | X^F)$ pour, respectivement, la modalité textuelle et faciale devant être combinées en une seule probabilité postérieure $P(e_i | X^{all})$ où e_i représente l'une des six classes possibles d'émotions basiques (e_1 =joie, e_2 =tristesse, e_3 =surprise, e_4 =colère, e_5 =peur et e_6 =dégoût). Par la suite, nous appliquons la formule de la moyenne en utilisant les poids choisis pour calculer la probabilité moyenne des deux modalités définie comme suit [56] :

$$P(e_i | X^{all} = X^T \text{ and } X^F) = (\mu^T * P(e_i | X^T) + \mu^F * P(e_i | X^F)) / 2$$

Ainsi, $P(e_1 | X^{all})$ mesure la probabilité de reconnaître la joie au vu des données visuelles et textuelles récoltées.

4.3.4. Analyse des données

Dans cette étape, nous commençons par détecter certaines UAF spécifiques pour distinguer les participants stressés des participants non stressés et étudier l'impact du stress aigu sur les transitions affectives. Ensuite, nous proposons une nouvelle correspondance entre les émotions basiques (joie, tristesse, peur, colère, dégoût, surprise) et les états cognitifs-affectifs (Engagement/Flow, ennui, anxiété/frustration, confusion/apathie).

4.3.4.1. Détection du stress aigu

Le *stress* est l'une des émotions les plus fréquentes inhérente au domaine de gestion de crise puisqu'elle affecte la manière dont les apprenants gèrent la situation de crise [81]. Le stress peut être défini comme suit : *"la réaction émotionnelle, cognitive, comportementale et physiologique déclenchée suite à un événement négatif/dangereux. C'est un état caractérisé par des niveaux élevés d'activation et de détresse et souvent accompagné par un sentiment de ne pas pouvoir y faire face"* [5]. En général, le stress peut être divisé en trois catégories selon la durée d'exposition aux facteurs de stress : le stress aigu, le stress aigu épisodique et le stress chronique. Le *stress aigu* dure une courte période de temps pendant laquelle l'individu est exposé au facteur de stress. Après cette période, le corps humain revient à son état normal : ce type de stress n'est pas considéré comme dangereux [5]. Le stress aigu est dégagé dans les situations de crise, c'est pour cela qu'il a fait l'objet de notre travail de recherche. Le stress aigu a un impact important sur l'engagement des apprenants et les transitions entre les différents états affectifs [73]. Par conséquent, nous nous focalisons dans ce qui suit sur la détection de l'état mental de stress aigu.

Étant donné que le stress aigu est lié aux émotions, les expressions faciales ont été utilisées aussi pour détecter le stress aigu en reliant certaines émotions basiques. De nombreux travaux ont prouvé que, dans différents contextes comme la conduite automobile et les environnements de travail, le stress aigu est détecté si la colère, la peur ou une combinaison de ces deux émotions négatives est constamment détectée pendant un intervalle de temps fixe [5][46]. En particulier, ces travaux se focalisent sur certaines UAF spécifiques et leurs niveaux d'activation extraits dans chaque image de la vidéo, considérées comme un indicateur de peur et/ou de colère à savoir UAF2, UAF4, UAF5, UAF7 et UAF20.

4.3.4.2. Correspondance entre émotions basiques et états affectifs

Les états cognitifs-affectifs tels que l'engagement, l'anxiété et l'ennui sont des combinaisons particulières d'émotions basiques, comme le montre [36]. Dans ce travail de recherche, nous adoptons la correspondance existante telle qu'elle est décrite dans [36] et [90] ; et nous proposons d'autres combinaisons d'émotions basiques pour déduire les états affectifs des apprenants. En effet, nous nous basons sur les théories existantes des émotions [70][79][67] et sur la définition du concept du Flow [26] pour proposer les nouvelles interprétations suivantes des combinaisons d'émotions basiques qui nous permettent de déduire les états affectifs.

Le *Flow* ou l'*engagement* est défini par un niveau élevé de surprise et un niveau faible de tristesse [90]. Puisque la joie et la tristesse sont des émotions opposées, comme confirmé par Ekman [70] et le Flow se caractérise par une implication et un plaisir total dans l'activité [26], nous pouvons affirmer que l'état du Flow peut être également atteint par un niveau élevé de surprise et un niveau élevé de joie.

L'*anxiété* ou la *frustration* est détectée en présence d'un degré élevé de colère et un faible degré de joie [90]. De même, on peut alors affirmer que l'anxiété peut être définie par un niveau élevé de colère et un niveau élevé de tristesse. De plus, en se basant sur la définition de l'état affectif de l'anxiété [26], cet état peut être ramené à un niveau élevé de peur ainsi qu'un niveau élevé de tristesse. De la même manière, on peut alors affirmer que l'anxiété peut être définie par un niveau élevé de peur et un niveau faible de joie.

L'*ennui* peut être associé à un niveau élevé de dégoût avec un niveau faible de joie. De la même manière, on peut alors affirmer que l'ennui peut être défini par un niveau élevé de dégoût et un niveau élevé de tristesse [90].

Dans notre travail, nous supposons que l'état dans lequel tous les niveaux des six émotions basiques sont faibles représente l'état affectif de *confusion* (*apathie*).

Le tableau 4.5 résume les correspondances proposées.

État affectif inféré	Combinaison des émotions basiques
Engagement/Flow	niveau élevé de surprise + niveau élevé de joie
Anxiété (Frustration)	niveau élevé de colère + niveau élevé de tristesse <i>ou</i> niveau élevé de peur + niveau élevé de tristesse <i>ou</i> niveau élevé de peur + niveau faible de joie
Ennui	niveau élevé de dégoût + niveau élevé de tristesse
Confusion (Apathie)	tous les niveaux des six émotions basiques sont faibles

TABLE 4.5. – Correspondance proposée entre émotions basiques et états affectifs

Cette correspondance est exploitée pour réaliser une analyse détaillée de la dynamique des états affectifs des apprenants pendant une session de jeu en fonction des expressions faciales. En effet, nous analysons les états affectifs des participants en suivant l'évolution des changements de leurs émotions toutes les 20 secondes pendant une session de jeu d'environ 20 minutes. Nous évaluons l'état affectif présent dans chaque intervalle de 20 secondes en se basant sur la correspondance décrite ci-dessus. Cette durée d'intervalle est choisie après un certain nombre de tests montrant que des clips (ou périodes) plus courts ne fournissent pas de données suffisantes et fiables, et des clips plus longs sont difficiles à évaluer parce qu'ils mélangent souvent différents états émotionnels [36]. Une telle analyse permet de produire une évaluation sommative des états affectifs des joueurs à la fin du processus de formation.

4.3.5. Visualisation des données

Cette dernière étape concerne la visualisation et la communication des résultats de notre analyse à deux niveaux : *individuel et collectif*. D'une part, nous visualisons les *profils émotionnels individuels sommatifs* qui contiennent des informations pertinentes sur les états affectifs exprimés par chaque joueur à la fin du processus de formation en sélectionnant l'émotion dominante et la plus prononcée [76]. D'autre part, nous visualisons *l'agrégation de tous les profils émotionnels individuels*, basée sur un algorithme d'arbre de décision pour déterminer la polarité de l'émotion collective (positive ou négative) et puis pour constituer le *profil émotionnel de groupe (ou l'émotion de groupe)* [42]. Ainsi, nous appliquons le classifieur d'arbre de décision J48 [38], une implémentation de l'algorithme de classification supervisé C4.5 (amélioration de l'al-

gorithme Iterative Dichotomiser 3) dans Waikato Environment for Knowledge Analysis ⁵, pour générer une décision sur l'émotion de groupe avec une valeur de confiance par défaut = 0,25. L'algorithme C4.5 utilise cette valeur de confiance pour permettre l'utilisation de toutes les données étiquetées disponibles pour l'apprentissage et ainsi pour améliorer la précision du modèle.

Le principe consiste à déterminer l'étiquette de l'émotion de groupe (positive ou négative) en apprenant des règles de décision déduites des données antérieures (training data). Les méthodes basées sur les arbres de décision sont faciles à expliquer et à comprendre car leur représentation graphique est très intuitive pour la prise de décision [38]. En outre, les arbres de décision exigent relativement peu d'efforts des utilisateurs pour la préparation des données, et surtout sont performants lorsqu'ils sont appliqués aux données éducatives issues des EIAH pour la classification et la prédiction des comportements et/ou performances des apprenants [55].

Le modèle d'arbre de décision, comme le montre la figure 4.11, classe l'*émotion de groupe* avec une seule étiquette (positive ou négative) en fonction des taux d'états affectifs individuels des apprenants (entrée du modèle).

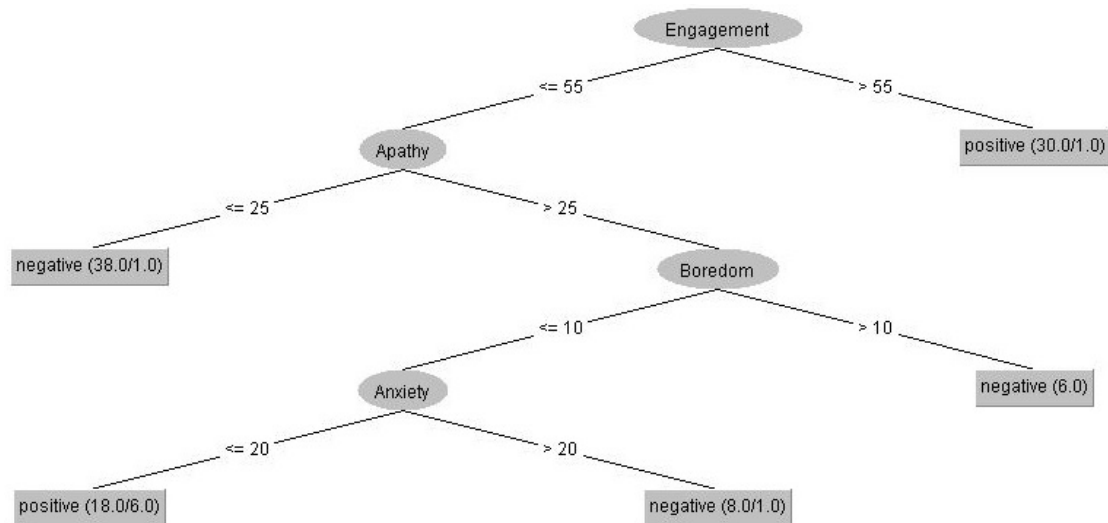


FIGURE 4.11. – Modèle d'arbre de décision de l'émotion de groupe

Par exemple, l'instance suivante (Engagement=40 %, Apathie=50 %, Ennui=5 %, Anxiété=5 %), qui correspond au résultat de l'évaluation sommative individuelle, serait classée comme une instance *positive*. En se basant sur la formule de précision suivante et selon nos résultats expérimentaux, cette méthode atteint

5. <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

une précision de 81% en utilisant *10-Folds Cross-Validation*.

$$Accuracy = (\text{correctly predicted class} / \text{total testing class})$$

Le paramètre de *Cross-Validation* est utilisé dans les corpus de données de petite taille pour évaluer le modèle en partitionnant l'échantillon original en *training set* et *test set*. Lorsque cette option est sélectionnée, l'ensemble d'apprentissage est coupé en 10 (si Folds vaut 10). L'algorithme va apprendre 10 fois sur 9 parties et le modèle sera évalué sur le dixième restant. Les 10 évaluations sont alors combinées.

L'émotion de groupe aide les formateurs à comprendre la performance globale du groupe. En effet, lorsque l'émotion de groupe des apprenants est positive, elle est positivement liée à la performance du groupe d'apprenants et vice-versa [42]. De plus, l'émotion de groupe aide les chercheurs à mieux comprendre comment les apprenants interagissent avec les EIAH et à prendre des décisions afin d'améliorer l'efficacité de l'expérience d'apprentissage [42]. En résumé, la visualisation des profils émotionnels individuels et collectifs joue un rôle crucial dans l'amélioration du jeu sérieux puisqu'elle permet d'identifier les raisons d'échec ou de succès du processus de formation. Cette technique constitue un guide intéressant pour favoriser les transitions des états affectifs négatifs vers des émotions qui sont positivement corrélées avec l'apprentissage comme l'engagement en adaptant certains aspects du jeu, et alors pour améliorer la personnalisation dans les jeux sérieux.

4.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté notre approche méthodologique d'évaluation individuelle et collective des apprenants dans les jeux sérieux collaboratifs de gestion de crise. Cette approche est composée de deux méthodes d'évaluation des facettes émotionnelle et sociale proposées dans notre grille d'analyse. La méthode d'évaluation de la facette sociale permet de (1) évaluer quantitativement la structure du réseau social à travers l'évaluation des critères de communication et de coordination ; et (2) évaluer qualitativement la qualité de la collaboration entre les différents joueurs par rapport à un scénario expert. La méthode d'évaluation de la facette émotionnelle vise à (1) évaluer la dynamique temporelle des états affectifs des apprenants durant une session de JSJC en étudiant l'impact du stress aigu sur les transitions affectives ; et (2) évaluer leurs états affectifs finaux à la fin du processus de formation à deux niveaux : individuel et collectif. Dans le chapitre suivant nous présentons l'implémentation de l'application des méthodes proposées dans un scénario particulier de gestion de crise supporté par une plate-forme de développement de jeux sérieux appelée iS-

cen : c'est le scénario d'évacuation d'un établissement tunisien (École Nationale des Sciences de l'Informatique ENSI) en cas d'incendie.

5. Validation expérimentale

Sommaire

5.1	Introduction	98
5.2	Présentation et caractérisation de la plate-forme iScen	99
5.2.1	Description générale et architecture logicielle	99
5.2.2	Analyse fonctionnelle	101
5.2.2.1	Scénario et objets d'iScen	102
5.2.2.2	Acteurs impliqués dans iScen	104
5.2.2.3	Traces d'interactions dans iScen	104
5.2.3	Bilan	105
5.3	Présentation d'un exemple de scénario de gestion de crise et sa gamification	105
5.3.1	Définition générale d'un scénario de gestion de crise	106
5.3.2	Procédure d'évacuation	107
5.3.3	Gamification de la procédure d'évacuation	110
5.4	Validation expérimentale	113
5.4.1	Protocole expérimental	114
5.4.2	Déroulement de l'expérimentation	116
5.4.3	Interfaces principales du jeu	116
5.4.3.1	Serveur iScen	117
5.4.3.2	Client iScen	118
5.4.4	Post-évaluation	120
5.5	Résultats obtenus et discussions	121
5.5.1	Résultats de l'évaluation de la facette sociale	121
5.5.2	Résultats de l'évaluation de la facette émotionnelle	127
5.6	Conclusion	131

5.1. Introduction

La conception et le développement de jeux sérieux implique une forte dimension technique (informatique) et ludo-pédagogique. Concernant la partie technique, le choix peut résider dans un développement ex-nihilo ou le recours à une plate-forme permettant le développement rapide de jeux sérieux (ou a minima de prototypes en vue de validation). Ainsi, l'approche d'évaluation proposée allie

un volet technique à un volet applicatif. Le volet technique consiste en une plate-forme génératrice de scénarios de jeux sérieux permettant la création rapide des prototypes de jeux sérieux pour la formation à la gestion de crise. Le volet applicatif consiste en un exemple particulier de scénario de gestion de crise permettant l'apprentissage des connaissances procédurales liées à l'évacuation d'un bâtiment en cas d'incendie. Ce scénario d'évacuation constitue une expérimentation intéressante pour notre approche d'évaluation. En effet, un tel scénario, en situation réelle, suscite les émotions des acteurs (peur, stress aigu, frustration) que nous désirons évaluer et implique différents rôles des membres de l'équipe d'intervention (coordinateur, responsable de sécurité, guide-file, serre-file, pompier) qui constituent une source riche d'interactions sociales.

Dans ce chapitre, nous présentons la démarche expérimentale suivie afin de valider nos contributions tout en respectant les deux volets. Pour ce faire, nous commençons par présenter iScen, une plate-forme de développement de jeux sérieux pour la formation à la gestion de crise, qui sera utilisée dans nos expérimentations. Ensuite, nous élaborons une spécification détaillée d'un scénario collaboratif d'évacuation implémenté avec cette plate-forme ainsi que son déroulement. Puis, nous montrons le protocole expérimental adopté pour valider nos contributions. Enfin, nous présentons les résultats d'évaluation obtenus à travers notre expérimentation du scénario développé ainsi qu'une discussion autour de ces résultats.

5.2. Présentation et caractérisation de la plate-forme iScen

Cette section vise à présenter et à caractériser la plate-forme iScen. Pour ceci, nous présentons tout d'abord l'architecture logicielle d'iScen, puis nous proposons une analyse fonctionnelle modélisant ses différents concepts à l'aide des méta-modèles.

5.2.1. Description générale et architecture logicielle

Développée par l'entreprise *Eversim*¹, *iScen*² est une plate-forme logicielle permettant la création de scénarios interactifs aux contenus multimédia (2D) et de les rejouer, soit par un seul joueur, soit en réseau et en multi-joueurs. C'est une plate-forme tout spécialement dédiée à la formation, la gestion et la simulation de crise. Elle s'adresse aux secteurs de l'éducation, de la sécurité (civile ou industrielle), et de la défense [40]. En résumé, iScen permet de :

1. <http://www.eversim.com/ns/fr/home.php>
2. <http://www.i-scen.com/home.php?langue=fr>

- Créer facilement et rapidement des scénarios interactifs aux contenus multimédia,
- Tester et mettre au point ces scénarios,
- Les rejouer, soit par un seul joueur, soit par plusieurs joueurs au cours d'une session multi-joueurs,
- Analyser les traces d'interactions (l'historique) des joueurs et observer des statistiques sur leurs réponses aux questionnaires générées automatiquement concernant les sessions jouées.

iScen repose sur une architecture *Client-Serveur* comme le montre la figure 5.1. La session de jeu est créée et gérée sur le serveur par le modérateur (administrateur). Les apprenants-joueurs se connectent au serveur à travers des machines clientes via un réseau local ou Internet pour rejoindre la session lancée. Afin de mettre en oeuvre l'aspect collaboratif d'une partie de jeu multi-joueurs, iScen intègre trois types de systèmes de communication à savoir : l'appel vocal, les notes partagées, et la messagerie instantanée. Le système de messagerie nous permet d'incorporer différents types de contenu comme le texte, l'image, la vidéo, les liens internet, et les questionnaires.

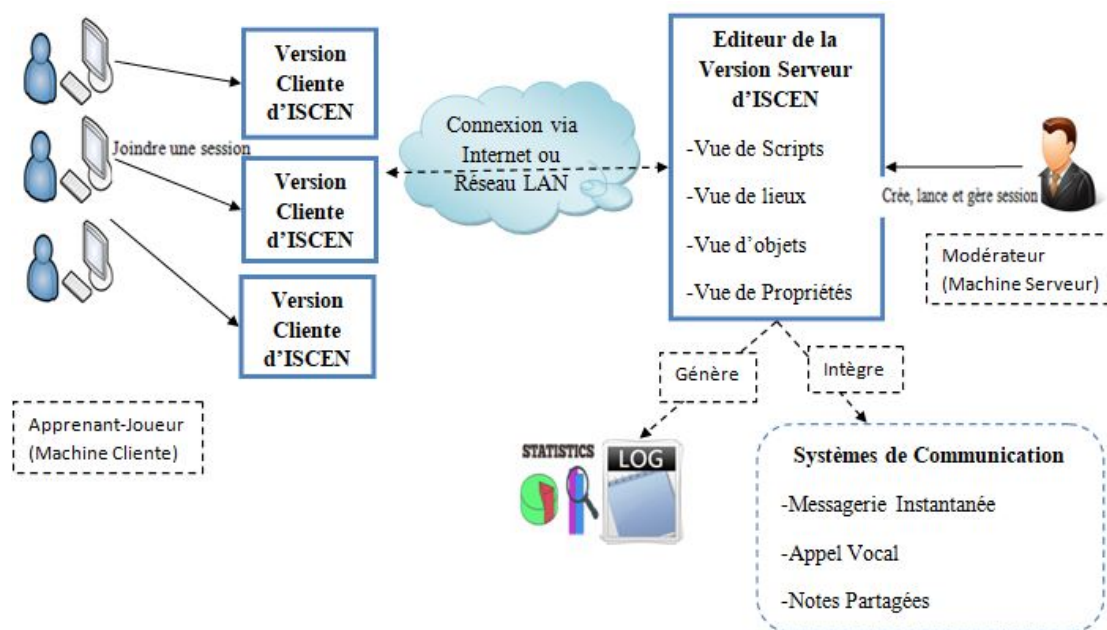


FIGURE 5.1. – Architecture logicielle d'iScen

La figure 5.2 représente l'interface graphique de la plate-forme iScen.

