



**HAL**  
open science

## **La simulation de crises majeures pour la formation des décideurs et futurs décideurs : des jeux, sérieux ?**

Florian Tena-Chollet, Aurélia Bony-Dandrieux, Jérôme Tixier

### ► **To cite this version:**

Florian Tena-Chollet, Aurélia Bony-Dandrieux, Jérôme Tixier. La simulation de crises majeures pour la formation des décideurs et futurs décideurs : des jeux, sérieux ?. *Prise de décision en situation de crise : Recherche et innovations pour une formation optimale*, ISTE, p. 33-54, 2019, 9781784065669. <hal-03315472>

**HAL Id: hal-03315472**

**<https://imt-mines-ales.hal.science/hal-03315472v1>**

Submitted on 24 May 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

## Chapitre 2

# La simulation de crises majeures pour la formation des décideurs et futurs décideurs : des jeux, sérieux ?

### 2.1. Introduction

Les jeux sérieux et les exercices d'apprentissage basés sur la simulation sont des approches de formation utiles en gestion de crise. Lorsque des crises majeures se produisent, les organisations sont confrontées à des problèmes critiques, tels que le stress, les incertitudes, le besoin d'anticipation rapide et une meilleure communication afin de minimiser les conséquences et les impacts indésirables sur les enjeux du territoire affecté. De nombreux facteurs sont essentiels dans un environnement de formation pour garantir un apprentissage efficace, principalement l'amélioration de l'expérience, l'engagement et l'immersion des participants, et le réalisme ou la crédibilité des scénarios simulés. Dans un travail précédent, un ensemble de recommandations avait été proposé pour spécifier les principales composantes d'un environnement de formation amélioré (Tena-Chollet *et al.* 2016b). Plus spécifiquement, nous avons proposé d'envisager dix DOT (pour *Degrees Of Training* en anglais). Ils se déclinent en compétences générales, intermédiaires et spécifiques. Enfin, ces compétences se destinent à être sollicitées dans nos scénarios de crise. Dans ce chapitre, nous montrons comment relier ces « DOT ». Nous avons donc transposé nos spécifications précédentes aux exigences techniques d'un véritable environnement de formation semi-virtuel qui est présenté. Nous démontrons également les avantages de deux logiciels développés : un noyau de simulation de crise dynamique basé sur un système multi-agent (appelé

« Asymut » pour *Agents and Synopsys Management UTility*) et un gestionnaire de scénario de crise (appelé « SimulCrise »).

**MOTS CLEFS** risque majeur, environnement semi-virtuel de formation, apprentissage collectif, prise de décision, gestion de crise.

## 2.2. État de l'art

Dans le domaine des risques majeurs, une crise se caractérise par une perte de contrôle et donc un niveau de stress élevé pour les parties prenantes impliquées en raison d'un événement déclencheur qui perturbe l'équilibre d'un système (une organisation, une infrastructure, un territoire, etc.). Lorsque des crises majeures se produisent, les parties prenantes s'organisent en cellules de crise. Le facteur humain, la gestion des ressources et l'incertitude de la situation sont souvent des sources majeures de vulnérabilité dans le processus de prise de décision d'une unité de crise (Smith *et al.* 2000 ; Morin *et al.* 2004). Inversement, la prise de décision, la communication, le partage de modèles mentaux, le leadership et la coordination sont des compétences utiles (Lagadec 2012). D'un point de vue théorique, les processus de prise de décision peuvent être créatifs, analytiques, procéduraux ou naturalistes. En pratique, une crise implique des enjeux critiques, des effets importants et des temps de réaction limités. Le processus de prise de décision est donc essentiellement naturaliste (Tena-Chollet 2012). Ce qui soulève le paradoxe suivant : si les crises sont exceptionnelles, la prise de décision en période de crise dépend souvent de situations vécues antérieurement.

On peut noter que la plupart des environnements de formation à la gestion de crise présentent des lacunes ou des limites. Ils sont principalement destinés aux niveaux tactiques ou opérationnels (services d'urgence, pompiers, etc.) et les niveaux stratégiques font moins l'objet d'études en termes d'apprentissage organisationnel. L'étude d'autres environnements existants basés sur des exercices fonctionnels de gestion de crise a identifié plusieurs limites (Tena-Chollet *et al.* 2016b). Il est possible de distinguer celles liées à l'inadéquation de la stratégie d'enseignement au profil des apprenants et celles liées à la complexité de l'animation par les formateurs.