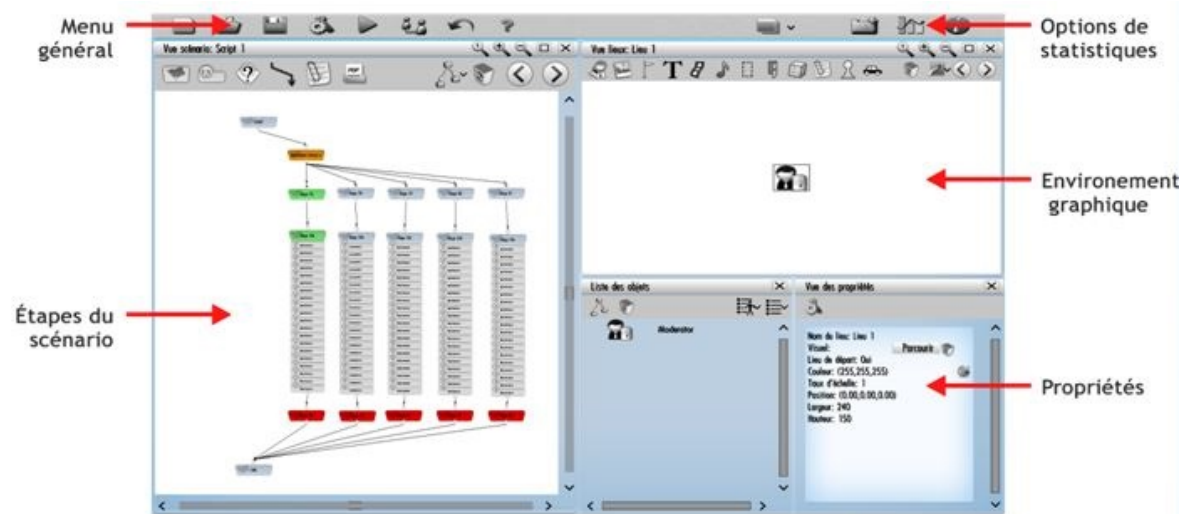


FIGURE 5.2. – Interface de la plate-forme iScen

5.2.2. Analyse fonctionnelle

Dans cette sous-section, nous proposons un premier *méta-modèle général* pour la caractérisation d'iScen, comme le montre la figure 5.3, en définissant ses différents concepts fondamentaux ayant une signification importante ; ainsi qu'un deuxième *méta-modèle ciblé* pour la caractérisation des objets d'iScen comme l'illustre la figure 5.4. Ces méta-modèles étaient nécessaires pour bien comprendre d'abord les concepts implicites soutenant l'architecture d'iScen et ensuite pour identifier les leviers permettant de répondre à nos besoins ludo-pédagogiques. De fait, ils soulignent les points d'interaction entre un ou plusieurs joueurs durant une session de jeu, comment un scénario de jeu est défini et enfin les mécaniques du jeu animant le tout.

Cette analyse nous a permis de caractériser les potentialités et les limites de ces différents éléments afin de les comparer avec nos propres besoins.

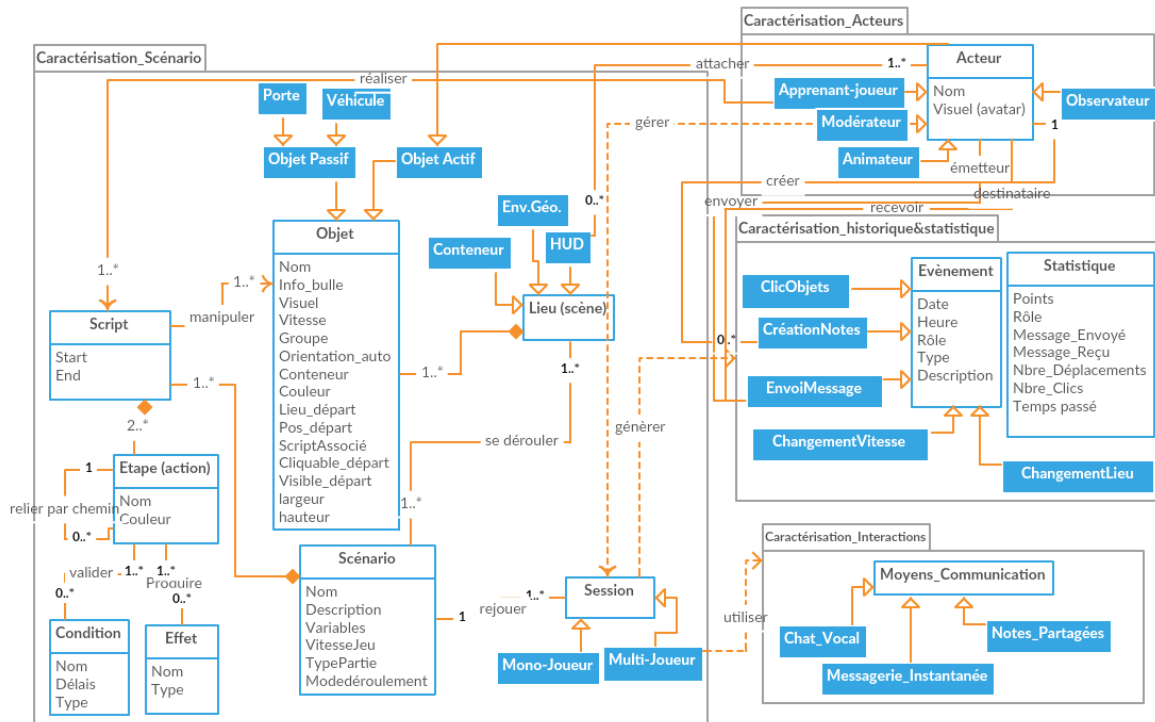


FIGURE 5.3. – Méta-modèle général pour la caractérisation d'iScen

Dans ce qui suit, nous présentons en détail les caractéristiques des différents concepts représentés dans ce méta-modèle.

5.2.2.1. Scénario et objets d'iScen

Un *scénario*, dans iScen, se compose d'un ou plusieurs script(s) scénaristiques décrivant son déroulement. Un *script* représente un enchaînement d'étapes (plusieurs étapes reliées entre elles par des chemins ou liaisons) ; et manipule un ensemble fini d'objets. Une *étape* peut produire un ou des *effet(s)* (effets visuels ou de manipulation/contrôle d'objets) qui lui sont associés, et valider la ou les *condition(s)* de son déclenchement. Ces conditions de passage spécifient les règles de jeu. Le scénario se déroule dans un (ou plusieurs) lieu(x) qui constitue l'environnement de la crise (appelé aussi le modèle physique ou encore les scènes). Un *lieu*, qui peut être un environnement géographique ou un conteneur d'objets ou encore un Head Up Display (lieu sous forme d'une interface graphique qui est attaché à un joueur particulier), contient un ensemble fini d'objets. Ces *objets*, ayant différentes propriétés, peuvent être de type passif (2D ou 3D) comme un véhicule, un son, une image ou bien actif comme un acteur. Les *acteurs* sont ainsi des objets qui représentent les participants humains à une session de jeu [40]. A chaque acteur on assigne un *rôle* bien déterminé ayant une mission qui

regroupe elle-même un ensemble d'actions prédéfinies dans des scripts. Un *clic*, dans iScen, représente alors une action particulière réalisée par un acteur. Cette *action* peut être un changement de lieu (se déplacer dans une autre scène), une interaction avec un autre acteur (parler à un personnage joueur ou personnage non-joueur à travers un moyen de communication), un clic sur un objet interactif dans l'interface (déclencher sirène de l'alarme, fermer/ouvrir les fenêtres/portes etc.).

La figure 5.4 montre un méta-modèle caractérisant les objets de la plate-forme iScen.

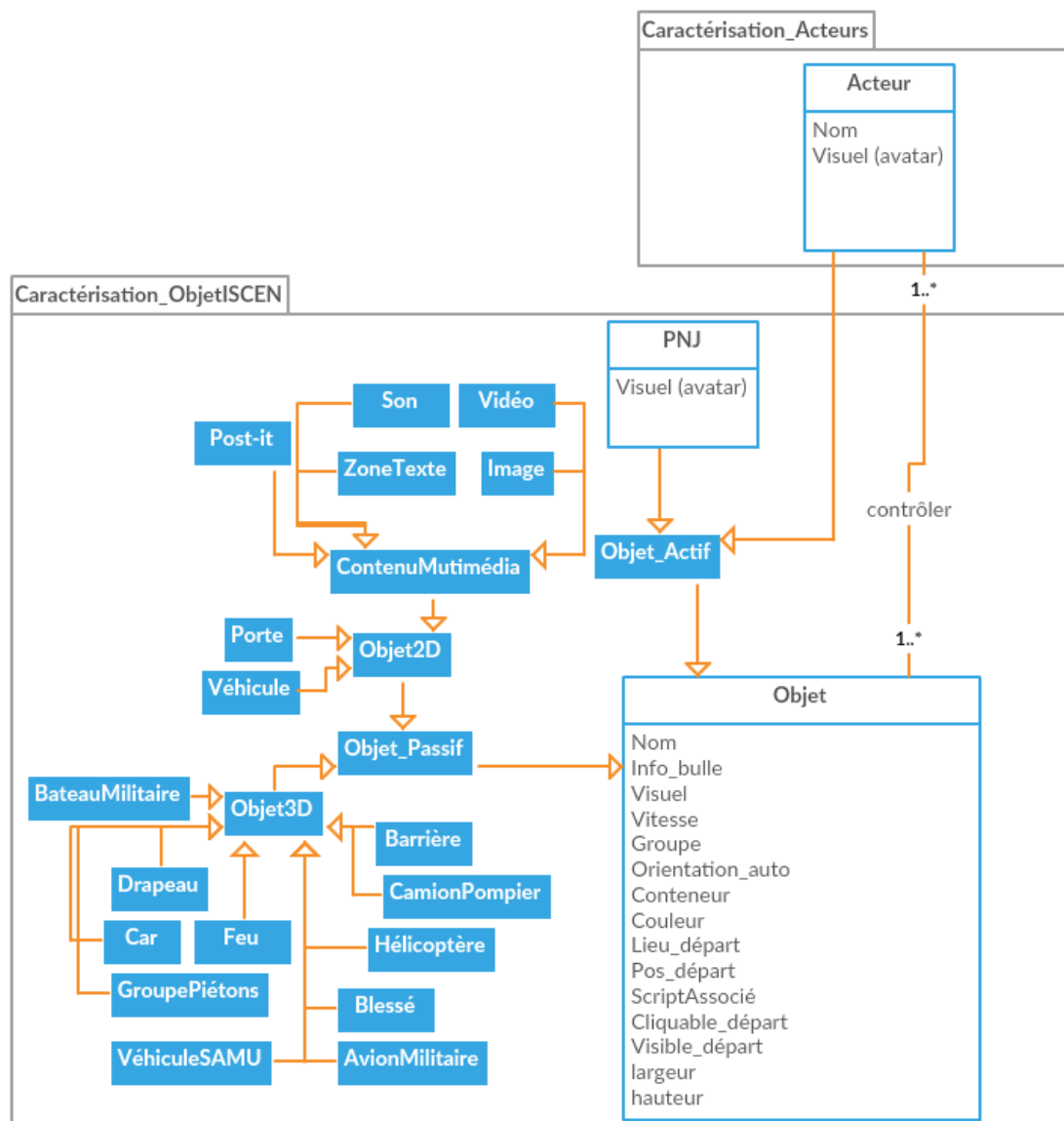


FIGURE 5.4. – Méta-modèle pour la caractérisation des objets d'iScen

5.2.2.2. Acteurs impliqués dans iScen

Un acteur est l'un des participants humains à la session de jeu. Un objet représente alors l'avatar de ce participant. Lorsqu'un participant rejoint une session, il lui est proposé de choisir quel acteur il va incarner. Il existe principalement quatre types d'acteurs dans iScen dotés de propriétés différentes [40] :

- **Le modérateur** : c'est l'administrateur de la session de jeu. Il crée, lance et gère une session (change la vitesse du jeu, met en pause la partie de jeu, fait des sauvegardes de la partie, etc.). Il est le seul acteur à effectuer ces actions et il peut jouer tous les autres rôles.
- **L'apprenant-joueur** : il joue un rôle particulier dans le scénario et doit réaliser une (ou plusieurs) mission(s) déjà prédéfinie(s) dans les scripts. C'est le type par défaut.
- **L'animateur** : il a les mêmes fonctionnalités que le modérateur sauf qu'il ne peut pas gérer la session. Il ne peut pas alors agir sur la vitesse de déroulement du temps, ni effectuer de sauvegardes de la partie. Ce type d'acteur peut être incarné par le formateur.
- **L'observateur** : il peut sélectionner n'importe quel joueur présent dans la partie de jeu et visualiser sa vue (son interface graphique associée à un instant donné). Toutefois, il ne peut pas intervenir dans le scénario, il a alors un comportement passif qui observe l'évolution de l'apprentissage des apprenants-joueurs sans intervenir.

5.2.2.3. Traces d'interactions dans iScen

La plate-forme iScen permet de générer automatiquement *l'historique* des activités des joueurs et les *statistiques* sur leurs réponses aux questionnaires après le test et/ou la mise en situation réelle du scénario. Ces données, pouvant être exportées sous forme de fichiers Excel, contiennent les traces d'interactions que les joueurs laissent durant leur exploitation du jeu. Ces traces enregistrées représentent une source précieuse d'informations pour mieux comprendre l'expérience d'apprentissage des apprenants et l'adapter par la suite à leurs profils. Les données temporisées (date et heure enregistrées) produites peuvent être [40] :

- **Numériques ou textuelles** : les données numériques peuvent représenter par exemple le nombre de clics sur les objets, le nombre de déplacements, ou le nombre des messages envoyés/reçus. Les données textuelles peuvent représenter par exemple le contenu des messages échangés entre les joueurs, ou le rôle incarné par un acteur.
- **Statiques ou dynamiques** : les données statiques sont les données qui ne varient pas au cours du déroulement du scénario et peuvent consister par exemple en le rôle de l'acteur ou la date de déroulement de la session. Alors que les données dynamiques représentent les variables qui évoluent durant

une session de jeu comme le score (nombre de points), le nombre de clics, ou le nombre de déplacements.

Dans la sous-section suivante, nous présentons un bilan issu de cette analyse fonctionnelle.

5.2.3. Bilan

Pour conclure, l'analyse fonctionnelle de la plate-forme iScen nous a permis d'identifier ses points forts ainsi que ses limites logicielles par rapport à nos besoins de recherche. En effet, iScen est bien adapté à notre contexte puisqu'il permet de créer facilement et rapidement des scénarios multi-joueurs appliqués au domaine de gestion de crise. Il permet aussi la génération automatique des traces d'interactions des joueurs : ce qui facilite le travail d'évaluation (bien que pas aussi exhaustives qu'on pourrait l'espérer). Par contre, la version actuelle dont nous disposons, qui est non open-source, ne nous permet pas de mettre en oeuvre une adaptation du jeu selon les profils des joueurs afin d'améliorer l'utilisabilité de la plate-forme. Par ailleurs, iScen ne permet pas à plus de six joueurs humains de participer simultanément à une session de jeu, et est un peu limité en termes de traçabilité (traces numériques d'interaction générées par le jeu). Néanmoins, cette plate-forme constitue un support pratique pour la création rapide et peu coûteuse de prototypes de jeux sérieux pour la formation à la gestion de crise. De plus, le déroulement des scénarios développés dans des sessions de jeu multi-joueurs permettent d'apprendre les bonnes pratiques et les bons comportements de la gestion de crise comme la coordination et la communication qui est l'objectif principal de l'utilisation des JSGC.

Dans la section suivante, nous présentons un exemple de scénario de gestion de crise et sa gamification en utilisant la plate-forme iScen. Il s'agit d'un scénario d'évacuation d'un établissement suite à une alerte d'incendie.

5.3. Présentation d'un exemple de scénario de gestion de crise et sa gamification

Afin de valider notre approche d'évaluation, nous avons conçu et développé, à l'aide de la plate-forme iScen, un prototype de jeu collaboratif pour la formation à l'évacuation de l'ENSI (notre établissement de rattachement en Tunisie) en cas d'incendie. En fait, un tel scénario vise à répondre à un besoin réel de formation qui n'existe pas dans l'établissement cité. En outre, l'expérimentation développée constitue une solution moins coûteuse que les méthodes traditionnelles de formation à l'évacuation des bâtiments qui s'avère intéressante surtout dans un

contexte économique difficile.

Dans cette section, nous définissons d'abord un scénario général de gestion de crise. Puis, nous décrivons la procédure d'évacuation ainsi que son déroulement. Enfin, nous présentons la gamification de ce scénario supportée par la plateforme iScen.

5.3.1. Définition générale d'un scénario de gestion de crise

D'une manière générale, une étape clé dans le développement des jeux sérieux consiste à définir le scénario pédagogique comme évoqué par le Professeur *André Tricot* lors d'un entretien avec *Alvarez* dans le cadre de sa thèse [6]. Dans les JS GC en particulier, le scénario d'apprentissage de gestion de crise doit être judicieusement défini. Dans ce cadre, nous définissons un scénario collaboratif de gestion de crise supporté par un jeu sérieux comme étant : *"Un déroulement d'une séquence d'actions déclenchée suite à un événement négatif durant laquelle plusieurs acteurs ayant différents rôles doivent collaborer, communiquer, et gérer leurs émotions dans un environnement immersif commun dont l'objectif pédagogique est de maîtriser la situation de crise de manière rapide et efficace"*. Nous nous situons donc dans un scénario pédagogique mettant en situation (simulée) une crise, identifiant des objectifs individualisés et nécessitant une collaboration.

Il est indispensable aujourd'hui que les bâtiments doivent organiser des sessions de formation à la gestion de crise, en particulier des exercices d'évacuation, afin d'apprendre aux personnes, qui y habitent ou qui y travaillent, à réagir convenablement et surtout efficacement en cas de crise de manière à minimiser les conséquences. L'évacuation d'un bâtiment consiste à éloigner et mettre en sûreté les personnes présentes dans un lieu où il y a un danger. L'acheminant du groupe peut se faire vers l'extérieur à un point de rassemblement choisi préalablement et indiqué à l'ensemble des employés [59]. Cette procédure peut être déclenchée en cas d'incendie ou de présence de fumées, de catastrophes naturelles, de fuite de gaz, d'alerte à la bombe ou d'autres situations graves mettant en danger la vie humaine et les biens de l'environnement. Nous nous intéressons, dans notre travail, au scénario d'évacuation du bâtiment de l'ENSI en cas d'incendie.

Dans le paragraphe suivant, nous présentons le déroulement de la procédure d'évacuation. Pour ceci, nous nous sommes basés sur les directives et les recommandations de l'organisation des exercices d'évacuation en cas d'incendie décrites dans [59].

5.3.2. Procédure d'évacuation

La procédure d'évacuation implique différents rôles d'acteurs-intervenants. En effet, chaque acteur a un rôle spécifique. Un rôle joue une ou plusieurs missions, et une mission comporte un ensemble d'activités qui peuvent s'exécuter de manière parallèle ou séquentielle. Dans le tableau 5.1, nous présentons ces différents rôles et leurs principales activités.

Rôle d'acteur	Activités
Guide-File (GF)	C'est le chef de file qui a une très bonne connaissance du bâtiment. Ses activités consistent principalement à : — Informer l'ensemble des personnes présentes dans la zone de l'obligation d'évacuer. — Orienter dans le calme et sans précipitation les personnes vers les issues de secours et les voies de circulation piétonnes. — Procéder au recensement des personnes évacuées et celles manquantes, et interdire aux personnes de revenir sur leurs pas. — Une fois au point de rassemblement, le GF doit faire un bilan des personnes présentes. — S'il y a des personnes manquantes, il doit en informer le serre-file. — Rendre compte de l'état d'évacuation au responsable de sécurité et empêcher les personnes présentes de quitter le point de rassemblement jusqu'à avoir l'ordre du coordinateur de l'évacuation.
Serre-File (SF)	C'est le dernier de la file du groupe. Il doit vérifier que personne n'a été oublié. Ses activités consistent principalement à : — S'entendre avec le GF sur l'itinéraire à emprunter. — Vérifier que tous les locaux sont vides en refermant leurs fenêtres et leurs portes afin de s'assurer qu'il n'y ait personne, en étant particulièrement vigilant dans les toilettes, ou autres locaux techniques. — Faire le point avec le GF de sa zone et rendre compte au responsable de sécurité de la zone évacuée.

Coordinateur (C)	Il a une vision globale sur la procédure de l'évacuation de tout le bâtiment. Ses activités consistent principalement à : — Envoyer l'alerte d'évacuation et suivre l'évolution de la procédure en prenant le contrôle total des activités sur les lieux. — Centraliser les informations issues de l'évacuation, celles-ci devant être fournies aux services extérieurs de secours (les sapeurs-pompiers, service d'aide médicale urgente) pour faire le nécessaire.
Responsable de Sécurité (RS)	Il est l'intermédiaire entre le coordinateur et l'équipe d'évacuation (GF et SF). Le guide-file et le serre-file doivent lui rendre compte de leurs faits et mouvements ainsi que de l'évolution de l'évacuation. Ses activités consistent principalement à : — Assister le GF et le SF dans leurs activités : couper le courant électrique, se diriger vers le lieu d'incendie pour éteindre le feu en utilisant les extincteurs, signaler les personnes manquantes, prendre en charge les personnes blessées en leur offrant les premiers secours etc. — Demander directement au coordinateur la présence des pompiers s'il le juge opportun. — Quitter le bâtiment en dernier, faire le décompte avec le GF, et préparer un rapport (des informations sur l'incendie et l'évacuation du bâtiment) au coordinateur qui reste décisionnaire.

TABLE 5.1. – Les différents rôles et leurs activités dans la procédure d'évacuation

Tous les acteurs cités précédemment doivent collaborer pour évacuer la foule présente dans le bâtiment et simulée par des Personnages Non-Joueurs (PNJ) ayant des comportements plus ou moins intelligents. Ils peuvent par exemple avoir différentes réactions envers la situation de crise : rester immobile, suivre le guide-file en respectant les directives données, ou courir tout seul vers la plus proche sortie.

Nous proposons de modéliser l'enchaînement des activités réalisées par ces différents rôles d'acteurs ainsi que les interactions entre eux sous forme d'un modèle de processus BPMN simplifié comme le montre la figure 5.5.

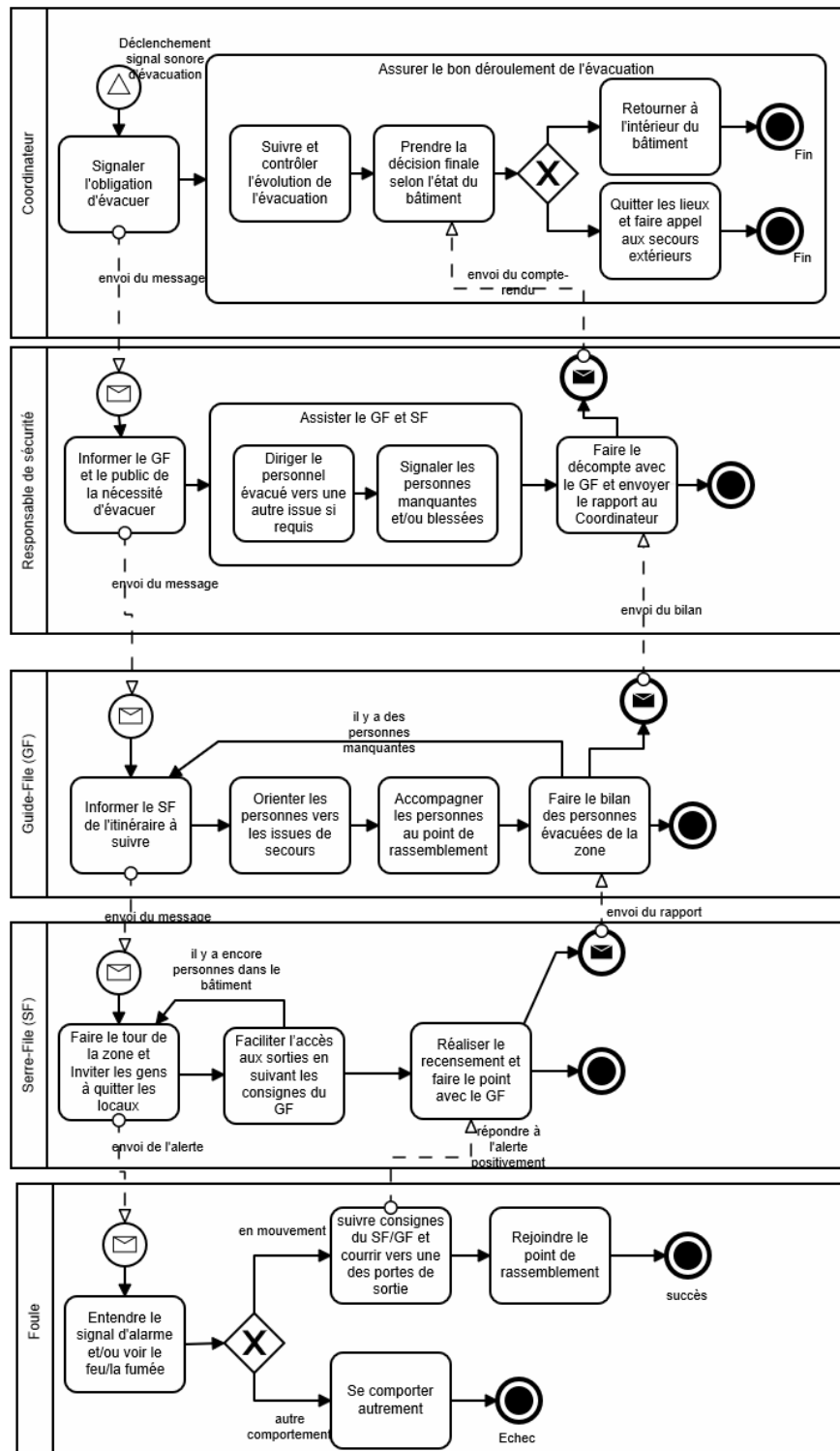


FIGURE 5.5. – Modèle de processus BPMN simplifié de la procédure d'évacuation

A partir de la spécification détaillée décrite précédemment, nous disposons des éléments nécessaires pour produire un scénario pédagogique. Ce scénario consistera à traduire les rôles et leurs activités dans un environnement simulé en tenant compte des contraintes techniques liées à la plate-forme iScen. Ce processus est désigné par "gamification" ou "ludification" [6].

5.3.3. Gamification de la procédure d'évacuation

Afin de bien concevoir un tel scénario, nous avons commencé par étudier quelques jeux sérieux existants dans le domaine de formation à l'évacuation en cas de situation de crise [87][21]. Cette étude nous a permis d'une part d'identifier les besoins du domaine à simuler ; et d'autre part de caractériser les différents éléments constituant un scénario d'évacuation supporté par un jeu sérieux.

En nous référant à la grille d'analyse proposée et décrite dans le troisième chapitre notamment la partie de la caractérisation des JS GC, nous récapitulons dans ce qui suit les principaux critères caractérisant le jeu développé :

- **Nature** : il s'agit d'un scénario multi-joueurs collaboratif ayant des rôles différents.
- **Public visé** : étudiants et personnel de l'établissement (tranche d'âge 20-60).
- **Type de crise** : un incendie déclenché au niveau de la buvette de l'ENSI suite à une fuite de gaz (crise technologique).
- **Contexte d'apprentissage** : compétences techniques (procédurales liées à l'exercice d'évacuation), et compétences non-techniques (coordination, communication, gestion du stress)
- **Déploiement** : il s'agit d'un jeu de simulation et d'entraînement pour la gestion de crise. Le jeu reproduit artificiellement une situation réelle d'évacuation dans un environnement virtuel afin d'apprendre à ses utilisateurs à gérer une situation de crise.
- **Objectifs pédagogiques** : il s'agit de sensibiliser les usagers du bâtiment du risque d'incendie et apprendre à réaliser correctement une évacuation.

Un scénario d'évacuation supporté par un jeu sérieux doit satisfaire les trois besoins suivants lors de sa conception [6] :

- **Jouabilité du jeu** : ce besoin signifie la capacité du jeu d'être joué. Elle englobe les règles du jeu et plusieurs aspects caractérisant une expérience vidéo-ludique tels que le style de présentation de l'information, l'organisation du matériel didactique (objets de jeu), les éléments sonores, et les couleurs. Compte tenu de l'aspect ludique du produit en question, le jeu doit être attractif et bien conçu, c'est-à-dire il doit offrir des effets visuels et sonores attirants et en même temps adaptés au public ciblé et aux événements simulés. Nous suggérons également d'intégrer un système de *score*

capable de calculer les scores des apprenants en prenant en compte le temps d'évacuation et les bonnes/fausses actions réalisées dans le jeu afin de fournir aux apprenants une auto-évaluation de leurs performances.

- **Pertinence du contenu pédagogique** : ce besoin représente la valeur, l'importance et l'utilité de l'activité à réaliser dans le jeu. Le contenu du jeu doit être clair, précis et atteignable de façon à permettre un apprentissage efficace. L'objectif pédagogique général du scénario consiste à permettre à chacun des acteurs participants d'acquérir les connaissances et/ou les compétences ainsi que les bons comportements à adopter en cas de situation de crise touchant gravement les personnes et les biens. Cet objectif général se décline ensuite en des sous-objectifs spécifiques. Ils se définissent comme les activités communes à mener pour atteindre l'objectif général durant la procédure d'évacuation à savoir [preventex2016] :
 - **Reconnaître le signal sonore** de l'alarme incendie installée dans les locaux audible en tout point et connu de tous entraînant immédiatement et obligatoirement l'évacuation.
 - **Localiser les issues de secours** et connaître le point de rassemblement du bâtiment.
 - **Mettre en application les consignes de sécurité** et se familiariser avec les missions de la procédure au niveau collectif et individuel.
 - **Savoir gérer son stress** face à des situations imprévues ou des événements inattendus : il s'agit de développer les capacités de chacun à résister au stress engendré par une situation complexe et sous pression (personnes blessées, manquantes etc.).
 - **Savoir communiquer et collaborer** efficacement pour agir rapidement contre une situation de crise.
- **Mise en situation du scénario** : ce besoin désigne le réalisme de la situation décrite dans le jeu. Le jeu doit immerger les joueurs dans un scénario qui reproduit le plus fidèlement possible l'expérience réelle de l'évacuation. Pour ce faire, les éléments de l'environnement de crise doivent être bien conçus comme la structure de l'établissement (pièces, signalisation des sorties de secours, lieu de rassemblement extérieur, voies de circulation, équipements d'évacuation etc.), et les caractéristiques du sinistre (système alarme, évolution de l'incendie, fumée etc.). De plus, les réactions des personnes présentes dans le bâtiment doivent être variées allant de la plus calme à la plus agitée imposant ainsi différentes missions d'évacuation en fonction de la situation. Par exemple, on peut citer le cas des personnes paniquées/blessées ou ayant besoin d'aide qui nécessitent ainsi des "*micro-missions*" (calmer les personnes ayant un trouble de panique ou d'angoisse, soigner les personnes blessées avec la trousse de secours, appeler les pompiers/SAMU, évacuation de personnes en situation d'handicap etc.).

La figure 5.6 montre un schéma simplifié de la gamification du scénario présentant ses composantes principales à savoir les scripts et le plan des scènes (lieux). Les scripts permettent de spécifier les comportements des acteurs et des objets du scénario. Ces scripts se déroulent dans plusieurs scènes présentant l'environnement physique de la crise. Un lieu ou une scène peut représenter une salle ainsi que ses éléments constitutifs comme par exemple les objets statiques et mobiles, ainsi que les acteurs présents.

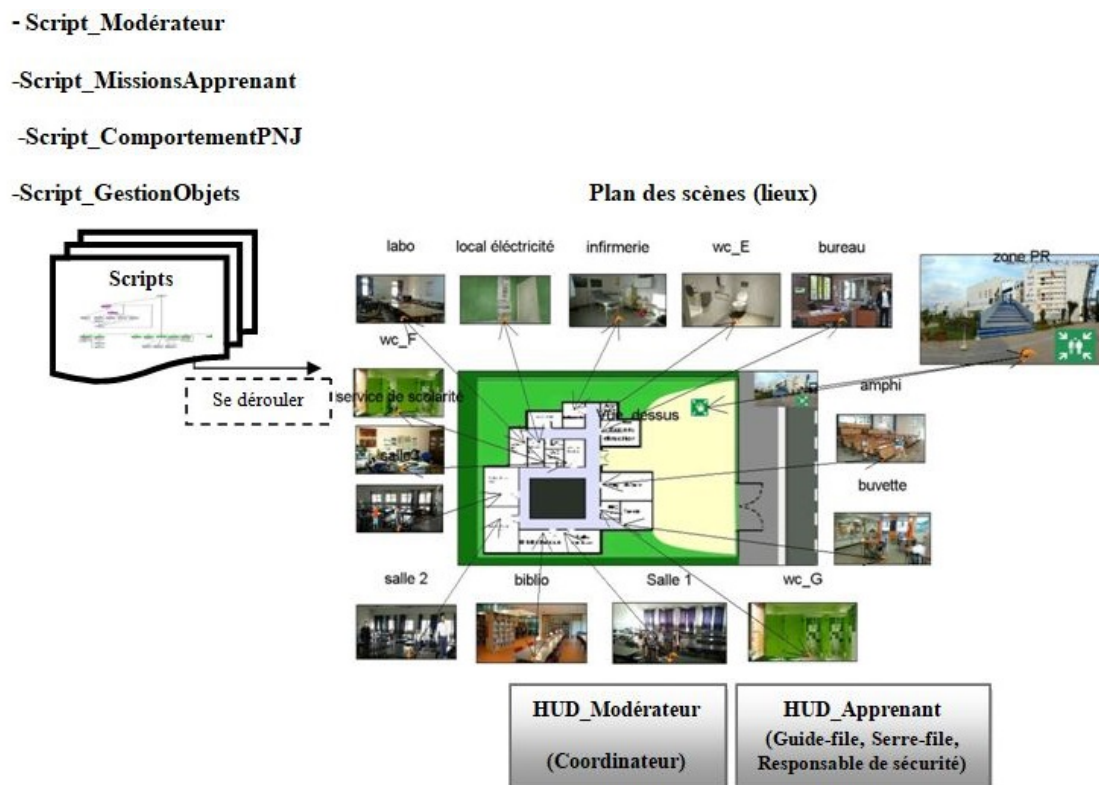


FIGURE 5.6. – Schéma simplifié de la gamification de la procédure d'évacuation

Les comportements de référence définis dans le scénario présenté dans la sous-section 5.3.2, seront traduits sous forme de scripts grâce au module de scénarisation d'iScen. La figure 5.7 montre un extrait du script associé à la gestion des différents objets implémentés dans le jeu. Cet extrait illustre l'évolution du feu.

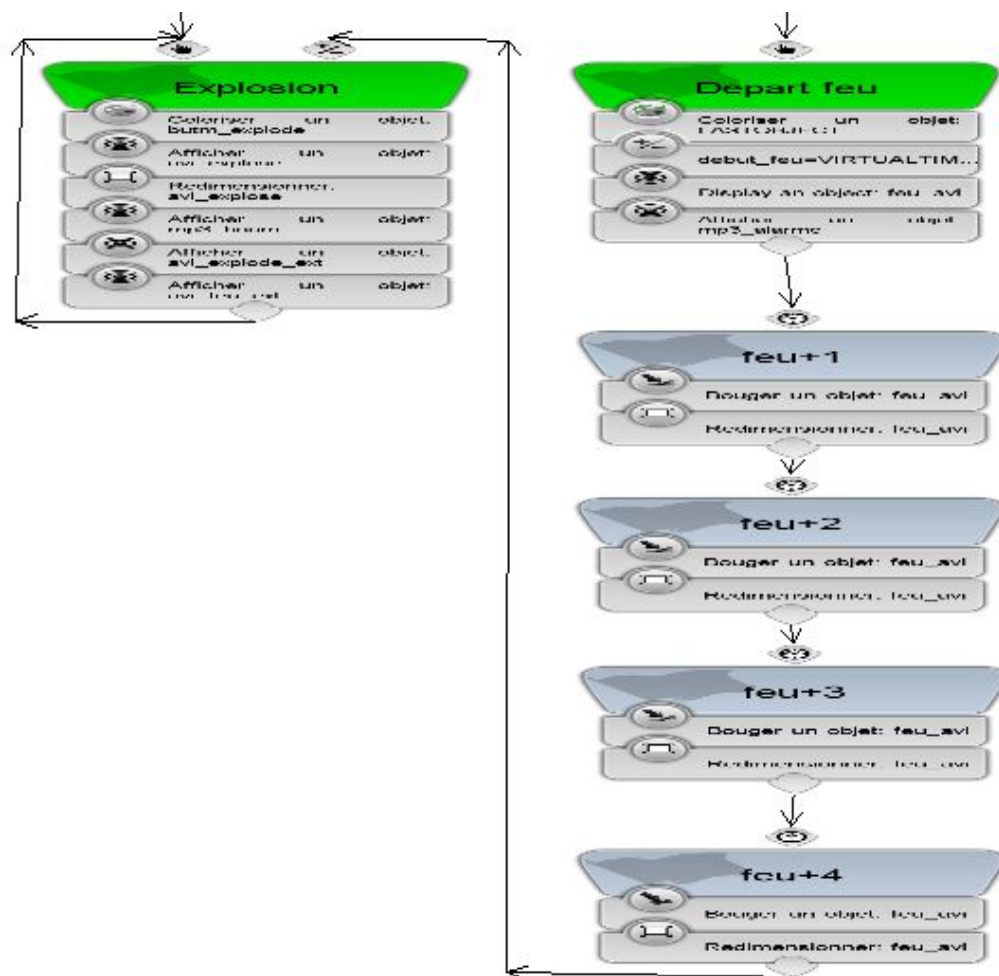


FIGURE 5.7. – Évolution du feu dans iScen

La section suivante est consacrée à la présentation de la démarche expérimentale suivie pour valider les contributions proposées.

5.4. Validation expérimentale

Dans cette section, nous présentons d'abord toutes les étapes constituant notre protocole expérimental de validation. Ensuite, nous décrivons le déroulement de l'expérimentation réelle réalisée dans le cadre de ce protocole. Puis, nous exposons quelques interfaces graphiques du jeu implémentées dans iScen. Enfin, nous présentons l'étape de la post-évaluation, basée sur questionnaire, pour valider les résultats de notre approche d'évaluation.

5.4.1. Protocole expérimental

Dans le domaine de la recherche scientifique, le *protocole expérimental* représente un objet primordial dans la transmission et la validation des résultats de recherche. Un protocole expérimental peut être défini comme *une description précise et claire des conditions et du déroulement d'une expérimentation permettant d'aboutir à des résultats exploitables*. La figure 5.8 décrit le protocole en sept étapes que nous avons suivies.

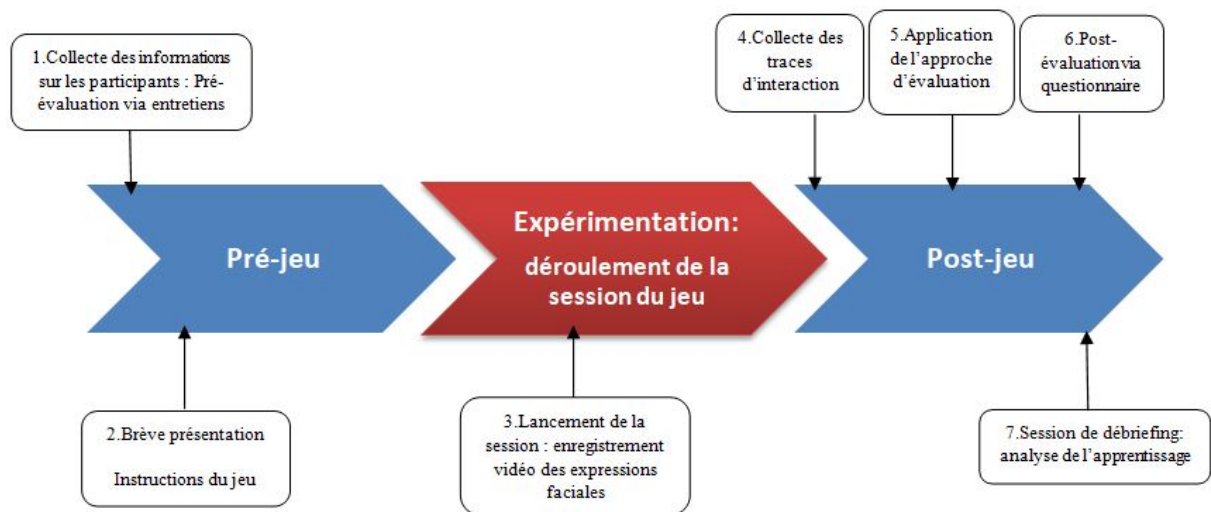


FIGURE 5.8. – Notre protocole expérimental

1. **Collecte des informations sur les apprenants-participants :** il s'agit d'une pré-évaluation qualitative via des entretiens (questions posées oralement). Elle contient des questions sur les données personnelles, comme par exemple si les participants ont déjà utilisé un EIAH avant, notamment des jeux éducatifs, ainsi que leurs connaissances préalables sur le domaine de gestion de crise. De cette façon, nous pouvons séparer les apprenants en trois catégories comme suit : (1) *novice*, (2) *intermédiaire* et (3) *avancé*. Ces informations recueillies sont utiles pour expliquer les résultats d'évaluation obtenus durant la session de débriefing, car la réussite des apprenants dépend fortement de leur profils avant de jouer.
2. **Brève présentation du concept de JSGC et instructions du jeu :** le but de cette étape est de mettre les participants en situation : il s'agit de leur expliquer les règles et les instructions du jeu, et de leur montrer la manière d'utiliser et d'interagir avec la plate-forme iScen.
3. **Lancement de la session du jeu multi-joueurs :** pour démarrer l'exercice d'évacuation, le modérateur doit d'abord lancer le serveur iScen avec le

scénario développé. Une fois le serveur lancé, les joueurs se connectent au serveur, soit par internet ou en réseau local via la version cliente d'iScen afin de joindre la session du jeu. Une fois que tous les joueurs sont connectés, la partie du jeu peut commencer. Le modérateur définit au préalable (via l'éditeur d'iScen) les missions relatives à chaque rôle ainsi que le déroulement de l'exercice grâce à des scripts. La partie du jeu implique des élèves ingénieurs et doctorants en informatique de l'ENSI et dure environ 20 minutes. Des vidéos des visages des participants ont été prises pendant qu'ils interagissaient avec le jeu en utilisant des équipements de Webcams.

4. **Collecte des traces d'interactions après la fin de l'expérimentation** : les traces collectées sont les *enregistrements vidéo* capturés durant le déroulement de la session ainsi que les fichiers logs générés automatiquement par la plate-forme iScen notamment les *messages échangés* grâce au système de messagerie textuelle intégré.
5. **Application de l'approche d'évaluation proposée** : une fois les traces numériques collectées, nous avons procédé par la suite à appliquer les méthodes d'évaluation développées notamment la méthode d'évaluation des facettes émotionnelle et sociale.
6. **Réalisation d'une post-évaluation des états émotionnels des participants** : cette étape est basée sur un questionnaire d'auto-évaluation permettant de mesurer le niveau d'engagement pour valider notre contribution. L'évaluation consiste donc en une analyse des statistiques des réponses obtenues ainsi qu'une interprétation qualitative de celle-ci. Le questionnaire sera décrit après la sous-section suivante.
7. **Session de débriefing humain** : organisée immédiatement après la fin de la session de jeu, l'objectif de cette session consiste à juger la pertinence des performances individuelles ainsi que la performance collective (évaluation pédagogique). Les questions posées sont inspirées des fiches d'évaluation des exercices d'évacuation préparées par des experts [41]. Nous exploitons aussi le bilan généré par la plate-forme qui affiche un ensemble d'indicateurs de performance résultant du déroulement du scénario de jeu comme le temps écoulé qui représente la durée totale de l'évacuation, la perte humaine, et le score de chaque joueur. Ce bilan nous permet d'évaluer les compétences acquises qui incluent la rapidité à réaliser les missions demandées et l'efficacité des actions effectuées par les joueurs. Les retours et les informations recueillies suite à cette réunion d'analyse sont utiles pour évaluer les connaissances aussi bien acquises que manquantes et par la suite pour identifier les voies d'amélioration.

Dans le paragraphe suivant, nous décrivons en détail la première confrontation du jeu sérieux avec des étudiants en contexte réel.

5.4.2. Déroulement de l'expérimentation

Pour une première validation, nous avons sélectionné un groupe de cinq participants humains (en raison de la limitation d'iScen à 6 joueurs humains au maximum). Ce groupe est constitué d'élèves ingénieurs et doctorants en informatique volontaires de notre établissement ENSI.

Avant le début de la session de jeu, nous avons commencé par la collecte des informations sur les participants, comme mentionné dans la première étape du protocole, afin d'identifier leurs niveaux d'expertise notamment en gestion de crise (faible pour tous les participants). Après, les apprenants-joueurs ont eu le droit à une courte présentation du concept de la gestion de crise et du scénario d'évacuation (description générale des rôles d'acteurs et des objectifs) ainsi qu'une initiation à la plate-forme iScen (comment se déplacer, envoyer des messages, etc).