D'une part, il est nécessaire de faciliter une immersion proactive et participative des apprenants dans un environnement réaliste et dans un groupe aussi homogène que possible en termes de connaissances et d'expérience. D'autre part, le rôle des formateurs est difficile car leur autorité peut ne pas être reconnue par des experts en

gestion de crise. Néanmoins, ils doivent promouvoir la réussite et expliquer les échecs par des raisons factuelles (en particulier lors du débriefing), tout en maintenant une certaine distance par rapport aux apprenants. Certaines de ces difficultés semblent être résolues par le recours à la formation assistée par ordinateur (Kebritchi *et al.* 2008). La formation à la gestion de crise par la simulation de crise vise ainsi à faciliter la transposition des compétences acquises de la théorie à la pratique : les apprenants peuvent partager leurs expériences, leurs connaissances et leurs points de vue afin de faire l'expérience de nouvelles façons de penser.

Notre recherche étudie comment créer un environnement immersif pour les apprenants ayant des profils d'expérience différents et comment simuler des scénarios de crise pédagogiques de manière ludique et réaliste. Des travaux récents démontrent que les jeux de simulation, comme les jeux sérieux, sont des outils efficaces d'enseignement et qu'ils ont été largement utilisés dans l'apprentissage par l'expérience (Mawdesley *et al.* 2011). Nous avons donc choisi d'ouvrir les trois domaines d'amélioration suivants (Tena-Chollet *et al.* 2016b) :

- la stratégie d'enseignement, afin d'aider les formateurs à créer des scénarios pédagogiques, à observer les apprenants et à préparer la phase de débriefing ;
- le système de simulation, qui doit permettre de réaliser des simulations en temps réel, au ralenti ou en accéléré, afin de simplifier ou de mettre en évidence les phénomènes étudiés ;
- l'environnement de formation, dans le but de déployer des dispositifs d'immersion et un noyau de simulation informatique.

Ensuite, nous présentons dans ce chapitre notre méthodologie et plus particulièrement :

- la définition de dix nuances de formation (« DOT » en anglais) ;
- la manière de connecter les DOT, avec une définition des compétences nécessaires en gestion de crise ;
- la sollicitation des compétences par un scénario de crise ;
- l'exécution du scénario *via* un environnement de formation semi-virtuel ;
- Les premiers éléments du jeu sérieux dans une infrastructure réelle de formation à la gestion de crise.

### **2.2.1. Stratégie d'enseignement**

Les processus d'apprentissage intègrent un cycle « perception-données-informations-connaissances-sagesse-vision » garantissant que la prise de décision n'affecte pas l'environnement dans lequel le groupe est situé (Le Bas, 1993 ; Guéraud 2005 ; Tena-Chollet, 2012). La séquence de ces étapes implique deux conditions préalables. La première est que tout événement éducatif doit être perceptible pour pouvoir être capté par l'apprenant. La seconde souligne la nécessité d'intégrer l'hétérogénéité des profils d'apprenants dans un même groupe. Les quatre approches classiques (comportementalisme, cognitivisme, constructivisme et socioconstructivisme) diffèrent à cet égard (Werhane *et al.* 2011 ; Ertmer *et al.* 2013).

Le socioconstructivisme traite mieux les problèmes de l'apprentissage collectif, mais il s'avère qu'il ne se concentre pas sur la définition d'un cadre pédagogique adapté aux profils des apprenants ( Morin *et al.* 2004 ; Guéraud 2005). Nous proposons donc d'étendre l'approche socioconstructiviste par un *continuum* d'apprentissage organisationnel structuré en trois étapes, selon que le groupe est néophyte, intermédiaire ou expert en gestion de crise. Nous appellerons ces trois étapes le « mode néophyte », le « mode intermédiaire » et le « mode expert ». Notre approche, qui est dans la lignée des travaux de Pasin et Giroux (Pasin *et al.* 2011), met en évidence la nécessité de développer des objectifs éducatifs spécifiques et différents niveaux d'évaluation des apprenants. Enfin, il est à noter que la vitesse d'apprentissage est supérieure lors des deux premiers modes, néophyte et intermédiaire (Tena-Chollet 2012). Un public non initié monte en effet en compétence plus rapidement qu'un groupe d'experts. Bien que notre sujet de recherche initial découle de la nécessité de formation des parties prenantes (à savoir des experts en gestion de crise), nous avons choisi de conserver également les deux autres profils d'apprenant (néophytes et intermédiaires), qui présentent un intérêt pédagogique considérable.