Ensuite, le modérateur a attribué pour chaque participant un rôle bien déterminé parmi les différents rôles du scénario d'évacuation à savoir : le coordinateur, le responsable de sécurité, le guide-file, le serre-file, et le pompier.

Puis, la partie de jeu a commencé et a duré environ 20 minutes. Des vidéos des visages des participants ont été prises pendant qu'ils interagissaient avec le jeu en utilisant des équipements de Webcams.

Enfin, nous proposons aux apprenants de répondre à un questionnaire électronique juste après la fin de la session de jeu afin de réaliser une post-évaluation de leurs états émotionnels.

Ainsi, cette expérimentation nous a permis d'observer d'une part le comportement des participants vis-à-vis du jeu sérieux (la progression de leur apprentissage en utilisant iScen) et d'autre part de valider notre approche d'évaluation. En raison de facteurs externes à l'expérimentation (la pandémie de COVID-19 et le confinement), nous n'avons pas pu malheureusement conduire d'autres expérimentations avec plusieurs groupes de participants impliqués dans le scénario d'évacuation et par conséquent, nous avons dû nous limiter à un seul groupe de cinq personnes.

Dans le paragraphe suivant, nous présentons les interfaces principales du jeu développé.

5.4.3. Interfaces principales du jeu

Afin de mieux rendre compte de l'expérience du jeu, nous réservons cette sous-section à la présentation de quelques interfaces principales du déroulement du jeu dans la plate-forme iScen.

5.4.3.1. Serveur iScen

La figure 5.9 illustre la fenêtre de création d'un serveur iScen. Après avoir chargé le dossier du scénario en question, nous commençons par donner un nom à la partie de jeu, ensuite nous indiquons un port (réseau).



FIGURE 5.9. – Création d'un serveur iScen

Le modérateur définit au préalable (via l'éditeur d'iScen) les propriétés du scénario telles que le type de partie de jeu (mono ou multi-joueurs), le mode du déroulement du jeu (en continu ou tour par tour), la description du scénario avec ses principaux objectifs, et la vitesse de jeu comme le montre la figure 5.10.

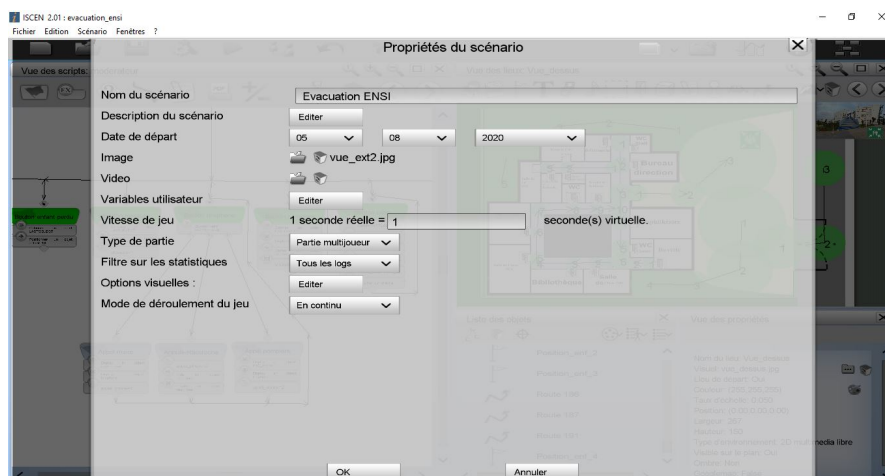


FIGURE 5.10. – Propriétés du scénario

5.4.3.2. Client iScen

Pour commencer à jouer, l'apprenant-joueur doit rejoindre une partie en réseau ou sur internet à travers l'interface schématisée par la figure 5.11. Il doit ensuite renseigner les informations nécessaires telles que l'adresse IP et le port.



FIGURE 5.11. – Rejoindre un serveur iScen

Une fois connecté au serveur iScen, l'apprenant-joueur accède à l'interface de sélection du personnage (rôle à incarner dans la partie de jeu). Puis, une nouvelle interface s'affiche indiquant une courte description du rôle incarné avec l'objectif général de l'exercice. La figure 5.12 montre l'exemple du rôle "responsable de sécurité". Alors que la figure 5.13 illustre l'interface du rôle "coordinateur".

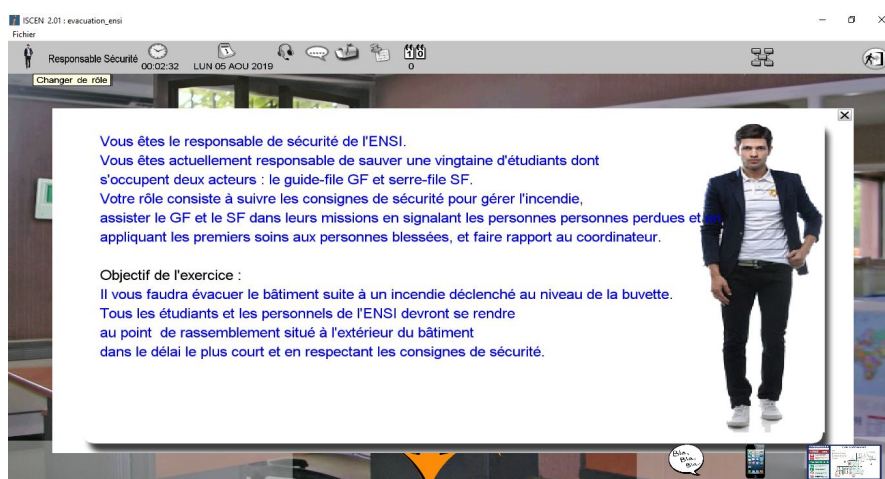


FIGURE 5.12. – Interface du rôle responsable de sécurité

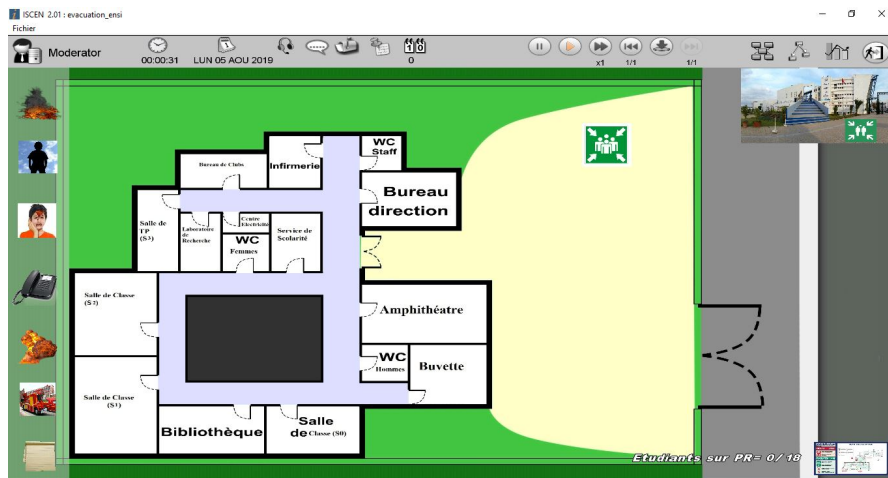


FIGURE 5.13. – Interface du rôle coordinateur

Le scénario en question simule un incendie qui s'est déclenché dans la buvette de l'établissement et qui se propage progressivement dans tout le bâtiment comme le montre la figure 5.14. La figure 5.15 présente une interface du jeu durant la session de formation.

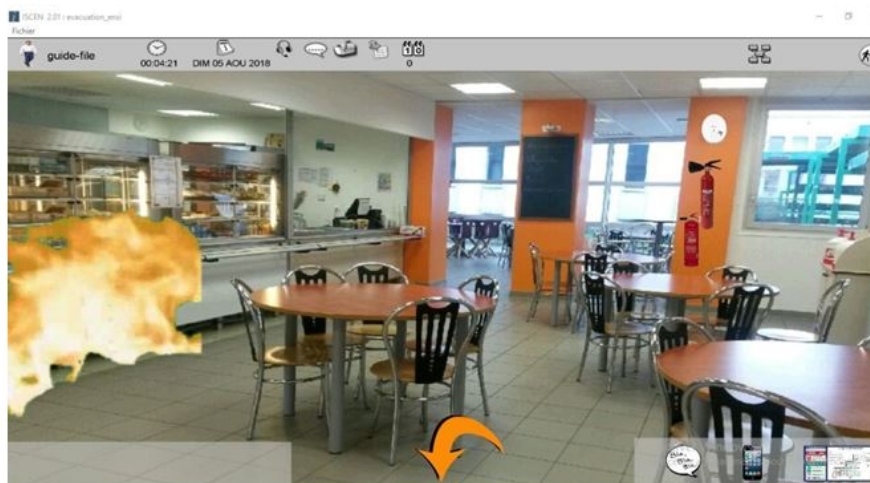


FIGURE 5.14. – Simulation d'incendie dans iScen

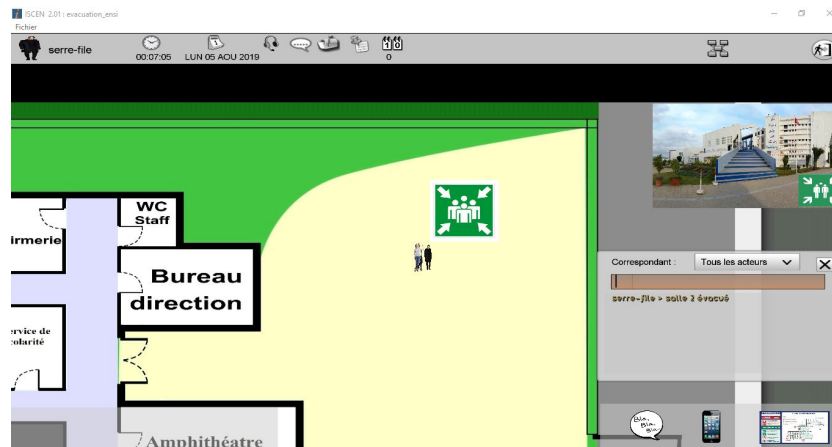


FIGURE 5.15. – Interface du jeu durant la session de formation

Dans le paragraphe suivant, nous décrivons la post-évaluation réalisée pour la validation de notre contribution.

5.4.4. Post-évaluation

Dans le cadre de la post-évaluation, nous utilisons le *Game Engagement Questionnaire (GEQ)* proposé par [16] et validé par [27]. Le GEQ est l'un des questionnaires d'auto-évaluation les plus couramment utilisés dans le domaine de l'expérience des joueurs pour mesurer le niveau d'engagement spécifiquement suscité dans les jeux vidéo et/ou les jeux sérieux. Le GEQ a une structure modulaire comprenant : le "*core module*", le "*social presence module*", et le "*post-game module*".

Ces trois modules sont destinés à être administrés immédiatement à la fin de la session de jeu. Dans la perspective de notre étude, seul le "*core module*" est utile pour la validation de notre travail car il permet de mesurer l'engagement des joueurs et de juger leurs propres états affectifs pendant une session de jeu. Le "*core module*" contient 33 *items* conçus pour mesurer l'expérience des joueurs selon les sept dimensions suivantes : *Immersion*, *Flow*, *Compétence*, *Positive Affect*, *Negative Affect*, *Tension*, et *Challenge* (voir Annexe 1). Les scores des dimensions sont calculés comme la valeur moyenne de leurs *items*. Chaque *item* consiste en un énoncé sur une *échelle de Likert* à cinq points allant de 1 (*pas du tout*) à 5 (*extrêmement*) [27]. Des exemples d'*items* des dimensions sont : "*I was interested in the game's story*" (*Immersion*), "*I was deeply concentrated in the game*" (*Flow*), "*I felt competent*" (*Compétence*), "*I felt happy*" (*Positive Affect*), "*I felt bored*" (*Negative Affect*), "*I felt frustrated*" (*Tension*), et "*I felt pressured*" (*Challenge*). Pour des fins de validation, les réponses des participants à ce questionnaire à la fin de la session de jeu seront comparées aux résultats de l'évaluation sommative

de leurs états affectifs obtenus par notre approche.

La section suivante vise à montrer et à discuter les résultats d'évaluation obtenus sur le scénario d'évacuation développé avec la plate-forme iScen.

5.5. Résultats obtenus et discussions

Dans cette section, nous montrons d'abord les résultats d'évaluation de la facette sociale, puis nous présentons les résultats d'évaluation de la facette émotionnelle.

5.5.1. Résultats de l'évaluation de la facette sociale

La méthode d'évaluation de la facette sociale proposée consiste en une approche d'*ARSP* capable de : (1) analyser quantitativement la structure du réseau social à travers l'évaluation des critères de communication et de coordination ; et (2) évaluer qualitativement la qualité de la collaboration entre les différents joueurs par rapport à un scénario expert. Dans ce qui suit, nous détaillons ces deux missions.

1. **Évaluation quantitative de la communication et de la coordination :** nous avons d'abord construit un graphe d'interaction orienté modélisant les différentes communications entre les différents acteurs humains qui représentent les acteurs intervenants de la procédure d'évacuation à savoir le Guide-File GF, le Serre-File SF, le Responsable de sécurité RS, le Coordinateur C et le Pompier P. Ce graphe a été construit à partir des traces d'interaction obtenus suite à l'expérimentation décrite précédemment. La figure 5.16 montre le graphe de communication obtenu. Les interactions avec les acteurs simulés qui représentent les PNJ à évacuer ne sont pas modélisées puisque nous nous focalisons sur l'évaluation des interactions entre les joueurs humains.

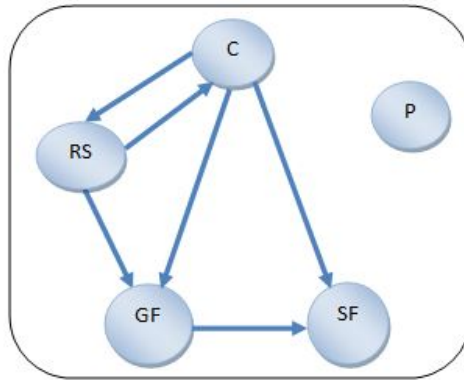


FIGURE 5.16. – Graphe de communication

En se basant sur ce graphe, nous avons procédé au calcul des mesures de centralité et de densité permettant l'évaluation de la communication et la coordination respectivement. Le degré de centralité d'un nœud particulier n détermine son influence (demi-degré sortant $d^+(n)$) et son importance (demi-degré entrant $d^-(n)$) par rapport au réseau. Il exprime son activité en se basant sur ses liens directs. Tandis que la mesure de densité permet d'évaluer la connectivité globale et la coordination au niveau du groupe. A travers les figures 5.17, 5.18 et 5.19 ci dessous, nous remarquons globalement que la charge de communication n'est pas partagée équitablement et que les joueurs C, RS et GF sont impliqués dans la communication plus que les autres, ce qui peut indiquer une certaine centralisation du contrôle. Le joueur C est considéré comme central ($Cd(C)=1$) : c'est le joueur le plus actif du point de vue communication du fait qu'il s'agit d'acteur chargé de la coordination.

Nous constatons aussi que le joueur P ne communique pas avec les autres joueurs ($Cd(P)=0$) : il n'a jamais envoyé, ni reçu de messages. Ceci est dû au fait qu'il reste toujours en attente de recevoir une information sur l'évolution de l'incendie avant d'y intervenir. Le joueur SF reçoit des messages et n'en envoie pas ($Cd(SF)=0.5$), ceci indique que ce joueur n'est pas influent dans le réseau de communication. Au contraire, les joueurs GF et RS montrent une certaine importance et popularité dans le réseau mais ils sont peu influents ($Cd(GF)=Cd(RS)=0.75$).

En se basant sur ces résultats, nous constatons que le réseau de communication obtenu n'est pas complexe, l'indice de densité est faible (égale à 0.3) et est plus proche de 0 que de 1. Ainsi le réseau est caractérisé par un faible degré de communication et une faible connectivité entre les joueurs. Ceci peut être expliqué par le nombre faible de messages échangés entre les joueurs impliqués ce qui affecte négativement le déroulement ainsi que la performance collective du groupe.

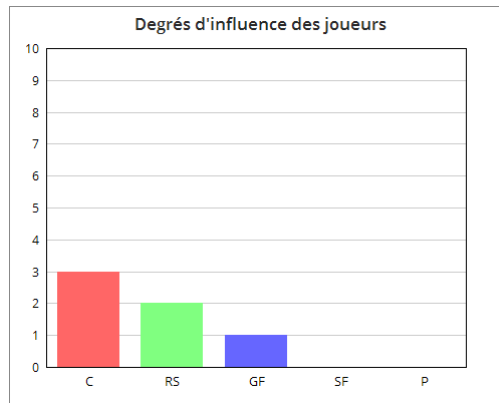


FIGURE 5.17. – Degrés d'influence des joueurs $d^+(n)$

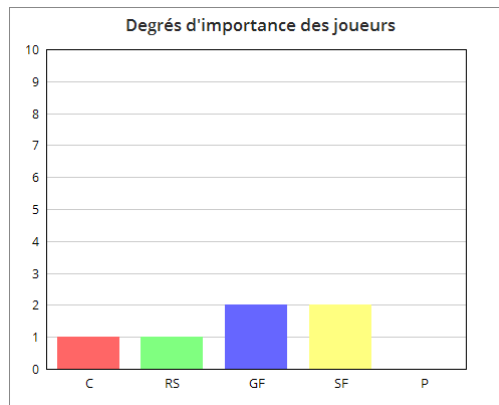


FIGURE 5.18. – Degrés d'importance des joueurs $d^-(n)$

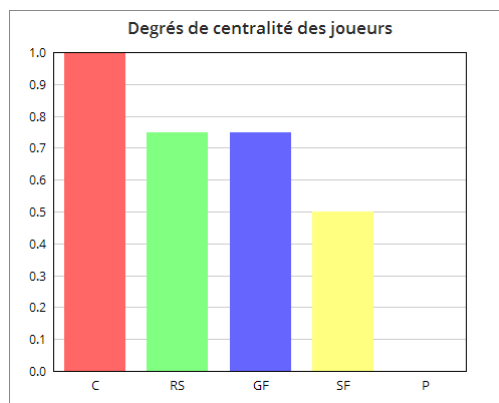


FIGURE 5.19. – Degrés de centralité des joueurs $Cd(n)$

2. **Évaluation qualitative de la collaboration entre les joueurs** : afin de mieux comprendre et bien expliquer les résultats de l'évaluation quantitative décrite précédemment, nous reportons dans cette partie les résultats obtenus de l'évaluation qualitative des interactions sociales en s'appuyant sur le modèle de référence (ou expert) du scénario étudié (qui respecte l'ordre des actions et les pré-conditions). Pour ce faire, nous avons commencé par l'élaboration du modèle métier décrivant les comportements des joueurs ainsi que les différentes interactions entre eux du scénario expert de l'exercice d'évacuation en cas d'incendie. La figure 5.20 montre ce modèle métier sous forme d'un diagramme de séquences UML simplifié.

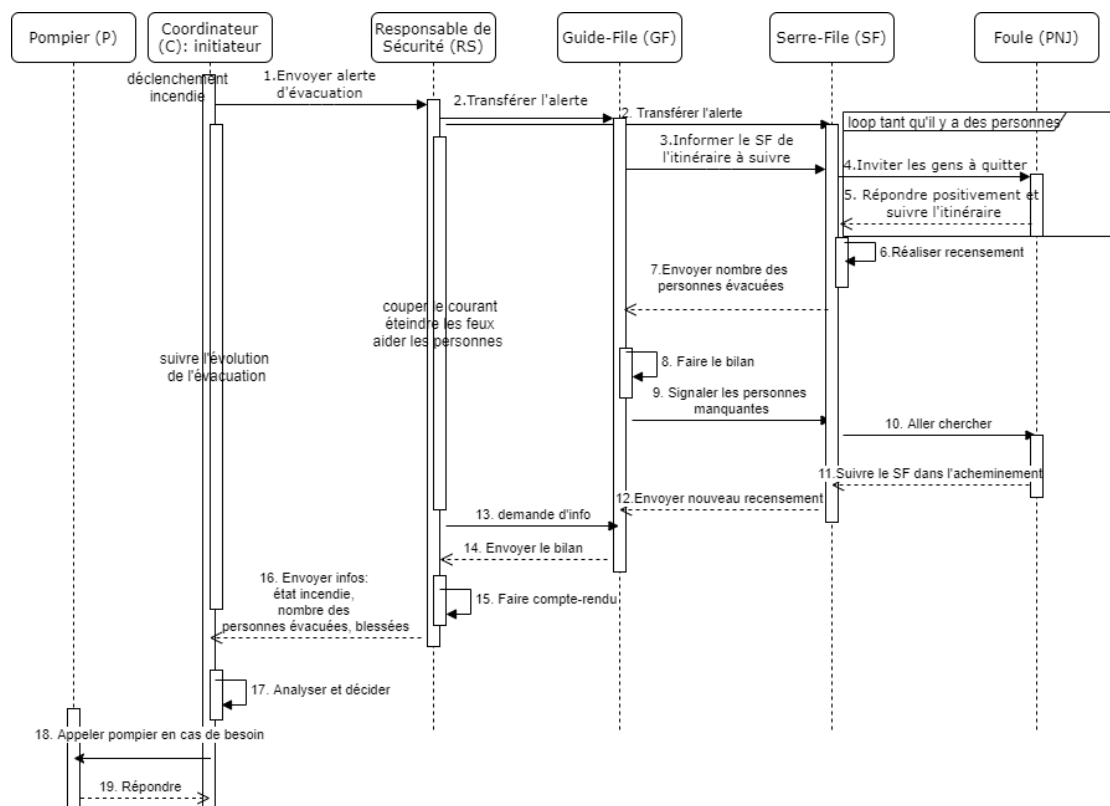


FIGURE 5.20. – Diagramme de séquences UML simplifié du scénario expert d'évacuation

Ensuite, à partir du modèle métier, nous avons construit le graphe de dialogue de référence (Action de l'acteur-Interaction) définissant à priori les interactions nécessaires entre les joueurs et qui sera utilisé pour évaluer l'aspect collaboratif de l'exercice comme l'illustre la figure 5.21. Nous rappelons que la forme rectangle du graphe de dialogue représente l'action réalisée par le joueur suite à une interaction, et la forme ovale modélise l'interaction produite entre deux joueurs en indiquant ses caractéristiques

(acteurs, contexte et contenu).