### **2.2.2. Stratégie de simulation**

Les environnements interactifs présentent plusieurs avantages : motivant l'utilisateur, ils l'aident à mieux comprendre les situations complexes ou

dangereuses en les étudiant avec une autre échelle d'analyse (Joab *et al.* 2005 ; Mendonça *et al.* 2006 ; Crichton 2009).

L'étude de la typologie des environnements interactifs pour l'apprentissage humain distingue les jeux de simulation, les micromondes et les jeux de rôle. Les jeux de simulation sont considérés comme adaptés à la formation des décideurs, car ils intègrent des modèles, des scénarios, des événements inattendus, des processus temporalisés, des rôles, des procédures, des décisions, des conséquences, des indicateurs, des symboles et du matériel utile (Crichton 2009). Ce type de jeu sérieux peut consister en des simulateurs utilisés à des fins éducatives, pour l'acquisition de compétences techniques et non techniques, de réflexes et de modes de pensée (Connolly *et al.* 2012). Ils peuvent être utilisés à des fins de démonstration, d'autoformation, d'auto-évaluation ou de travail collaboratif. Dans tous les cas, il s'agit d'une manière d'apprendre par la découverte et l'action (Joab *et al.* 2005 ; Labat *et al.* 2006).

Il convient de noter l'autre avantage suivant : ce mode est facilitateur pour que les apprenants travaillent ensemble et développent leur capacité à prendre des décisions avec consensus (Tena-Chollet 2012). Il est possible de faire des simulations en temps réel, au ralenti ou en accéléré afin de simplifier ou de mettre en évidence les phénomènes étudiés, mais ces paramètres doivent être justifiés d'un point de vue pédagogique (Joab *et al.* 2005). La propension des personnes à attacher une grande importance à l'aspect visuel devrait inciter les développeurs à autoriser l'utilisation de cartes, de données et de représentations 2D ou 3D afin d'évaluer l'impact de la planification de l'unité de gestion de crise pendant l'exercice (Morin *et al.* 2004).

### **2.2.3. Environnement de formation**

En règle générale, les environnements virtuels sont destinés à des utilisations technologiques ou éducatives ( Mellet D'Huart 2001 ; Burkhardt 2003). Dans une perspective pédagogique, ils sont utilisés pour générer des interactions didactiques et comme moyen de gestion de l'exercice (Burkhardt 2003). En pratique, le stress d'une gestion de crise peut être recréé, ce qui peut amener les apprenants à effectuer des tâches dans des conditions proches de la réalité (Lourdeaux 2001). Cette approche améliore les types d'apprentissage suivants : être, connaissances, savoir-faire et compétences sociales.

Ces objectifs peuvent être approchés davantage grâce aux interfaces multimédias, aux contraintes de temps, à la surcharge d'informations (*Critical Thinking Training*)

et aux représentations visuelles (Sniezek *et al.* 2001 ; Kebritchi *et al.* 2008). L'utilisation de données réelles en interaction avec un système d'information géographique est également un bon moyen de garantir le réalisme des simulations. Plusieurs techniques existent déjà pour faciliter les intégrations dans différents environnements. Néanmoins, l'utilisation de représentations virtuelles pour produire de nouvelles informations pose la question de ses conséquences dans un environnement visant à reproduire les conditions réelles d'une gestion de crise. Pour Buche, les représentations virtuelles sont définies par trois éléments : l'immersion, l'imagination et l'interaction (Buche *et al.* 2007). Nous devons noter que ces trois modalités correspondent théoriquement à la dimension immersive nécessaire dans un simulateur de crise, aux comportements participatifs et proactifs attendus des apprenants dans un jeu sérieux.

Deux méthodes de représentation sont distinguées : la réalité virtuelle et la simulation virtuelle (Pernin 1996). Une comparaison de ces deux méthodes a montré que la simulation virtuelle convenait mieux à notre approche (Tena-Chollet 2012). À l'instar de la réalité virtuelle, l'utilisation de simulations virtuelles permet également de rejouer des séquences éducatives, d'enregistrer des données de l'exercice ou de faire des pauses. Cependant, les simulations virtuelles permettent de plus grandes actions de réversibilité (Burkhardt 2003), donnant ainsi à l'environnement un aspect fortement didactique. Par toute implication de l'utilisateur, la simulation virtuelle permet de répéter un scénario autant de fois que nécessaire, d'intervenir sur la cinétique de l'événement, l'apparition d'événements particuliers, l'ajout de contraintes, de ressources ou concernant l'évolution du scénario. Ainsi, la déconnexion de la réalité existante (impliquée avec la réalité virtuelle) permet de mieux prendre en compte les décisions de l'apprenant, en utilisant éventuellement des distorsions temporelles et en jouant toutes les séquences pour donner l'occasion de corrections rétroactives en cas de mauvais choix.