En se basant sur le graphe de référence obtenu, cette évaluation consiste à calculer les scores des différents indicateurs proposés pour chaque niveau d'analyse identifié à savoir : l'interaction avec le bon acteur/rôle, le moment d'échange (plus généralement le contexte d'interaction), et le contenu textuel échangé permettant ainsi de produire une analyse qualitative des interactions sociales.

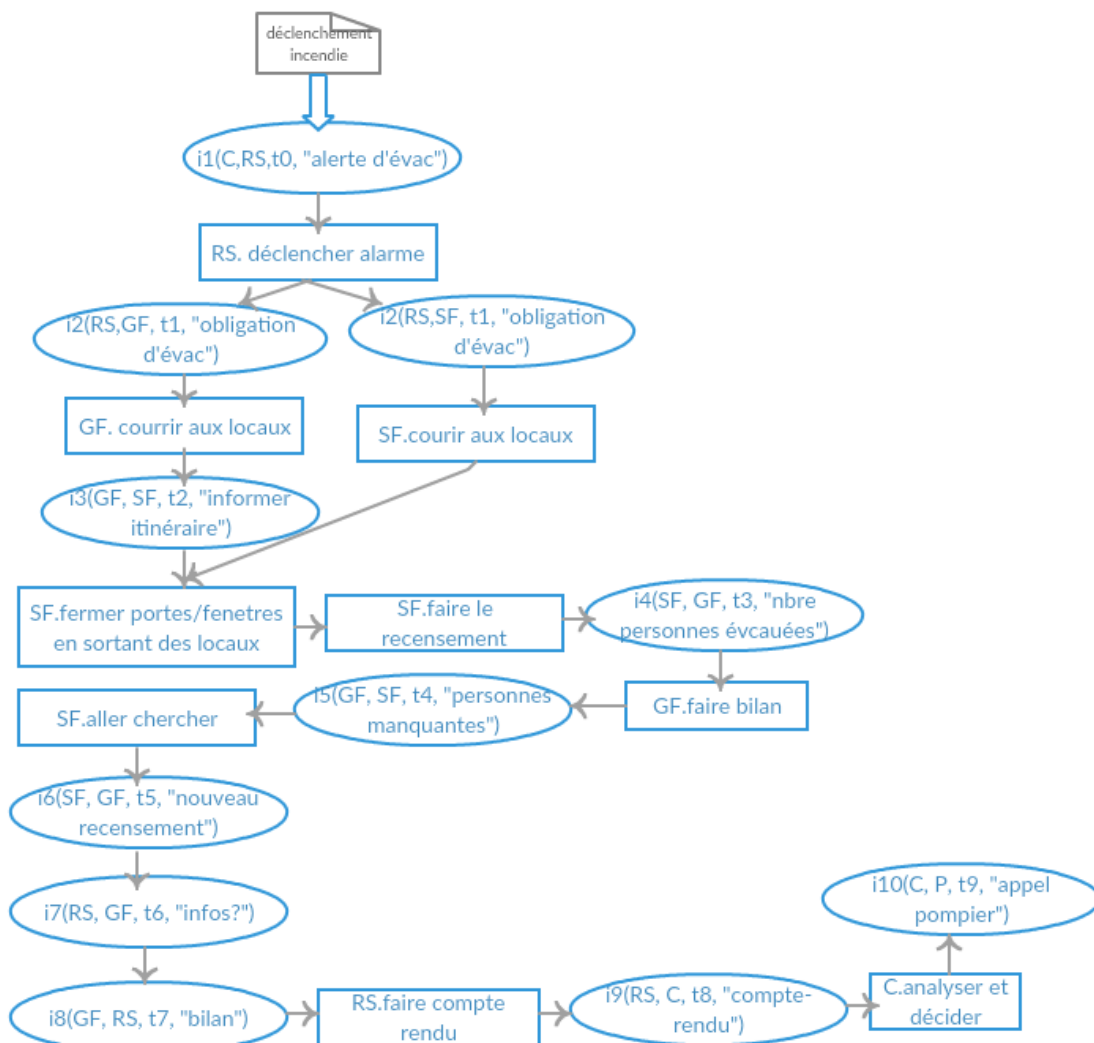


FIGURE 5.21. – Graphe de dialogue de référence du scénario d'évacuation modélisant les interactions et les actions nécessaires

La comparaison du graphe de dialogue de référence avec celui construit à partir des interactions réelles constatées durant l'exercice nous a mené à dresser le tableau 5.2. Ce tableau affiche les scores des différents indica-

teurs pour chaque paire de joueurs ayant participé à l'exercice concerné par le graphe de communication selon les formules indiquées dans le chapitre précédent. Ces scores permettent de décider de la validation de chaque interaction.

Paire de joueurs en interaction	Interaction avec le bon acteur/rôle	Contexte d'interaction	Contenu échangé	Valide
(C, RS)	1	1	1	Oui
(C, GF)	1	1	1	Oui
(C, SF)	1	1	1	Oui
(RS, C)	1	0.34	0	Non
(RS, GF)	1	0.57	0	Non
(GF, SF)	1	0.25	0	Non

TABLE 5.2. – Évaluation qualitative des interactions sociales

D'après le tableau 5.2, nous remarquons que toutes les interactions qui ont eu lieu durant l'exercice se passent entre les acteurs prévus. Cependant, nous constatons que les scores relatifs au contexte d'interaction sont globalement faibles et varient selon plusieurs critères à savoir : le nombre, l'ordre des actions, et le nombre des pré-conditions respectées. Par ailleurs, l'analyse du contenu textuel échangé durant l'exercice réel montre que la communication entre les différents joueurs consiste globalement en un simple échange d'information ; il n'y a pas de conversations élaborées.

Par conséquent, grâce au calcul de ces scores, nous pouvons répondre à la fois à la question de l'évaluation individuelle d'un acteur dans ses relations avec les autres (en comparant les interactions entre les acteurs) et l'évaluation collective (qui n'est qu'une agrégation de toutes les évaluations individuelles des interactions produites durant une session de jeu). Ainsi, et comme évoqué précédemment, le réseau est caractérisé par une faible connectivité entre les joueurs et donc un faible niveau de coordination au niveau du groupe. Ceci est dû aux contraintes d'interaction liées à la plateforme iScen (de plus le chat textuel a été insuffisamment employé). En ef-

fet, l'analyse des appels vocaux (interactions orales via des micro-casques) sera une piste intéressante à explorer dans nos travaux futurs car le chat vocal est moins intrusif que la messagerie instantanée permettant ainsi de maintenir les joueurs immergés dans le monde virtuel du jeu.

En résumé, malgré la difficulté d'interpréter la discussion entre deux acteurs humains dans le contexte de jeux sérieux de gestion de crise (car celle-ci est toujours liée au scénario), nous avons pu produire une évaluation aussi bien quantitative que qualitative des interactions sociales entre les différents acteurs. L'évaluation qualitative proposée est basée sur deux niveaux permettant de juger la qualité des échanges entre les acteurs. Au niveau des interactions, elle consiste à vérifier que chaque acteur joue son rôle convenablement (de point de vue respect des pré-conditions ainsi que le nombre et/ou l'ordre des actions réalisées). Au niveau du groupe, elle consiste à vérifier l'adéquation du contenu des échanges ayant eu lieu.

5.5.2. Résultats de l'évaluation de la facette émotionnelle

La méthode d'évaluation de la facette émotionnelle proposée consiste en une approche de *EDM* capable de : (1) évaluer la dynamique temporelle des états affectifs des apprenants durant une session de JSGC en étudiant l'impact du stress aigu sur les transitions affectives ; et (2) évaluer les états affectifs des apprenants à la fin du processus de formation à deux niveaux : individuel et collectif. Dans ce qui suit, nous détaillons les deux volets.

1. **Évaluation de la dynamique temporelle des états affectifs des joueurs :** nous avons analysé la dynamique affective des participants en détectant leurs émotions à un niveau fin (toutes les 20 secondes) à l'aide des expressions faciales et en étudiant l'impact du *stress aigu* sur les transitions entre les différents états affectifs. A chaque intervalle de 20 secondes, l'état affectif était déterminé en se basant sur la correspondance décrite dans le quatrième chapitre. Cette durée d'intervalle est choisie après un certain nombre de test montrant que les clips (ou périodes) plus courts ne fournissent pas de données suffisantes et fiables, et que les clips plus longs sont difficiles à évaluer car ils mélangent souvent différents états émotionnels [35].

En comparant nos résultats par rapport au modèle de déséquilibre cognitif décrit dans le troisième chapitre, nous avons confirmé certaines transitions déjà prévues et nous en avons identifié d'autres. Les transitions déjà prévues par le modèle sont les suivantes : engagement => confusion, confusion => frustration, et frustration => ennui, qui se sont naturellement

produites. Les transitions identifiées et non prévues par le modèle sont : frustration => confusion et ennui => frustration.

Premièrement, même la transition de la frustration à la confusion s'est rarement produite, nous pensons que certains participants frustrés, pourraient considérer la situation comme un défi et deviennent plus énergiques ; et finalement entrent dans l'état de confusion tout en essayant de résoudre le problème actuel. Deuxièmement, le passage de l'ennui à la frustration s'est produit de manière significative lorsque nous détectons un niveau d'activation élevé de certaines UAFs caractérisant l'émotion de *stress aigu*. En résumé, nos résultats suggèrent que certains aspects du modèle pourraient être raffinés pour être adaptés au contexte des JSGC [31].

Le tableau 5.3 résume les transitions affectives possibles proposées par notre méthode. Plusieurs transitions significatives d'un état affectif à l'instant T_i vers un autre état affectif à l'instant T_{i+1} ont été identifiées. Par exemple, la transition : engagement (à T_i) => confusion (à T_{i+1}) s'est déroulée comme prévu par le modèle ; alors que la transition : ennui (à T_i) => frustration (à T_{i+1}) a été découverte par notre méthode d'évaluation. (+) montre que la transition s'est déroulée comme prévu par le modèle. (-) montre que la transition est très peu probable. (++) montre les transitions découvertes par notre méthode.

Time $T_i \rightarrow$	Time T_{i+1}			
	Ennui	Engagement	Confusion	Frustration
Ennui		-	-	++
Engagement	-		+	-
Confusion	-	+		+
Frustration	+	-	++	

TABLE 5.3. – Transitions entre états affectifs

Une telle analyse des transitions affectives nous permet de produire une évaluation sommative des états émotionnels des apprenants à deux niveaux : individuel et collectif comme le montre le paragraphe suivant.

2. **Évaluation sommative individuelle et collective des états affectifs des joueurs** : suite à l'agrégation des résultats de l'évaluation de la dynamique temporelle des états affectifs des joueurs à la fin de la formation, nous avons obtenus les résultats suivants comme le montre la figure 5.22 : 25% des apprenants se sont sentis engagés, 50% ont exprimé de l'ennui, 25% ont ressenti de la frustration et 0% ont éprouvé la confusion. Cette vision globale nous a permis de décider de la polarité de l'émotion de groupe en

appliquant le modèle d'arbre de décision proposé.

Par conséquent, nous pouvons déduire que l'émotion de groupe est négative (25 % d'engagement + 0 % de confusion + 50 % d'ennui + 25 % de frustration => classe négative) et ainsi la performance de l'équipe est également négative. En effet, cette interprétation peut être expliquée par le fait que tous les participants se trouvent, pour la première fois, dans une procédure d'évacuation basée sur un environnement virtuel de formation. Elle peut également être due au fait que l'orientation et l'assistance assurées par le formateur durant le processus de formation afin que les apprenants atteignent mieux les objectifs pédagogiques du jeu étaient limitées et insuffisantes [31]. Nous notons aussi que les mécaniques de jeu de la plate-forme iScen, définissant le critère de la jouabilité, ne sont pas très développés (environnement 2D avec des images interactives).

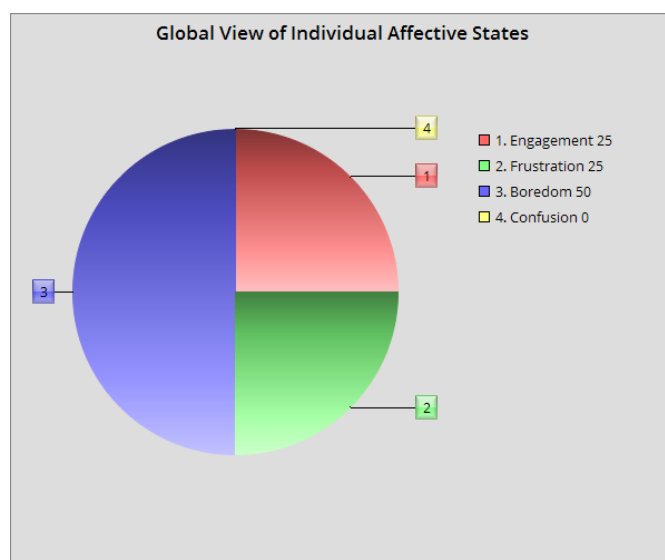


FIGURE 5.22. – Vision globale des états affectifs individuels des joueurs

Afin de vérifier la fiabilité de la méthode proposée, les résultats d'évaluation sommative obtenus sont comparés à des descriptions subjectives basées sur le *GEQ*. Après la session de jeu, le "*core module*" de *GEQ* est présenté aux apprenants sous forme d'un questionnaire électronique à remplir (voir Annexe 1). Les statistiques descriptives obtenues à partir des réponses des apprenants sont présentées dans le tableau 5.4.

Comme le montre le tableau 5.4, les émotions positives sont beaucoup moins intenses et moins fréquentes que les émotions négatives (les valeurs sont inférieures à la valeur moyenne de l'échelle). En effet, les participants ont déclaré

que le niveau de "*Positive affect*" était faible (2,00). Plus précisément, l'analyse des résultats montre que "*l'Immersion*" (le degré d'implication des joueurs dans l'environnement du jeu) et le "*Flow*" (la concentration totale sur le déroulement du jeu et la perte de la conscience de soi) reçoivent respectivement des degrés faibles (2,13 et 2,34) [31].

La dimension "*Negative affect*" reçoit la valeur la plus élevée de toutes (4,28). Ce résultat indique que le jeu a engendré des expériences émotionnelles négatives et en particulier de l'ennui. En outre, les participants ont ressenti un certain degré de "*Tension*" (3,96) sous la forme d'émotions négatives spécifiques comme la frustration. De plus, en termes de "*Challenge*", les participants ont indiqué que l'environnement du jeu est difficile et stimulant (3,43) selon leur niveau de compétences (2,43). Tous ces résultats confirment l'émotion de groupe détectée après l'application de la méthode proposée sur le même scénario d'évacuation qui était négative.

Dimension	Moyenne	Écart-type	Max	Min
Immersion	2.13	0.60	4.00	1.00
Flow	2.34	0.62	3.55	1.13
Positive affect	2.00	0.50	3.00	1.00
Negative affect	4.28	0.85	5.00	2.00
Tension	3.96	0.77	5.00	1.65
Challenge	3.43	0.68	5.00	2.00
Competence	2.43	0.56	3.00	1.20

TABLE 5.4. – Statistiques descriptives pour les dimensions du core module du questionnaire GEQ

Durant la session de jeu, il est apparu que les apprenants expriment des états affectifs négatifs, tels que l'ennui et la frustration, plutôt que de transiter vers des états positifs d'engagement, ou même de confusion. Ceci peut être expliqué par le fait que le changement d'un état émotionnel à un autre dépend fortement de plusieurs facteurs, notamment des traits de personnalité et des connaissances préalables sur le sujet étudié (gestion de crise dans notre cas). Ces facteurs ne sont pas étudiés dans ce travail de thèse, mais ils représentent un domaine in-

téressant à explorer dans les travaux futurs. Par ailleurs, nous devons étendre cette étude à un échantillon de participants plus large et réaliser de nombreuses expérimentations avancées afin de tirer des conclusions généralisables.

En résumé, tous les participants ont fourni des auto-évaluations de leurs états affectifs immédiatement après la session de formation ; de cette façon, leurs activités d'apprentissage pendant la session n'ont pas été interrompues. Les résultats présentés dans cette sous-section ont montré que les annotations finales d'affect obtenues par la méthode proposée sont bien corrélées avec les réponses subjectives au *GEQ*. Par rapport au *GEQ*, la méthode proposée représente une manière objective et rapide d'analyse des émotions des apprenants permettant de déduire leurs états affectifs sans les interrompre ou les distraire du jeu en utilisant plusieurs outils et algorithmes d'IA.

5.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un scénario d'évacuation pour illustrer et valider notre cadre théorique pour l'évaluation individuelle et collective des apprenants dans les jeux sérieux collaboratifs de gestion de crise. Pour ceci, nous avons mis en place un protocole expérimental de validation qui a montré la cohérence des évaluations fournies par notre approche par rapport aux réponses des apprenants aux questions après la fin de la session de jeu. Néanmoins, cette validation reste partielle, et il faudra réaliser d'autres expérimentations avec des apprenants impliqués dans la gestion de crise.

Les résultats de notre approche d'évaluation visent à aider les apprenants ainsi que les chercheurs et les formateurs à comprendre comment les participants se comportent pendant une session de formation basée sur un *JSGC*. En outre, ces résultats seront utiles lorsqu'ils sont exploités par les chercheurs pour adapter ou ajuster certains aspects de l'environnement de jeu selon les profils des joueurs ; et ainsi améliorer leurs expériences d'apprentissage. Pour ceci, nous consacrons le chapitre suivant à définir l'adaptation dans les jeux sérieux et à proposer une illustration d'une adaptation dans notre contexte.

6. De l'évaluation à l'adaptation d'un jeu sérieux

Sommaire

6.1	Introduction	132
6.2	Vers l'adaptation des jeux sérieux	133
6.2.1	Définition du concept d'adaptation	133
6.2.2	Types d'adaptation	134
6.2.3	Processus d'adaptation des jeux sérieux	136
6.3	Illustration d'une adaptation avec la plate-forme iScen	139
6.3.1	Décomposition d'iScen selon l'architecture MVC	139
6.3.2	Illustration de l'adaptation proposée	139
6.4	Conclusion	142

6.1. Introduction

Ce dernier chapitre de la thèse vise à introduire le concept d'adaptation dans les environnements de jeux sérieux. De fait, l'intérêt de l'évaluation d'un jeu sérieux, au delà de mesurer sa capacité à transmettre des connaissances, est d'identifier les points d'amélioration de ce jeu. Une thèse entière pourrait être consacrée à ce sujet. Aussi, nous n'avons pas l'ambition de le traiter exhaustivement, mais plutôt profiter du travail accompli autour de l'évaluation pour en tirer quelques leçons et contribuer au débat scientifique autour de l'adaptation des jeux sérieux.

A cet effet, nous commençons par présenter une définition générale de ce concept, ses différents types ainsi que son processus. Ensuite, nous proposons une illustration d'une adaptation sur la plate-forme iScen à deux niveaux : un niveau structurel afin d'améliorer l'utilisabilité d'iScen, et un niveau comportemental afin d'ajuster quelques éléments au cours de jeu en fonction du profil de l'apprenant-joueur.

6.2. Vers l'adaptation des jeux sérieux

L'adaptation des systèmes informatiques à leurs utilisateurs est un processus clef pour améliorer leur accessibilité, leur utilité, leur utilisabilité, voire même leur acceptabilité [65]. Pour les EIAH en particulier, l'adaptation a toujours été un défi compte tenu de leur évolution continue. En effet, chaque nouvelle forme d'EIAH (jeux sérieux, environnements virtuels, etc.) apporte de nouvelles fonctionnalités, de nouvelles formes d'interactions, et de nouveaux usages qu'il faut prendre en compte.

L'adaptation des jeux sérieux est actuellement une tâche complexe, pluridisciplinaire, qui nécessite d'être appréhendée en prenant en compte ses nombreuses dimensions incluant la dimension pédagogique, ergonomique, ludique, motivationnelle [98], ses perspectives (cibles, sources et objectifs de l'adaptation), ainsi que les différents acteurs concernés (apprenants, formateurs-enseignants, concepteurs de jeux vidéo, pédagogues).

Dans cette section, nous commençons d'abord par définir le concept d'*adaptation* ainsi que ses différentes formes à savoir : la *personnalisation* et l'*individualisation*. Puis, en s'inspirant de la définition donnée, nous introduisons deux types d'adaptation dans les environnements de jeux sérieux. Enfin, nous caractérisons l'ensemble des éléments constitutifs du *processus d'adaptation* dans les jeux sérieux.

6.2.1. Définition du concept d'adaptation

Les dispositifs d'apprentissage, les types de connaissances transmises, les apprenants eux-mêmes et le contexte d'utilisation dans lequel s'effectue le processus d'apprentissage sont très variés. Cette variabilité nous impose de penser et de mettre en oeuvre différents niveaux de personnalisation, d'adaptation et d'individualisation [58]. Ces appellations se distinguent par des perceptions différentes et leurs mises en oeuvre sont très différentes.

Ainsi, on parle plutôt d'*individualisation* du scénario pédagogique ou du parcours d'apprentissage pour chaque apprenant (relation apprenant-contexte) ; de *personnalisation* des interfaces et/ou ressources selon des profils d'apprenants correspondant à certains besoins, intérêts et préférences (relation apprenant-système jeu) ; et d'*adaptation* du dispositif au contexte d'utilisation caractérisant la situation d'apprentissage (relation contexte-système jeu) [58].

La *personnalisation* et l'*individualisation* sont deux déclinaisons particulières de l'adaptation. Ainsi, selon les disciplines concernées, le vocabulaire utilisé peut différer bien que renvoyant aux mêmes notions et à une même finalité qui est la prise en compte des particularités de chaque apprenant et de la spécificité du contexte d'apprentissage pour lui proposer une expérience pédagogique personnalisée ou "sur mesure".

Dans notre travail, nous choisissons le terme "*adaptation*" parce que nous nous positionnons entre le système jeu en tant que dispositif d'apprentissage et le contexte d'utilisation qui est défini par le triplet : *apprenant-joueur, jeu sérieux, situation d'interaction*. L'adaptation peut être définie comme étant : *l'action d'ajuster le système jeu (sa structure et/ou son comportement) en vue de le rendre adapté au profil/besoins du joueur afin d'améliorer sa capacité à interagir, apprendre et s'adapter surtout dans un contexte d'apprentissage particulier* [53]. L'objectif de l'adaptation consiste alors à améliorer l'efficacité de l'apprentissage de l'apprenant et augmenter grandement sa satisfaction [96].

La sous-section suivante va introduire les différents types d'adaptation ainsi que les principaux modules d'un jeu sérieux qui peuvent être des cibles potentielles ou des paramètres d'adaptation.

6.2.2. Types d'adaptation

En se basant sur la définition de l'adaptation donnée dans la sous-section précédente, nous pouvons dire que l'adaptation touche deux niveaux : un niveau structurel (ou architectural) et un niveau comportemental.

- **Au niveau structurel** : l'adaptation a pour but d'améliorer l'utilisabilité d'un jeu sérieux en restructurant certaines de ses modules ou propriétés comme par exemple le module d'interaction et de simulation (environnement virtuel 2D/3D, traces d'interaction etc.).
- **Au niveau comportemental** : l'adaptation a pour but de modifier le comportement du jeu en ajustement ses variables comme par exemple le niveau de difficulté du jeu, le nombre et/ou les comportements des adversaires et/ou personnages non-joueurs de jeu (voire de manière différenciée suivant le niveau des joueurs).

Il faut noter par ailleurs, que l'adaptation (notamment au niveau comportemental) peut être dynamique et s'appliquer au cours de jeu (en temps réel). En définitive, l'adaptation doit conduire de meilleurs résultats de l'évaluation du jeu sérieux.

Ainsi, l'adaptation peut être considérée comme un processus qui va interagir avec le système jeu en modifiant structurellement et/ou comportementalement ses différents modules illustrés par la figure 6.1.

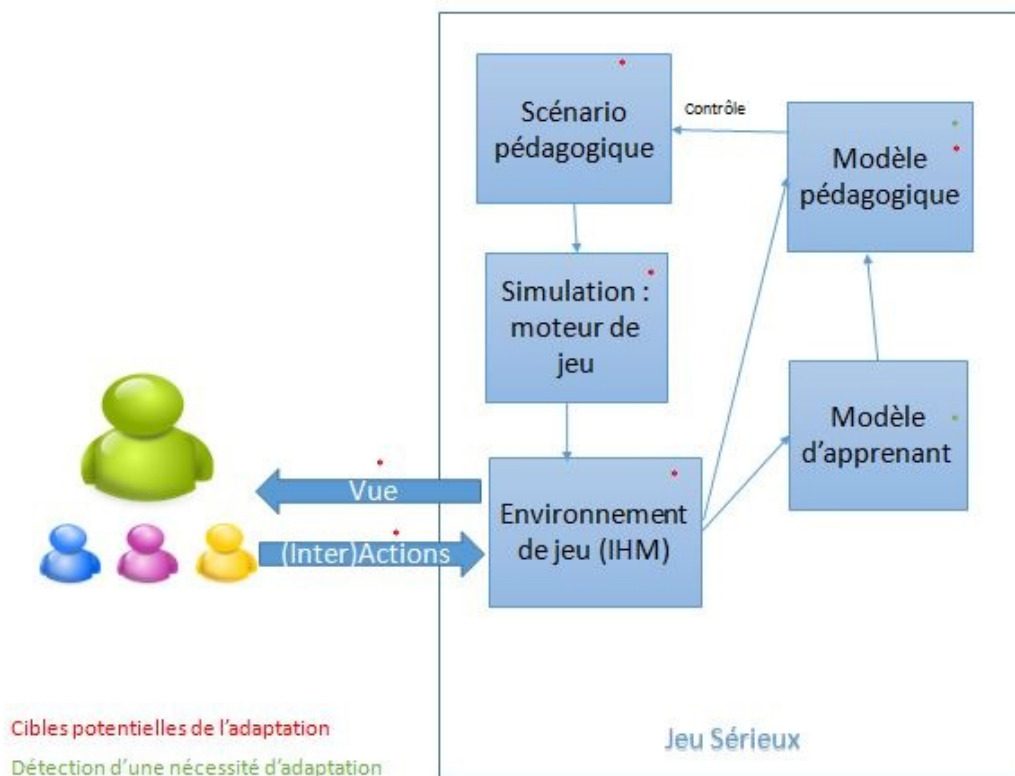


FIGURE 6.1. – Schéma général des cibles d'adaptation dans un jeu sérieux

Le schéma de cette figure présente les principaux modules d'une application de jeu sérieux qui peuvent être des cibles potentielles ou des paramètres d'adaptation à savoir :

- **Le modèle pédagogique** : il correspond à la représentation des connaissances qu'on veut enseigner afin de structurer l'expertise pédagogique. Cette représentation permet de caractériser la situation d'apprentissage et de contrôler (et donc adapter) le *scénario pédagogique*.
- **Le scénario pédagogique** : il décrit le déroulement d'une activité d'apprentissage en définissant les objectifs et en planifiant les tâches des apprenants. Ce scénario doit favoriser la motivation de l'apprenant et permettre une meilleure évaluation de ce dernier. Ainsi, il peut prévoir différents sous-scénarios d'actions pour un joueur et se voir signifier par le modèle pédagogique de basculer de l'un à l'autre.
- **Le modèle d'apprenant** : il permet la représentation et l'explication des informations liées à l'apprenant dans sa situation d'apprentissage comme ses caractéristiques (niveau, expériences), son comportement, et sa progression dans son apprentissage. Ces informations permettront au scénario pédagogique de prendre, éventuellement, des décisions d'adaptation.
- **La simulation "moteur de jeu"** : elle correspond aux différents outils et

techniques utilisés dans le domaine des jeux vidéo comme l'environnement virtuel 3D (immersion), les mécaniques de jeu, et l'interactivité permettant ainsi de produire des traces d'interaction. L'adaptation peut se traduire par l'ajout de données utiles au modèle d'apprenant, ou adapter la complexité de la simulation ou les mécaniques de jeu en fonction du modèle d'apprenant.

- **L'environnement de jeu** : il correspond aux Interfaces Homme-Machine (IHM) permettant principalement d'afficher des informations générées par le module "simulation moteur de jeu" de façon visuelle. Ces interfaces doivent être ergonomiques et faciles à utiliser afin de faciliter la communication entre le joueur et la machine. L'adaptation peut prendre la forme d'une interface plus ou moins riche (en informations par exemple) en fonction du niveau d'expertise d'un joueur (ce qui implique un affichage personnalisé).

La sous-section suivante vise à présenter le processus d'adaptation dans les environnements de jeux sérieux en s'inspirant du schéma proposé et illustré par la figure 6.1.

6.2.3. Processus d'adaptation des jeux sérieux

Les jeux sérieux, indépendamment du domaine étudié, peuvent être considérés comme des systèmes interactifs dans lesquels le joueur joue un rôle primordial en interagissant avec l'interface graphique du système comme le montre la figure 6.1. Par conséquent, le système jeu peut être décomposé selon la décomposition logique et classique MVC en trois catégories :

- **Modèle (M)** : il représente le coeur du système en gérant les données manipulées par l'application et en décrivant les méthodes pour mettre à jour ces données (couche de traitement).
- **Vue (V)** : elle se contente d'afficher et de présenter les résultats des traitements effectués par le modèle et d'interagir avec le joueur (couche de présentation).
- **Contrôleur (C)** : il prend en charge la gestion des événements et de synchronisation pour mettre à jour la vue ou le modèle et les synchroniser (couche de contrôle).

La figure 6.2 présente le processus d'adaptation dans les jeux sérieux.

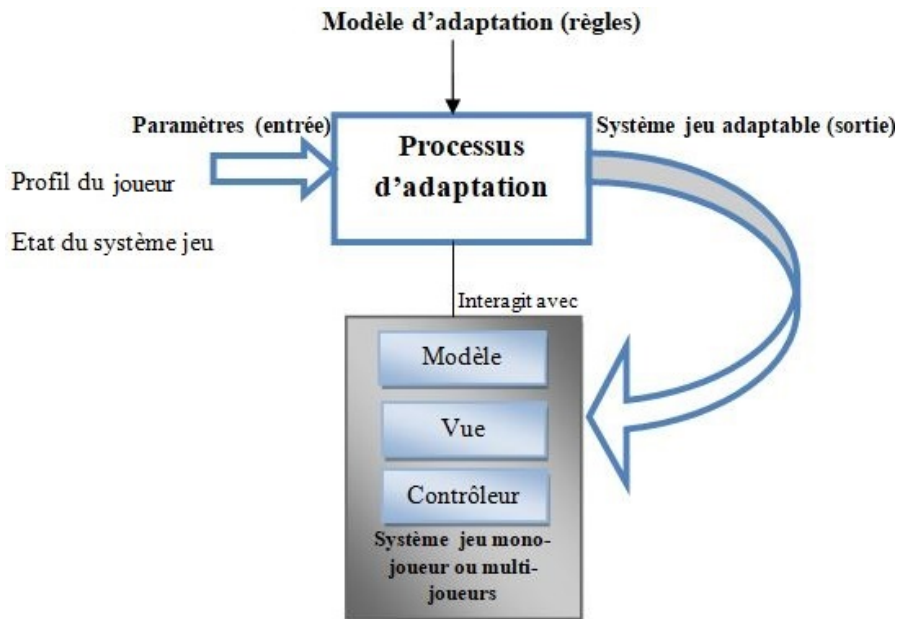


FIGURE 6.2. – Schéma simplifié du processus d'adaptation d'un jeu sérieux (reproduit à partir de [53])

Ce processus d'adaptation est basé sur un modèle qui définit un ensemble de *règles d'adaptation* (règles de mise à jour des paramètres du jeu). Grâce à ces règles, le processus génère en sortie un jeu adaptable et amélioré qui répond aux besoins du joueur en termes d'apprentissage et/ou de divertissement. Ainsi, le modèle d'adaptation peut être [53] :

- **Explicite** : dans ce cas la technique d'adaptation utilise des modèles explicites comme un moteur de règles logiques, des matrices de décision, des algorithmes d'intelligence artificielle (réseaux de neurones, apprentissage automatique), des machines à états, des réseaux de pétri, et des scripts. Ce modèle permet de bien identifier dans le système le composant dédié à l'adaptation ce qui facilite la maintenabilité et l'évolution du système informatique et de pouvoir intervenir dynamiquement au niveau du module d'adaptation sans pour autant reconstruire tout le système en partant du code source.
- **Implicite** : dans ce cas les procédures d'adaptation se retrouvent éparpillées, généralement sous forme de formules mathématiques, dans le code source du jeu et étroitement liées aux différents composants du système jeu. Il serait alors difficile de séparer dans le code source les éléments d'adaptation des autres aspects relatifs au fonctionnement normal du jeu. Toutefois, ce modèle permet d'avoir un gain en performance et en rapidité, ce qui est important dans le contexte des jeux en réalité virtuelle afin de maintenir

une interactivité satisfaisante avec les joueurs.

Interagissant avec le système jeu décomposé selon la décomposition MVC (qui peut être mono-joueurs ou multi-joueurs), le processus d'adaptation permet de modifier l'une des trois dimensions suivantes [53] :

- **La présentation (ou la vue)** : il s'agit de modifier l'interface entre le jeu et le joueur (la visualisation ainsi que les modes d'interactions). Il peut s'agir d'ajuster les paramètres de la présentation comme les graphismes, les animations visuelles et les éléments sonores. Par cette adaptation, le système jeu doit être en mesure de garder l'attention du joueur : ce qui permet d'accroître sa motivation au cours de jeu.
- **La logique de contrôle** : ce niveau englobe les règles du jeu et les règles métier qui spécifient la dynamique et les mécaniques du jeu en lui-même. L'adaptation dans ce cas modifie ces règles soit en changeant leurs paramètres soit en supprimant et/ou ajoutant de nouvelles règles.
- **Le modèle de données ou de contenu** : l'adaptation modifie soit les schémas de données sources utilisés ou bien le contenu même du jeu. Ainsi, cette adaptation vise à générer automatiquement un contenu narratif et scénaristique lié au contexte de jeu et adapté aux compétences des joueurs.

Le processus d'adaptation s'appuie essentiellement sur des paramètres d'entrée utilisés comme des déclencheurs du processus d'adaptation ou des sources de données. Selon leur sens ces paramètres peuvent être divisés en deux types comme suit [53] :

- **Profil du joueur** : Il s'agit de l'ensemble de variables et métriques décrivant les caractéristiques de l'état du joueur comme : ses émotions, ses performances (sa vitesse, son temps consommé, son score), ses compétences, ses interactions sociales, ses données personnelles (son âge, ses préférences, ses intérêts). Ceci pourrait correspondre à une "instance" du modèle d'apprenant présenté dans la sous-section 6.2.2.
- **État du système jeu** : ce paramètre représente les variables et les propriétés propres au système de jeu et qui ne dépendent pas de l'apprenant-joueur.

Dans notre travail, nous nous basons sur ce processus d'adaptation pour proposer une illustration d'une adaptation du jeu étudié qui sera décrite dans la section suivante.

6.3. Illustration d'une adaptation avec la plate-forme iScen

Comme montré dans le chapitre précédent, les résultats de notre approche d'évaluation étaient globalement "négatifs" notamment pour les deux facettes émotionnelle et sociale. En particulier et suite à une session de débriefing à la fin de la session de jeu, les participants ont exprimé leur insatisfaction vis à vis de la jouabilité du jeu (un environnement 2D limité et un mode d'interaction peu fluide avec la plate-forme). Ainsi, nous pouvons conclure que l'efficacité du jeu sérieux, développé à l'aide de la plate-forme iScen, était faible notamment en termes d'immersion et de jouabilité. Par conséquent, il est intéressant de proposer une illustration d'adaptation de la plate-forme iScen en exploitant le *profil du jeu* et le *profil des joueurs* qui prend en compte les interactions sociales, les émotions ainsi que les connaissances et les compétences acquises. Pour ceci, nous commençons par la décomposition de la plate-forme iScen selon l'architecture logique MVC. Ensuite, nous présentons une illustration de l'adaptation proposée à deux niveaux : structurel et comportemental.

6.3.1. Décomposition d'iScen selon l'architecture MVC

La plate-forme iScen peut être décomposée selon l'architecture logique MVC comme suit :

- **Modèle** : il représente les ressources pédagogiques du jeu qui permettent de véhiculer et de transmettre les concepts du domaine modélisant les connaissances du domaine d'apprentissage.
- **Vue** : elle représente les lieux (ou les scènes) où se trouvent les objets du jeu avec lesquels le joueur peut interagir.
- **Contrôleur** : il représente les scripts qui spécifient la logique du déroulement du scénario et la gestion des objets du jeu.

Cette décomposition a facilité la réflexion sur une illustration d'adaptation du jeu que nous décrivons dans la sous section suivante.

6.3.2. Illustration de l'adaptation proposée

Dans cette partie, nous proposons une adaptation du jeu à deux niveaux : structurel et comportemental.

L'adaptation au niveau structurel a pour objectif d'améliorer l'utilisabilité de la plate-forme iScen en imposant la collaboration entre des experts ayant des compétences variées. Cette adaptation est basée sur la décomposition MVC : pour chaque dimension, des experts adéquats sont désignés. Notre proposition s'axe

sur la relation entre le concepteur de jeux vidéo, le pédagogue expert du domaine métier (gestion de crise), l'environnement du jeu, le joueur et son expérience dans le jeu.

Plus précisément, dans cette adaptation, nous proposons d'impliquer les acteurs ayant des expertises différentes et complémentaires : des formateurs voire des experts du domaine de gestion et simulation de crise, avec des concepteurs de jeux spécialistes du développement des jeux vidéo afin d'assurer l'équilibre entre le plaisir et l'apprentissage et de contribuer ainsi à l'amélioration de la plateforme.

En effet, l'expertise pédagogique (experts du domaine métier, experts pédagogues, ingénieurs de la connaissance) s'intéresse à l'apprentissage en assurant la crédibilité des scénarios proposés et le contenu pédagogique. Cette expertise doit définir le référentiel du domaine et des objectifs pédagogiques précis et clairs, incluant les misconceptions afin de présenter un environnement propice à l'apprentissage en attirant l'attention du joueur sur la tâche à réaliser et surtout sur son importance, et sa pertinence.

Alors que l'expertise ludique (Game/level designers, scénaristes, graphistes) s'attache à la motivation en favorisant la jouabilité et en améliorant les techniques d'interaction et de simulation. Cette expertise doit proposer un monde virtuel plein de fantaisie et d'incertitude y compris la convivialité, la fluidité des mouvements/déplacements et leur précision, les animations, les objets 3D, les agents virtuels automatisés. Ces agents peuvent jouer différents rôles par exemple : un agent assistant qui assiste, guide et accompagne l'apprenant-joueur durant son apprentissage, un agent conversationnel intelligent doté d'une intelligence (socio)-émotionnelle qui est capable de discuter avec l'acteur humain, de répondre à ses questions, et de s'adapter à ses capacités et ses habitudes.

Bien évidemment, les deux expertises doivent collaborer pour développer les défis (qui sont les problèmes posés à l'apprenant-joueur) ainsi que la progression dans les niveaux/missions du jeu sérieux (qui permet de faire progresser l'apprenant et de le motiver).

La figure 6.3 montre l'illustration proposée pour l'adaptation "structurelle" de la plate-forme iScen.

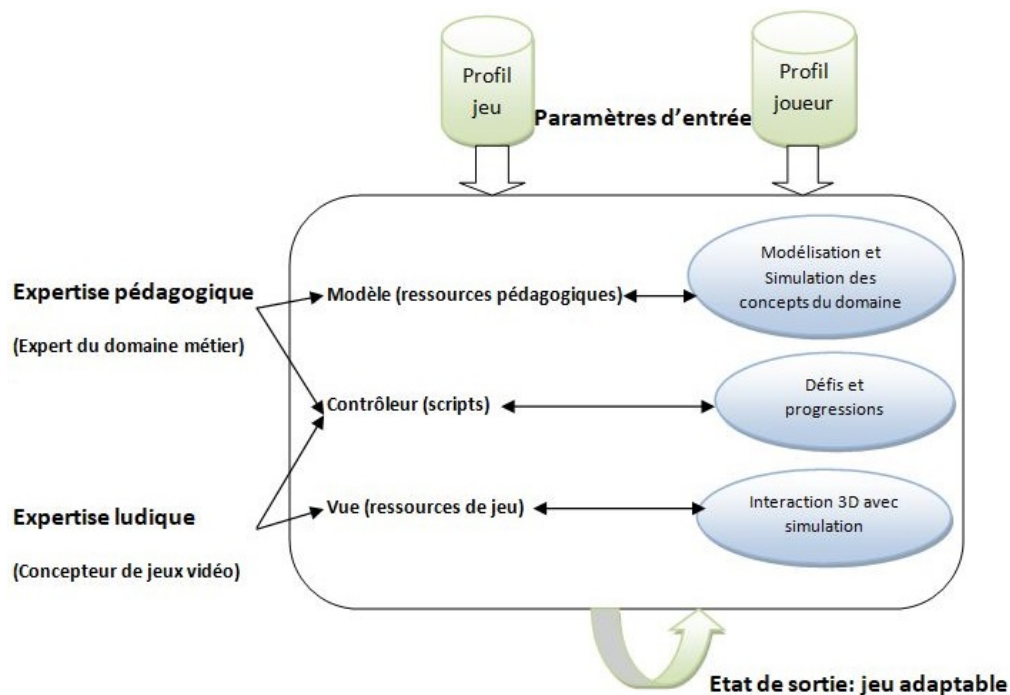


FIGURE 6.3. – Illustration proposée pour l’adaptation de la plate-forme iScen

L’adaptation au niveau comportemental a pour objectif d’ajuster certaines variables du jeu en fonction des profils des joueurs au cours de jeu. En effet, l’évaluation formative des joueurs (notamment leurs états émotionnels) pendant le jeu est une condition préalable pour comprendre comment et à quel moment il est nécessaire d’adapter le jeu. Cette notion d’adaptation, dans le contexte d’un scénario de gestion de crise, peut être vue comme une solution ludo-pédagogique permettant de scénariser le processus d’apprentissage en ajustant dynamiquement ses variables selon les profils des joueurs. Ces variables ont un impact sur les états affectifs des joueurs (leur engagement) et ainsi sur leur apprentissage. Ils peuvent comprendre le niveau de difficulté de jeu, l’ordre et la longueur des activités proposées, le nombre et/ou les comportements des personnages non-joueurs (les profils des personnes à évacuer par exemple).

Plus particulièrement, l’ajustement dynamique du niveau de difficulté selon les réactions émotionnelles du joueur représente une technique intéressante qui permet de réguler ses émotions lorsque celles-ci sont négatives. En effet, la reconnaissance de l’état émotionnel courant du joueur (engagé, confus, ennuyé ou anxieux) nous permet de l’adapter et ce en ajustant le niveau de difficulté du jeu en fonction de son niveau de compétences [65]. Par exemple, lorsque le joueur se sent anxieux, une diminution du niveau de défi de jeu semble être efficace pour l’aider à passer à nouveau à l’état du Flow comme l’illustre la figure 6.4.

Une telle adaptation permet d'offrir une expérience d'apprentissage adaptée surtout aux besoins émotionnels de l'apprenant afin de soutenir sa motivation, et de le garder dans le Flow, c'est-à-dire complètement immergé dans l'expérience de jeu à travers un équilibre entre son niveau de compétences et le niveau de défi proposé.