Le principal inconvénient de la simulation virtuelle provient de la nécessité de disposer en permanence de données calculées, de modèles de simulation, de comportements et plus particulièrement d'une génération dynamique de scénarios de crise. La flexibilité est généralement considérée comme un facteur important dans les environnements d'apprentissage (Sun *et al.* 2008). Nous proposons d'utiliser des agents intelligents comme paradigme de modélisation pour la simulation de crise.

## **2.3. Méthodologie**

Notre méthodologie vise à définir le concept de DOT pour les principaux facteurs humains impliqués dans la gestion de crise, puis à les associer à d'autres éléments d'un système de formation.

### **2.3.1. Définition des DOT (Degrees Of Training)**

Les réactions attendues des apprenants doivent être précisées avant l'exercice de formation. Nous proposons que la stratégie d'apprentissage et le contenu de chaque exercice dépendent des profils des apprenants. Par exemple, un néophyte doit apprendre à identifier des stratégies viables basées sur les phases de crise, tandis qu'un expert, au contraire, doit travailler sur les relations interpersonnelles/interservices au sein de la cellule de crise. Trois stratégies d'enseignement seront établies. Celles-ci sont associées à différents objectifs et sont toutes évaluées différemment en tenant compte du type d'apprenant (néophyte, intermédiaire ou expert).

Le stress, les ressources et la gestion du temps sont les trois principales contraintes pouvant entraver le processus de prise de décision. En supposant qu'une crise imputable à des causes humaines soit plus difficile à gérer en raison d'une implication émotionnelle, la détermination d'un scénario devrait donc à la fois intégrer les objectifs d'apprentissage identifiés et contribuer à créer un contexte motivant pour la cellule de crise. Plus précisément, l'instinct de coopération au sein d'un groupe est activé et renforcé lorsque des problèmes ou des difficultés communes sont clairement vus et s'il existe au moins une solution identifiée par un nombre significatif de membres de ce groupe. Nous proposons donc qu'aucun événement ne soit induit qui ne puisse être associé à une solution possible. Nous notons également que la cohésion d'une unité de crise de la formation doit être maintenue par un ensemble d'événements (récurrents ou déclenchés à la demande).

Dans le même temps, les apprenants n'ont pas besoin de se connaître ou d'avoir déjà coopéré pour être placés dans une situation d'apprentissage. Cependant, les réflexes ne sont appris et reproduits que si le contexte est le même que celui pour lequel l'exercice est conduit. Il est important de reproduire l'environnement dans lequel évoluera l'apprenant en temps de crise. Quatre facteurs positifs doivent être pris en compte (instinct, apprentissage, intelligence, adaptabilité) et six faiblesses psychosociales (altérabilité, subjectivité, ignorance, crédulité, désaffection ou asocialité) (Tena-Chollet 2012). Nous proposons de considérer ces dix éléments

comme des DOT) afin de définir chaque scénario de crise et d'aboutir à un débriefing pertinent.

### **2.3.2. Définition des compétences nécessaires**

Habituellement, les compétences nécessaires à la gestion de crise sont définies d'un point de vue général, mais sont peu voire pas précisées et déclinées en critères observables : elles ne sont pas évaluées de manière factuelle et l'étape de débriefing est alors médiocre (Lagadec 2012).

À travers le prisme de nos DOT, il est possible de caractériser les objectifs généraux en termes de compétences requises (Tena-Chollet 2012). Pour atteindre un objectif commun, chaque membre d'une cellule de crise doit exécuter des tâches impliquant le travail d'équipe et mobiliser les compétences techniques non spécifiques suivantes : anticipation, communication, travail d'équipe, gestion du stress, prise de décision et leadership (Rasmussen 1983 ; Endsley 2001 ; Crichton 2009). Les décisions ne peuvent être prises en toute connaissance de cause, mais elles nécessitent la coopération d'acteurs de la gestion des urgences qui ne sont pas toujours habitués à travailler ensemble (Smith *et al.* 2000). Ces difficultés peuvent entraîner un manque de modèles mentaux partagés entre les acteurs et de communications internes/externes de la cellule de crise.