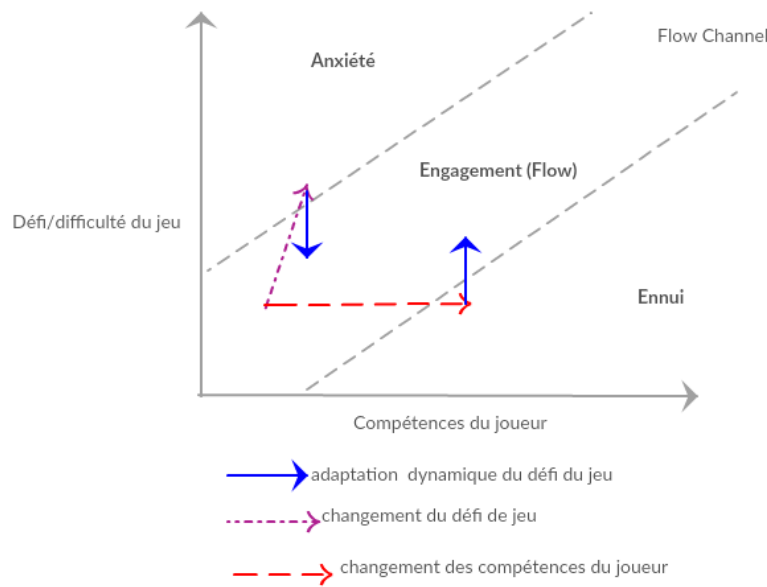


FIGURE 6.4. – Diagramme du Flow et les adaptations proposées selon les réactions émotionnelles du joueur

6.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons introduit le concept d'adaptation dans les jeux sérieux et nous avons proposé une illustration d'une adaptation du jeu développé avec la plate-forme iScen à deux niveaux : structurel et comportemental. La version actuelle de cette plate-forme est non-open source ce qui rend difficile la mise en oeuvre de cette illustration. Cependant, cette proposition nous a permis d'affiner encore plus notre compréhension d'iScen et d'étudier ses potentialités d'évolution en termes d'adaptabilité, d'immersion ou de jouabilité. Cela a permis aussi de guider le développement actuel d'un jeu sérieux pour la formation à la gestion de crise implémenté avec le moteur de jeux vidéo *Unity 3D*. Comme tout travail de recherche, le présent travail est sujet à des extensions et des améliorations souvent désignées par "perspectives" conduisant au développement et à l'évolution du travail proposé.

Conclusion générale

A la fin de ce manuscrit, nous proposons de résumer la démarche suivie dans le cadre de ce travail, puis nous faisons un bilan de nos contributions, et enfin nous présentons les perspectives de ce travail.

Démarche suivie

L'intégration de Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) au domaine de la formation à distance a initié de nouveaux modes d'apprentissage et d'enseignement. Actuellement, les jeux sérieux représentent une alternative complémentaire d'apprentissage plus motivante et plus engageante que les modes classiques de formation. Depuis son avènement, ce concept a fait l'objet d'une foule de travaux de recherche essentiellement orientés vers la conception et l'usage. Aujourd'hui, il devient nécessaire d'évaluer l'impact de ce dispositif sur les contextes d'utilisation et surtout d'ajuster ses composants ou ses propriétés afin de l'adapter aux besoins des formateurs et/ou aux profils des apprenants-joueurs. Ainsi, mesurer l'impact de ces environnements sur les apprenants est une étape essentielle pour savoir comment faire progresser ces dispositifs afin qu'ils soient des outils d'apprentissage ou de formation optimaux. Ceci implique d'évaluer le succès d'un des premiers objectifs des jeux sérieux : l'apprentissage.

En particulier, l'évaluation des apprenants dans les jeux sérieux collaboratifs de gestion de crise est un processus complexe [30]. Des facteurs techniques, humains, et contextuels peuvent influencer le déroulement de l'apprentissage et ainsi les résultats de cette évaluation. Le contexte spécifique de gestion de crise nécessite que plusieurs dimensions soient prises en compte simultanément dans le processus d'évaluation à savoir la dimension pédagogique, émotionnelle et sociale. Face à ce constat, l'objectif principal fixé au début de ce travail de thèse a été de proposer une approche pour l'amélioration des capacités d'évaluation des apprenants dans les JS GC collaboratifs en prenant en compte aussi bien la dimension pédagogique que la dimension émotionnelle et sociale. Afin d'atteindre cet objectif, nous avons adopté la démarche suivante qui se compose de sept étapes :

1. Étude bibliographique générale sur les jeux sérieux (caractérisation, critères, indicateurs, méthodes d'évaluation, domaines d'application etc.)

2. Spécification d'un domaine applicatif particulier permettant le développement et l'illustration des contributions à savoir la gestion de crise : ceci nous a permis de restreindre l'étude à un contexte d'apprentissage aux objectifs bien identifiés et mieux appréhender les conditions de succès applicables à ce contexte.
3. Revue systématique de la littérature sur les travaux de l'évaluation des JSGC permettant de caractériser les besoins et les spécificités de l'évaluation des apprenants dans les JSGC collaboratifs.
4. Conception et développement d'un scénario particulier de gestion de crise à l'aide de la plate-forme *iScen* à savoir le scénario d'évacuation en cas d'incendie.
5. Proposition de notre contribution permettant de résoudre la problématique de recherche à savoir l'évaluation individuelle et collective des apprenants dans les JSGC collaboratifs.
6. Mise en oeuvre des contributions proposées et expérimentation avec un groupe de participants sur le scénario d'évacuation.
7. Analyse des résultats obtenus et proposition de pistes d'adaptation du jeu sérieux pour une meilleure expérience de jeu.

Bilan des contributions

Les différentes étapes de notre démarche nous ont permis de produire un certain nombre de contributions théoriques et pratiques étroitement liées que nous présentons dans ce qui suit :

1. Des contributions théoriques et/ou conceptuelles :

- *Une nouvelle classification des jeux sérieux* : l'étude bibliographique sur les jeux sérieux, effectuée au début de la thèse, a été exploitée pour proposer une classification des jeux sérieux visant à identifier des critères liés à l'aspect "sérieux" et des critères liés à l'aspect "ludique". Cette classification sera d'un grand intérêt aux utilisateurs qui cherchent à trouver le jeu sérieux adéquat à leurs besoins.
- *Une grille d'analyse multicritères pour la caractérisation et l'évaluation des JSGC* : cette grille regroupe les critères de succès et les indicateurs pertinents pour l'évaluation des JSGC. Classés sous plusieurs facettes d'évaluation, ces critères permettent de produire une évaluation aussi bien individuelle que collective des apprenants dans les JSGC [30].
- *Un cadre théorique pour l'évaluation individuelle et collective dans les JSGC* : ce cadre s'appuie sur la grille d'analyse multicritères et vise à améliorer les capacités d'évaluation en prenant en compte l'hétérogénéité des connaissances et des compétences, des émotions ressenties et des interactions sociales.

- *Une approche d'évaluation des apprenants dans les JSJC en utilisant les techniques et les algorithmes de l'IA* : basée sur le cadre théorique proposé, cette approche est composée de deux méthodes d'évaluation de la facette sociale et de la facette émotionnelle. La première méthode vise à analyser les interactions sociales entre les joueurs en se basant sur la théorie des réseaux sociaux d'apprentissage et à évaluer la qualité de leur collaboration en se basant sur un scénario de référence. La deuxième méthode vise à classer et à analyser les émotions des joueurs communiquées dans les messages textuels et les expressions faciales afin de mesurer leur niveau d'engagement individuel et collectif [31].
- *Une illustration d'une adaptation du jeu étudié* : des principes généraux sont établis pour identifier les points d'adaptation du jeu sérieux développé et leur intérêt. Cette illustration a pour but d'améliorer l'efficacité du jeu et par conséquent l'apprentissage qui en résulte. Il s'agit d'exploiter les résultats d'évaluation générés par l'approche décrite précédemment pour adapter le jeu aux états émotionnels des joueurs.

2. Des contributions pratiques et/ou expérimentales :

- *Un portail Web de jeux sérieux pour la communauté d'enseignants et de formateurs* : basé sur la nouvelle classification des jeux sérieux. Il s'agit d'une application Web permettant d'assister les utilisateurs dans la recherche de jeux sérieux adaptés à leurs exigences et de les informer des nouveautés pouvant les intéresser. Ce portail a pour objectif de créer une communauté dynamique d'utilisateurs de jeux sérieux qui, à travers leurs échanges et retours, valorisent l'usage de ceux-ci tout en offrant un point d'entrée pour les nouveaux utilisateurs. Une première version du site est en cours d'expérimentation avant diffusion en ligne.
- *Conception et mise en oeuvre d'un scénario de gestion de crise* : afin de pouvoir concrétiser nos contributions théoriques, il est nécessaire de se baser sur un scénario réel de gestion de crise. Le scénario conçu dans cet objectif consiste à évacuer le bâtiment d'un établissement en cas d'incendie. Il a été mis en oeuvre dans iScen : une plate-forme logicielle permettant la création de scénarios interactifs.
- *Application et validation de l'approche* : l'approche proposée a été testée sur le jeu sérieux décrit précédemment. Pour des fins de validation et d'amélioration du travail déjà élaboré, un post-questionnaire a été conçu et diffusé aux joueurs et les résultats obtenus ont été comparés aux résultats générés par l'approche proposée [31].

L'approche d'évaluation proposée présente des apports intéressants à plusieurs niveaux. Elle a permis de répondre au besoin principal de l'évaluation individuelle et collective des apprenants dans les JSJC collaboratifs en se focalisant

surtout sur les facettes sociale et émotionnelle [30].

Concernant l'évaluation de la *facette sociale*, nous avons commencé par une analyse quantitative des interactions sociales à travers l'évaluation de la communication au niveau individuel et la coordination au niveau collectif en se basant sur les mesures de centralité et de densité de la théorie des réseaux sociaux d'apprentissage. Puis, nous avons proposé une analyse qualitative multi-niveaux en nous référant à un scénario expert d'évacuation. Cette étude nous a permis d'évaluer la qualité de la collaboration entre les différents joueurs participants à une session de jeu multi-joueurs pour la formation à la gestion de crise.

En ce qui concerne l'évaluation de la *facette émotionnelle*, nous avons pu introduire la détection automatique du stress aigu à partir des expressions faciales et analyser son impact sur la dynamique affective des apprenants à un niveau fin (toutes les 20 secondes). Nous avons aussi généré les profils affectifs individuels et collectifs en utilisant diverses mesures discrètes (messages textuels et expressions faciales) pour détecter les émotions des apprenants sans avoir besoin de capteurs physiologiques ou d'algorithmes complexes [31]. Cette étude de la reconnaissance des émotions dans un domaine comme la formation à la gestion de crise est un aspect distinctif de notre travail. Ce domaine semble susceptible d'évoquer des expériences affectives riches qui différeraient de celles généralement observées au cours de l'apprentissage dans les matières académiques traditionnelles.

Bien que ces contributions aient été produites pour un objectif bien déterminé, leur exploitation et leur amélioration ne restent pas limitées au cadre de cette thèse, mais peuvent s'avérer très utiles pour l'accomplissement d'autres travaux de recherche.

Perspectives

Dans le but de valider notre cadre théorique, nous avons défini un protocole expérimental de validation. Ce protocole présente quelques limitations et ne peut valider notre approche d'évaluation que de façon partielle. En effet, le test réalisé sur le scénario étudié implique peu de participants humains et génère ainsi des corpus de données de petites tailles qui ne sont pas suffisants pour affirmer la validité totale de notre contribution. Afin d'enrichir notre protocole de validation, la réalisation d'autres expérimentations impliquant plusieurs groupes de 5 à 6 participants ayant différents profils dans le scénario d'évacuation implémenté avec iScen, est envisagée à très court terme. Néanmoins, nous pouvons dire que les premiers résultats de validation sont encourageants.

Par ailleurs, pour dépasser les limitations de iScen, nous avons conçu et développé un prototype d'un jeu multi-joueurs d'entraînement et de simulation pour la formation à la gestion de crise implémenté avec le moteur de jeux vidéo *Unity*

3D appelé "*EvacENSI*" (voir Annexe 2). Ce jeu sera utile pour valider d'une part l'aspect générique de notre approche, et d'autre part pour collecter davantage de données permettant des expérimentations futures avancées en facilitant surtout la tâche d'adaptation du jeu en fonction des résultats d'évaluation.

De plus, il serait très intéressant d'enrichir le portail web développé en intégrant les approches d'évaluation afin de fournir aux différents utilisateurs un outil complet d'indexation, de classification et d'évaluation des jeux sérieux d'une part ; et d'automatiser le cadre d'évaluation proposé d'autre part.

Le test de l'approche d'évaluation suggérée sur le scénario d'évacuation en cas d'incendie, n'est pas suffisant pour affirmer sa validité. Pour ceci, la réalisation d'autres tests de l'approche sur d'autres scénarios de gestion de crise (inondation, tremblement de terre etc.) est envisagée à moyen terme.

Il serait aussi extrêmement intéressant de mettre en oeuvre et de tester l'illustration de l'adaptation proposée dans le cadre de la plate-forme *iScen* pour améliorer surtout la jouabilité du jeu. En effet, *iScen* présente quelques limites logicielles concernant son approche ludique et immersive pour apprendre la gestion de crise qui est, pour l'instant, peu développée (2D). Néanmoins, cette plate-forme a été la base pour la création rapide et peu coûteuse de notre scénario d'évacuation et son déroulement dans des sessions de jeu multi-joueurs permettant ainsi de se familiariser avec les différentes activités de la procédure d'évacuation.

Une perspective ambitieuse à plus long terme, consiste à étudier et à analyser certains facteurs, psychologiques et sociaux, qui "déclenchent" certaines transitions affectives ou en "inhibent" d'autres. Ces facteurs, tels que les traits individuels de personnalité [76], doivent être traités afin de mieux comprendre la dynamique des états affectifs des apprenants au cours du temps pendant une session de jeu. La prise en compte de ces facteurs place le travail réalisé dans le cadre de cette thèse à l'intersection de deux disciplines complémentaires à savoir : l'informatique et les sciences humaines et sociales.

Liste des publications liées à la thèse

Revues internationales avec comité de lecture :

Daoudi I., Chebil R., Tranvouez E., Chaari W.L., Espinasse B. (2017) Towards a Grid for Characterizing and Evaluating Crisis Management Serious Games : A Survey of the Current State of Art. *International Journal of Information Systems for Crisis Response and Management (IJISCRAM)*, 9(3), pages 76-95 (indexé en DBLP, ACM, Google Scholar...) [cliquez ici](#)

Daoudi I., Chebil R., Tranvouez E., Chaari W.L., Espinasse B. (2020) Improving Learners' Assessment and Evaluation in Crisis Management Serious Games : an Emotion-based Educational Data Mining Approach *Entertainment Computing* (accepté dans une revue dont l'impact factor est de 1.341 et dont la version révisée a été soumise le 16-09-20).

Conférences internationales avec comité de lecture et actes :

Daoudi I., Tranvouez E., Chebil R., Espinasse B., Chaari W.L. (2017) Learners' Assessment and Evaluation in Serious Games : Approaches and Techniques Review. In : Dokas I., Bellamine-Ben Saoud N., Dugdale J., Díaz P. (eds) *Information Systems for Crisis Response and Management in Mediterranean Countries. ISCRAM-med 2017. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol 301. Springer, Cham. [cliquez ici](#)

Daoudi I., Chebil R., Chaari W.L. (2018) A Novel Tool to Predict the Impact of Adopting a Serious Game on a Learning Process. In *Proceedings of the 20th International Conference on Enterprise Information Systems - Volume 1 : ICEIS*, pages 585-592, (Classe C) [cliquez ici](#)

Daoudi I., Tranvouez E., Chebil R., Espinasse B., Chaari W.L. (2020). An EDM-based Multimodal Method for Assessing Learners' Affective States in Collaborative Crisis Management Serious Games. In : *Proceedings of The 13th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2020)*, Anna N. Rafferty, Jacob Whitehill, Violetta Cavalli-Sforza, and Cristobal Romero (eds.), pp. 596-600, (Classe B) [cliquez ici](#)

Conférences nationales et colloques :

Daoudi I., Chebil R., Tranvouez E., Chaari W.L., Espinasse B. (2018). De l'évaluation à l'adaptation d'un environnement de jeu sérieux : application au domaine

de gestion de crise. (poster) *Collège Doctoral Maghrébin en Entrepreneuriat*, 12-17 Novembre 2018, Marrakech-Maroc [cliquez ici](#)

Daoudi I., Tranvouez E., Chebil R., Espinasse B., Chaari W.L. (2019). Vers une Grille d'Analyse Multicritères pour la Caractérisation et l'Evaluation des Jeux Sérieux en Gestion de Crises. *Colloque Jeux et enjeux*, 13-15 Mai 2019, Marseille-France [cliquez ici](#)

Daoudi I., Tranvouez E., Chebil R., Espinasse B., Chaari W.L. (2020). Vers la prise en compte de l'émotion de l'apprenant dans l'adaptation des jeux sérieux. *8e Rencontres Jeunes Chercheurs en EIAH (RJC EIAH 2020)*, atelier 1 : Adaptation et génération dans les EIAH [cliquez ici](#)

Distinction et prix :

3ème prix de meilleur projet innovant de développement et de recherche dans le cadre du *collège doctoral maghrébin en entrepreneuriat organisé par l'AUF* le 12-17 Novembre 2018 à Marrakech-Maroc

Bibliographie

- [1] Clark ABT. *Serious Games*. Sous la dir. de New York THE VIKING PRESS. 1970.
- [2] Carole ADAM et al. « SPRITE participatory simulation for raising awareness about coastal food risk on the Oleron island ». In : *International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management in Mediterranean Countries*. 2016, p. 33–46.
- [3] Carole ADAM et al. « Multi-factor model and simulation of social cohesion and its effect on evacuation ». In : *HICSS, Jan 2019, Hawaii, United States*. 2019.
- [4] Carole ADAM et al. « VigiFlood : a serious game for understanding the challenges of risk communication ». In : *ISCRAM, Valencia, Spain*. 2019.
- [5] Ane ALBERDI et al. « Towards an automatic early stress recognition system for office environments based on multimodal measurements : A review ». In : *Journal of biomedical informatics* 59 (2016), p. 49–75.
- [6] Julian ALVAREZ. « Du Jeu vidéo au Serious Game : approches culturelle, pragmatique et formelle ». Thèse de doct. Université de Toulouse II (Le Mirail), Université de Toulouse III (Paul Sabatier), 2007.
- [7] Sooraj K. BABU et al. « Collaborative Game Based Learning of Post-Disaster Management : Serious Game on Incident Management Frameworks for Post Disaster Management ». In : *IEEE Eighth International Conference on Technology for Education (T4E)*. 2016.
- [8] Behdad BAKHSHINATEGH et al. « Educational data mining applications and tasks : A survey of the last 10 years ». In : *Education and Information Technologies* 23(1) (2018), p. 537–553.
- [9] Tadas BALTRUSAITIS et al. « OpenFace 2.0 : Facial Behavior Analysis Toolkit ». In : *13th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition*. 2018, p. 59–66.
- [10] Nilüfer BAS et al. « Evaluation Methods for the Effective Assessment of Simulation Games A Literature Review ». In : *The Challenges of the Digital Transformation in Education. ICL 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*. T. 916. 2018, p. 626–637.

- [11] Francesco BELLOTTI et al. « Assessment in and of Serious Games : An Overview ». In : *Hindawi Publishing Corporation. Advances in Human-Computer Interaction* (2013).
- [12] Faten BENHMIDA. « Évaluation des performances des systèmes multi-agents ». Thèse de doct. Université Bordeaux I et École Nationale des Sciences de l'Informatique, 2013.
- [13] Pradeepa Thomas BENJAMIN. « Le suivi de l'apprenant dans le cadre du serious gaming ». Thèse de doct. Université Pierre et Marie Curie, 2015.
- [14] Joceran BORDERIE et al. « Identifying flow in video games : towards a new observation-based method ». In : *International Journal of Gaming and Computer-Mediated Simulations* 8(3) (2016), p. 19–38.
- [15] Jeanne H BROCKMYER et al. « The development of the Game Engagement Questionnaire : A measure of engagement in video game-playing ». In : *Journal of Experimental Social Psychology* 45(4) (2009), p. 624–634.
- [16] Jeanne BROCKMYER et al. « The development of the Game Engagement Questionnaire : A measure of engagement in video game-playing ». In : *Experimental Social Psychology* 45 (2009), p. 624–634.
- [17] Karina L. CELA et al. « Social Network Analysis in E-Learning Environments : A Preliminary Systematic Review ». In : *Educational Psychology Review* 27 (2015), p. 219–246.
- [18] Mohamed CHAAWA et al. « Modelling and simulating a crisis management system : an organisational perspective ». In : *Enterprise Information Systems* (2016).
- [19] Abdelhafid CHADLI et al. « A Two-Stage Multi-Agent Based Assessment Approach to Enhance Students' Learning Motivation through Negotiated Skills Assessment ». In : *Educational Technology & Society* 18(2) (2015), p. 140–152.
- [20] Raoudha CHEBIL. « Evaluation de la qualité des résultats de la collaboration électronique ». Thèse de doct. École Nationale des Sciences de l'Informatique et Université de Montpellier II, 2014.
- [21] Luca CHITTARO et al. « Serious Games for Training Occupants of a Building in Personal Fire Safety Skills ». In : *IEEE First International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications*. 2009.
- [22] Chris COOPER et al. « Defining the process to literature searching in systematic reviews : a literature review of guidance and supporting studies ». In : *BMC Medical Research Methodology* 18 (2018).
- [23] Anita CREMERS et al. « Does playing the serious game B-SaFe! make citizens more aware of manmade and natural risks in their environment ? » In : *Journal of Risk Research* 18(10) (2015), p. 1280–1292.