Nous considérons donc que des compétences générales, intermédiaires et spécifiques doivent être précisées. Nous proposons six compétences générales : anticipation (1), communication (2), coopération (3), gestion du stress (4), prise de décision (5) et pilotage stratégique (6). Ces compétences sont utilisées pour accomplir cinq tâches intermédiaires : la gestion des conséquences de la crise (1), la réponse tactique et opérationnelle (2), la gestion de la cellule de crise (3), la communication en cas de crise (4) et la vision globale à court, moyen et long terme (5). En outre, nous avons identifié seize groupes d'actions attendues : gestion humaine (1), gestion des ressources (2), évaluation des dangers (3), identification des enjeux (4), stratégies de retour à l'état normal (5), protection des éléments les plus menacés (6), gestion des renforts (7), analyse de la situation (8), gestion (9) et arbitrage (10) d'options stratégiques, dont quatre types de communication au sein de la cellule de crise (11), avec les médias (12), les autorités (13) ou le public (14), la veille et la prévision (15), et en identifiant les évolutions possibles de la situation (16). Ces 16 dernières compétences doivent être sollicitées à travers des événements et des interactions induits par le scénario de crise (Tena-Chollet 2012).

Classiquement, les phases principales d'une session de formation sont la planification, la préparation, l'exercice en lui-même et le débriefing. Cette dernière étape est très importante car elle conduit à l'acquisition de connaissances par une analyse réflexive de la prise de décision. Le débriefing doit suivre des règles spécifiques. Plusieurs auteurs indiquent que les erreurs commises par les apprenants ne doivent pas conduire à un jugement de valeur, mais il est admis que le but de cette étape est de révéler l'origine des erreurs et de comprendre pourquoi elles se sont produites (processus cognitif de reconstruction). Par conséquent, nous proposons les catégories d'évaluation suivantes pour toutes les phases du *continuum* d'apprentissage organisationnel : anticipation, communication, travail d'équipe, gestion du stress, prise de décision et leadership. Ces éléments sont donc identifiés comme les objectifs principaux à préciser. Ces objectifs peuvent être complétés en temps réel par des observateurs avec des checklists afin d'identifier la manière dont le groupe s'organise pour faire face à la crise, le leadership impliqué, le partage d'informations, la coordination et le mode de prise de décisions. Ces checklists peuvent contenir des observations qui peuvent être utiles aux animateurs pour adapter si nécessaire le déroulement du scénario.

Enfin, l'utilisation des DOT implique l'intervention d'un ou de plusieurs formateurs. Ils sont essentiels car ils guident les apprenants vers les situations didactiques prédéfinies. Des guides de jeux de rôle devraient donc être créés pour aider les formateurs. Néanmoins, il n'est pas recommandé aux formateurs d'intervenir lors d'un exercice. La manière dont les apprenants seront conduits aux situations didactiques doit être définie, dans la mesure où ces aspects doivent être réalisés de manière implicite.

### **2.3.3. Activation des compétences par un scénario de crise**

Deux principaux types de scénario peuvent être intégrés dans un simulateur (Tena-Chollet 2012) :

- canevas de scénarios définissant un certain nombre de règles avant le début, puis permettant des interactions libres ;
- scénarios programmés avec un ensemble d'actions planifiées à l'avance. Ces actions peuvent être facultatives ou non.

Nous considérons que les canevas de scénarios augmentent l'imagination et satisfont tous les éléments devant être intégrés aux simulations tout en permettant l'intégration du retour d'expérience.

Les seize compétences précédemment identifiées doivent être activées au travers d'événements et d'interactions induits par le scénario de crise. Pour le concevoir, nous proposons un modèle qui intègre deux approches : les scénarios de crise passés réels et les scénarios de crise fictifs. Le résultat comprend trois étapes : expression et analyse des objectifs d'apprentissage, construction d'un ensemble d'événements réalistes, mise en œuvre du scénario de crise créé et évaluation des possibilités de le gérer. Pour les scénarios de crise passés réels, il est nécessaire d'utiliser un cadre spécifique (par exemple, une crise passée réelle) basé sur une analyse de retour d'expérience sur la catastrophe devant être simulée. Ensuite, nous reconstituons les ressources opérationnelles déployées et les actions tactiques effectuées (paramètres de simulation). Enfin, des événements potentiels doivent être identifiés afin de garantir une évolution potentielle du scénario réaliste. Pour les scénarios de crise fictifs, nous recommandons de créer un contexte global, incluant la définition des acteurs stratégiques, tactiques et opérationnels susceptibles d'être impliqués. Ensuite, il est possible de modéliser le système global, ses sous-systèmes et les interactions entre chacun d'eux. Enfin, une étude de retour d'expérience dans le domaine actuel peut permettre d'identifier des événements crédibles à associer à des objectifs pédagogiques. La dernière étape consiste à faciliter l'animation de scénarios à l'aide d'outils de formation et d'évaluation, à développer les entités qu'il est nécessaire de simuler, à étalonner la simulation de vitesse et à valider des scénarios de test.