- [24] Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des CRISES. *Retour d'expérience : synthèse*. 2013.
- [25] Christian Arzate CRUZ et al. « Player-centered Game AI from a Flow Perspective : Towards a Better Understanding of Past Trends and Future Directions ». In : *Entertainment Computing* (2017). DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.entcom.2017.02.003>.
- [26] Mihaly CSIKSZENTMIHALYI. *Flow : The psychology of optimal experience*. Harper & Row, 1990.
- [27] Johnson DANIEL et al. « Validation of two game experience scales : the Player Experience of Need Satisfaction (PENS) and Game Experience Questionnaire (GEQ) ». In : *International Journal of Human-Computer Studies* 118 (2018), p. 38–46.
- [28] Ibtissem DAOUDI. « Simulation multi-agents d'un jeu sérieux ». Mém.de mast. École Nationale Des Sciences De L'Informatique, Université de la Manouba-Tunisie, 2016.
- [29] Ibtissem DAOUDI et al. « Learners' Assessment and Evaluation in Serious Games : Approaches and Techniques Review ». In : *Information Systems for Crisis Response and Management in Mediterranean Countries*, Springer International Publishing. 2017, p. 147–153.
- [30] Ibtissem DAOUDI et al. « Towards a Grid for Characterizing and Evaluating Crisis Management Serious Games : A Survey of the Current State of Art ». In : *International Journal of Information Systems for Crisis Response and Management* 9 (2017), p. 76–95.
- [31] Ibtissem DAOUDI et al. « An EDM-based Multimodal Method for Assessing Learners' Affective States in Collaborative Crisis Management Serious Games ». In : *13th International Conference on Educational Data Mining*. 2020.
- [32] Damien DJAOUTI et al. « Classifying Serious Games : The G/P/S Model ». In : sous la dir. d'Handbook of Research on Improving Learning PATRICK FELICIA (ED) et al. 2011, p. 118–136.
- [33] Sidney K. D'MELLO et al. « Affect, meta-affect, and affect regulation during complex learning ». In : *International handbook of metacognition and learning technologies*, 669-681. Springer, New York, NY. 2013.
- [34] Sidney K. D'MELLO et al. « A review and meta-analysis of multimodal affect detection systems ». In : *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 47(3), 43. 2015.
- [35] Sidney D'MELLO et al. « Modeling cognitive-affective dynamics with Hidden Markov Models ». In : *the Annual Meeting of the Cognitive Science Society (Vol. 32, No. 32)*. 2010.

- [36] Sidney D'MELLO et al. « Dynamics of affective states during complex learning ». In : *Learning and Instruction* 22(2) (2012), p. 145–157.
- [37] Patricia Rice DORAN et al. « Social network analysis as a method for analyzing interaction in collaborative online learning environments ». In : *Systemics, cybernetics and informatics*. T. 9. 7. 2011, p. 10–16.
- [38] Sam DRAZIN et al. « Decision Tree Analysis using Weka ». Machine Learning – Project II. 2012.
- [39] Ergün ESIN et al. « An Analysis of Density and Degree-Centrality According to the Social Networking Structure Formed in an Online Learning Environment ». In : *Educational Technology & Society* 19.4 (2016), p. 34–46.
- [40] EVERSIM. *Manuel d'utilisation d'iScen version standard v2.01*. 2018.
- [41] *Exercices de sécurité civile Comment les préparer ? Les réaliser ? Les évaluer ? Mémento en 10 points*. Direction de la Sécurité Civile. www.interieur.gouv.fr, 2008.
- [42] M. FEIDAKIS. « A Review of Emotion-Aware Systems for e-Learning in Virtual Environments ». In : Academic Press, 2016. Chap. Formative Assessment, Learning Data Analytics and Gamification. ICT Education Intelligent Data-Centric Systems, p. 217–242.
- [43] Noemie FREALLE. « Formation à la gestion de crise à l'échelle communale : méthode d'élaboration et de mise en oeuvre de scénarios de crise crédibles, pédagogiques et interactifs ». Thèse de doct. Université de Lyon, 2018.
- [44] Wallace V. FRIESEN et al. « EMFACS-7 : Emotional Facial Action Coding System ». University of California. <https://www.paulekman.com/>. 1983.
- [45] Maite FRUTOS-PASCUAL et al. « Review of the use of AI techniques in serious games : Decision making and machine learning ». In : *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games* 9(2) (2015), p. 133–152.
- [46] Hua GAO et al. « Detecting emotional stress from facial expressions for driving safety ». In : *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. 2014, p. 5961–5965.
- [47] Afef GHANNEM et al. « Towards Effective Evaluation of Serious Games in Relation to Educational Objectives ». In : *International Conference on Serious Games Development and Applications*. 2013, p. 266–272.
- [48] Nancy C. GOODWIN. « Functionality and usability ». In : *Communications of the ACM* (1987).
- [49] *Guide ORSEC départementale méthode générale Organisation de la Réponse de Sécurité Civile*. Direction de la défense et de la sécurité civiles. 2006.
- [50] Benjamin GUTHIER et al. « Affective Computing in Games ». In : t. 9970. Lecture Notes in Computer Science. 2016. Chap. Entertainment Computing and Serious Games, p. 402–441.

- [51] Nina HAFERKAMP et al. « Training disaster communication by means of serious games in virtual environments ». In : *Entertainment Computing 2* (2011), p. 81–88.
- [52] Jean HEUTTE et al. « Étude des déterminants psychologiques de la persistance dans l’usage d’un jeu sérieux : Évaluation de l’environnement optimal d’apprentissage avec mecagenius ». In : *Sticef 21* (2014).
- [53] Nadia HOCINE et al. « Techniques d’adaptation dans les jeux ludiques et sérieux ». In : *Revue des Sciences et Technologies de l’Information-Série RIA : Revue d’Intelligence Artificielle* 25(2) (2011), p. 253–280.
- [54] Di Loreto INES et al. « Collaborative serious games for crisis management : an overview ». In : *Enabling Technologies : Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)*. 2012.
- [55] S. Anupama KUMAR et al. « Efficiency of decision trees in predicting student’s academic performance ». In : *Computer Science & Information Technology (CS & IT)* (2011).
- [56] L.I. KUNCHEVA. « A theoretical study on six classifier fusion strategies ». In : *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 24 (2) (2002), p. 281–286.
- [57] Maarten de LAAT et al. « Investigating patterns of interaction in networked learning and computer-supported collaborative learning : A role for Social Network Analysis ». In : *Computer-Supported Collaborative Learning 2* (2007), p. 87–103.
- [58] Élise LAVOUÉ et al. « Editorial du Numéro Spécial Individualisation ». In : *Revue STICEF* 19 (2013). ISSN : 1764-7223. URL : <http://sticef.org>.
- [59] *L’organisation des exercices d’évacuation d’incendie*. Service Prévention des risques professionnels. Centre Interdépartemental de Gestion de la Grande Couronne de la Région d’Île-de-France. 2014.
- [60] Paquette LUC et al. « Sensor-Free or Sensor-Full : A Comparison of Data Modalities in Multi- Channel Affect Detection ». In : *the 8th International Conference on Educational Data Mining*. 2015, p. 93–100.
- [61] Mykkänen MARKUS et al. « Serious games, gaming, learning and crisis communication : insights from the literature ». In : *International Conference Digital Media and Electronic Communication*. 2016.
- [62] Alejandra MARTINEZ et al. « Combining qualitative evaluation and social network analysis for the study of classroom social interactions ». In : *Computers and Education* (2003), p. 353–368.
- [63] David MICHAEL et al. *Serious Games : Games that Educate, Train and Inform*. USA, Thomson Course Technology, 2005.

- [64] Simone MORA et al. « Supporting Debriefing with Sensor Data : A Reflective Approach to Training ». In : *Information Systems for Crisis Response and Management in Mediterranean Countries ISCRAM-med. Lecture Notes in Business Information Processing*. T. 196. 2014, p. 71–84.
- [65] Belkacem MOSTEFAI et al. « A generic and efficient emotion-driven approach toward personalized assessment and adaptation in serious games. » In : *Cognitive Systems Research, Elsevier* 56 (2019), p. 82–106.
- [66] Mathieu MURATET. « Conception, réalisation et évaluation d’un jeu sérieux de stratégie temps réel pour l’apprentissage des fondamentaux de la programmation ». Thèse de doct. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2010.
- [67] Andrew ORTONY et al. *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge : Cambridge University Press, 1988.
- [68] M’hammed Ali OULHACI. « Évaluation individuelle et collective dans les jeux sérieux collaboratifs : application à la gestion de crise ». Thèse de doct. Université d’Aix-Marseille, 2014.
- [69] M’hammed Ali OULHACI et al. « Improving Players’ Assessment in Crisis Management Serious Games : The SIMFOR Project ». In : *Information Systems for Crisis Response and Management in Mediterranean Countries. Springer International Publishing* (2015), p. 85–99.
- [70] Ekman PAUL. *Basic emotions*. T. Dalgleish & M. J. Power (Eds.), *Handbook of cognition et emotion*, 45-60. New York, NY, US : John Wiley & Sons Ltd, 1999.
- [71] Rosalind W. PICARD. *Affective Computing*. MIT press, Cambridge, 1997.
- [72] *Plan Communal de Sauvegarde : guide pratique d’élaboration*. Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles. 2004.
- [73] A. PLOTNIKOV et al. « Exploiting real-time EEG analysis for assessing flow in games ». In : *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*. 2012, p. 688–689.
- [74] Soujanya PORIA et al. « A review of affective computing : From unimodal analysis to multimodal fusion ». In : *Information Fusion* 37 (2017), p. 98–125.
- [75] Genaro REBOLLEDO-MENDEZ et al. « Societal impact of a Serious Game on raising public awareness : the case of FloodSim ». In : *ACM SIGGRAPH Symposium on Video Games*. 2009, p. 15–22.
- [76] Rachel Carlos Duque REIS et al. « Affective states in computer supported collaborative learning : Studying the past to drive the future ». In : *Computers & Education* 120 (2018), p. 29–50.
- [77] Marcos Wander RODRIGUES et al. « Educational Data Mining : A review of evaluation process in the e-learning ». In : *Telematics and Informatics* 35(6) (2018), p. 1701–1717.

- [78] Theovan RUIJVEN et al. « Multidisciplinary coordination of on-scene command teams in virtual emergency exercises ». In : *International Journal of Critical Infrastructure Protection* 9 (2015), p. 13–23.
- [79] James A. RUSSELL. « Emotion, core affect, and psychological construction ». In : *Cognition and Emotion* 23(7) (2009), p. 1259–1283.
- [80] Aysu SAGUN et al. « A scenario-based study on information flow and collaboration patterns in disaster management ». In : *Disasters* 33(2) (2009), p. 214–238.
- [81] Teffali SAMMY et al. « Learning From Fails in Crisis Management : Case of Stress Impact ». In : *14th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD)*. 2018.
- [82] Mohammed SAQR et al. « The role of social network analysis as a learning analytics tool in online problem based learning ». In : *BMC Medical Education* (2019).
- [83] Sawyer Ben SAWYER. « Games for health conference ». In : 2008.
- [84] Wolfgang Eugen SCHLAUCH et al. « Social Network Analysis and Gaming : Survey of the Current State of Art ». In : Göbel S., Ma M., Baalsrud Hauge J., Oliveira M., Wiemeyer J., Wendel V. (eds) *Serious Games. JCSG 2015. Lecture Notes in Computer Science, vol 9090*. Springer. 2015.
- [85] Valerie Jean SHUTE. « Stealth assessment in computer-based games to support learning ». In : *Computer games and instruction* 55(2) (2011), p. 503–524.
- [86] Andy SIDDAWAY. « What is a systematic literature review and how do I do one? » 2015.
- [87] José Fernando SILVA et al. « A Serious Game for EVAcuation Training ». In : *IEEE 2nd International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*. 2013.
- [88] Aleksandra SOLINSKA-NOWAK et al. « An overview of serious games for disaster risk management – Prospects and limitations for informing actions to arrest increasing risk ». In : *International Journal of Disaster Risk Reduction* 31 (2018), p. 1013–1029.
- [89] Felicio S.P.A.S et al. « Stop Disaster Game Experiment with Elementary School Students in Rio de Janeiro : building safety culture ». In : *11th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management - ISCRAM*. 2014.
- [90] Ramin TADAYON et al. « Real-time stealth intervention for motor learning using player flow-state ». In : *IEEE 6th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*. 2018.

- [91] Franck TAILLANDIER et al. « Games Ready to Use : A Serious Game for Teaching Natural Risk Management ». In : *Simulation & Gaming* 49 (2018), p. 441–470.
- [92] Chek Tien TAN et al. « A Feasibility Study in Using Facial Expressions Analysis to Evaluate Player Experiences ». In : *The 8th Australasian Conference on Interactive Entertainment : Playing the System, New York, NY, USA*. 2012.
- [93] Florian TENA-CHOLLET. « Élaboration d’un environnement semi-virtuel de formation à la gestion stratégique de crise, basé sur la simulation multi-agents ». Thèse de doct. École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2012.
- [94] Florian TENA-CHOLLET et al. « Design of a Semi-Virtual Training Environment (Serious Game) for Decision-Makers Facing up a Major Crisis ». In : *Chemical Engineering Transactions* 48 (2016).
- [95] Shute J. VALERIE et al. « Games, learning, and assessment ». In : *In D. Ifenthaler, D. Eseryel, & Ge, X. (Eds.), Assessment in game-based learning : Foundations, innovations, and perspectives. New York, NY : Springer* (2012), p. 43–58.
- [96] Mieke VANDEWAETERE et al. « The contribution of learner characteristics in the development of computer-based adaptive learning environments ». In : *Computers in Human Behavior* 27 (2011), p. 118–130.
- [97] Warren E. WALKER et al. « Training and learning for crisis management using a virtual simulation/gaming environment ». In : *Cognition, Technology & Work* 13(3) (2011), p. 163–173.
- [98] Othman Bakkali YEDRI et al. « Serious Games Adaptation According to the Learner’s Motivational State ». In : *Ben Ahmed M., Boudhir A., Younes A. (eds) Innovations in Smart Cities Applications Edition 2. SCA 2018. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer, Cham*. 2018.
- [99] Michael ZYDA. « From Visual Simulation to Virtual Reality to Games ». In : *Computer* 38(9) (2005), p. 25–32.

Annexe 1

Game Engagement Questionnaire (core module)

Please answer the following questions in relation to your playing experience. Questions relate to the emotions and feelings you may have experienced during playing. Answer to all following questions.

1. Positive affect 1 -> 5
2. Negative affect 6->9
3. Flow 10-> 14
4. Tension 15-> 17
5. Challenge 18-> 22
6. Competence 23->27
7. Immersion 28->33

*Obligatoire

1. I felt content *

	1	2	3	4	5	
Not at all	☐	☐	☐	☐	☐	Extremely

2. I thought it was fun *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

3. I felt happy *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

4. I felt good *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

5. I enjoyed it *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

6. It gave me a bad mood *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

7. I thought about other things *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

8. I found it tiresome *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

9. I felt bored *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

10. I was fully occupied with the game *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

11. I forgot everything around me *

1

2

3

4

5

☐☐☐☐☐

12. I lost track of time *

1

2

3

4

5

☐☐☐☐☐

13. I was deeply concentrated in the game *

1

2

3

4

5

☐☐☐☐☐

14. I lost connection with the outside world *

1

2

3

4

5

☐☐☐☐☐

15. I felt annoyed *

1

2

3

4

5

☐☐☐☐☐

16. I felt irritable *

1

2

3

4

5

☐☐☐☐☐

17. I felt frustrated *

1

2

3

4

5

☐☐☐☐☐

18. I thought it was hard *

1

2

3

4

5

☐☐☐☐☐

19. I felt pressured *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

20. I felt challenged *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

21. I felt time pressure *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

22. I had to put a lot of effort into it *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

23. I felt skilful *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

24. I felt competent *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

25. I was good at it *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

26. I felt successful *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

27. I was fast at reaching the game's targets *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

28. I was interested in the game's story *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

29. It was aesthetically pleasing *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

30. I felt imaginative *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

31. I felt that I could explore things *

1

☐

2

☐

3

☐

4

☐

5

☐

32. I found it impressive *

1

☐

2

☐

3

☐

4

☐

5

☐

33. It felt like a rich experience *

1

☐

2

☐

3

☐

4

☐

5

☐

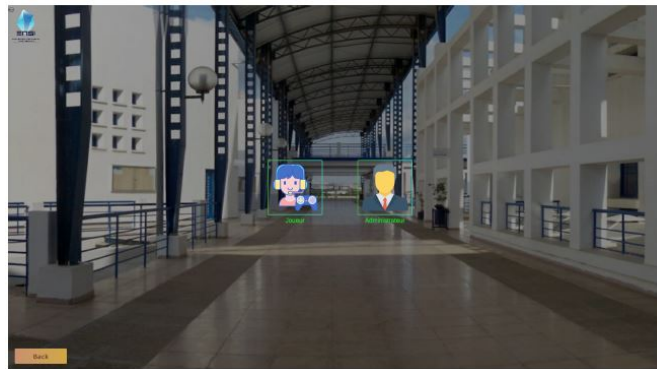
Envoyer

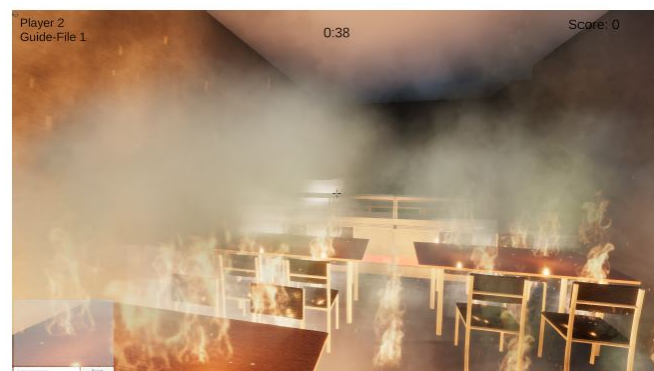
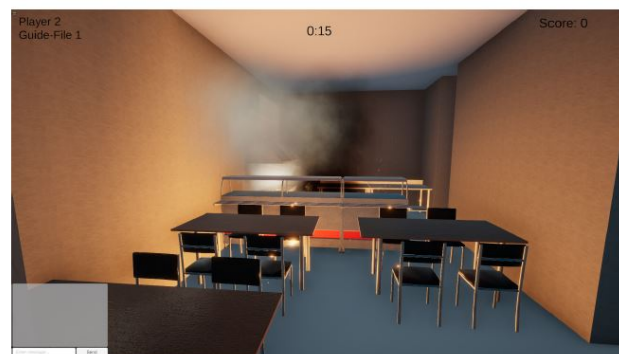
Ce formulaire a été créé dans ENSI. [Signaler un cas d'utilisation abusive](#)

Google Forms

Annexe 2

EvacENSI : un jeu sérieux multi-joueurs pour l'évacuation du bâtiment de l'ENSI implémenté avec Unity 3D





Résumé

Cette thèse s'inscrit dans le domaine des environnements informatiques pour l'apprentissage humain. Elle vise à identifier et à lever certains verrous scientifiques existants concernant l'évaluation des Jeux Sérieux de Gestion de Crise (JSGC). Le jeu sérieux est un concept récent bâti sur la prise en compte simultanée et cohérente d'aspects sérieux et ludiques. En effet, les JSGC constituent une alternative innovante complémentaire aux sessions de formation traditionnelles dans laquelle les joueurs essaient, à travers une collaboration virtuelle, de gérer rapidement et efficacement une situation de crise. Les constats motivant ce travail sont : (1) la nécessité grandissante pour les chercheurs et les formateurs de découvrir et d'étudier les facteurs de succès contribuant à l'efficacité des JSGC, (2) l'insuffisance des travaux d'évaluation prenant en compte les aspects fondamentaux caractérisant le contexte de gestion de crise et notamment l'aspect émotionnel, et (3) la nécessité d'exploiter les résultats d'évaluation obtenus pour adapter le jeu aux profils des apprenants dans le but d'améliorer l'expérience d'apprentissage et de contribuer ainsi au succès des JSGC.

Face à ces constats, cette thèse tente d'apporter des contributions aussi bien sur le plan théorique que pratique qui s'articulent autour de deux grands axes. Premièrement, nous proposons un cadre théorique pour l'évaluation individuelle et collective des apprenants dans les JSGC. Ce cadre est basé sur une grille d'analyse détaillant les critères et les indicateurs permettant de les mesurer. Ces critères peuvent être classés sous trois facettes d'évaluation : pédagogique, émotionnelle et sociale. Deuxièmement, nous proposons une approche d'évaluation des apprenants dans les JSGC. Cette approche est basée sur deux méthodes permettant d'évaluer la facette sociale et la facette émotionnelle. La première méthode vise à produire une évaluation aussi bien quantitative que qualitative des interactions sociales entre les différents joueurs. La deuxième méthode vise à produire une évaluation formative et sommative des états affectifs des apprenants à deux niveaux : individuel et collectif. Les résultats d'évaluation obtenus sont exploités pour proposer une illustration d'une adaptation d'un jeu simulant un scénario collaboratif d'évacuation d'un bâtiment en cas d'incendie.

Mots clés : jeu sérieux, gestion de crise, apprentissage collaboratif, évaluation des apprenants, adaptation, états affectifs.

Abstract

This thesis fits into the field of technology enhanced learning environments. It aims to identify and to resolve some existing limitations concerning the evaluation of Crisis Management Serious Games (CMSG). Serious game is a recent concept built on the simultaneous and coherent consideration of serious and game aspects. Indeed, CMSG constitute a complementary innovative alternative to traditional training sessions in which players try, through a virtual collaboration, to quickly and effectively manage a crisis situation. The findings motivating this work are: (1) the growing need for researchers and trainers to discover and to study the success factors contributing to the effectiveness of CMSG, (2) the lack of existing evaluation works taking into account the fundamental aspects characterizing the crisis management context, particularly the emotional aspect, and (3) the need to exploit the obtained evaluation results to adapt the game to learners' profiles in order to improve their learning experience and thus to contribute to the success of CMSG.

Stemming from these findings, this thesis attempts to develop contributions on both theoretical and practical levels that revolve around two main axes. Firstly, we propose a theoretical framework for individual and collective learners' evaluation in CMSG. This framework is based on an analysis grid detailing the criteria and indicators for measuring them. These criteria can be classified under three evaluation facets: pedagogical, emotional and social. Secondly, we propose an approach to evaluate learners in CMSG. This approach consists of two methods for evaluating the social and emotional facets. The first method aims to produce a quantitative and a qualitative evaluation of social interactions between the different players. The second method aims to produce a formative and summative evaluation of learners' emotional states at two levels: individual and collective. The obtained evaluation results are exploited to propose an illustration of an adaptation of a game simulating a collaborative scenario for evacuating a building in a case of fire emergency.

Keywords: serious game, crisis management, collaborative learning, learners' evaluation, adaptation, affective states.