#### **2.3.4. La simulation pour exécuter un scénario**

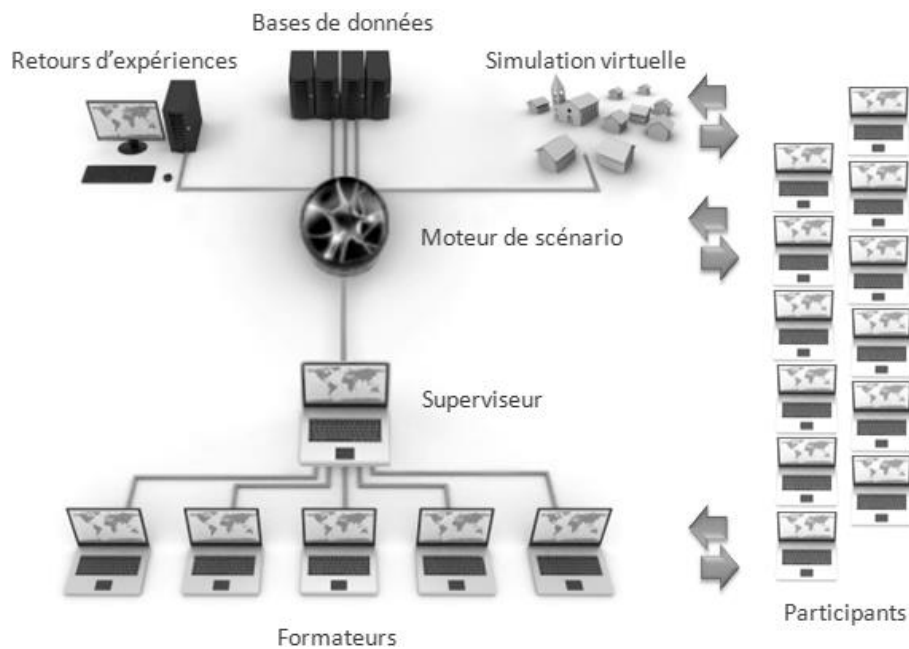
Afin de simuler de manière dynamique un scénario de crise réel ou fictif, l'approche multi-agent (SMA) semble appropriée, en particulier pour modéliser des règles canevas (par exemple, les effets physiques ou les comportements humains), puis pour laisser le système s'auto-organiser et programmer toutes les tâches et les événements. L'étude des SMA nous a permis d'identifier que l'approche BDI (*Belief-Desire-Intention*), basée sur les modèles « Stimulus-Organisation-Réaction », est une perspective de travail cohérente afin de simuler le comportement des agents pendant une crise virtuelle et ainsi implémenter un moteur de scénario adapté (voir figure 2.1) (Tena-Chollet 2012).

Le modèle que nous proposons distingue trois sous-systèmes dans l'environnement de crise global : les phénomènes dangereux (incendies, explosions, dispersion atmosphérique et aquatique, tremblements de terre, inondations, tsunamis), les enjeux sensibles (humains, infrastructureux et environnementaux) et les moyens (les ressources tactiques et opérationnelles). Les liens statiques entre chaque sous-système peuvent être organisés dans une arborescence. Pour la modélisation de la dynamique d'un scénario de crise, nous proposons d'utiliser une méthode d'analyse du risque organisée et systémique connue sous le nom de MOSAR (Périlhon 2007). La méthode MOSAR vise à :

- identifier les défaillances techniques et d'exploitation par la définition de systèmes et de sous-systèmes ;
- caractériser les interactions entre les sources de danger, leur propagation et les cibles sensibles ;
- mettre en évidence des événements indésirables pouvant être produits par les sous-systèmes entre eux.

### *2.3.5. Réalisation de simulations via un environnement semi-virtuel de formation*

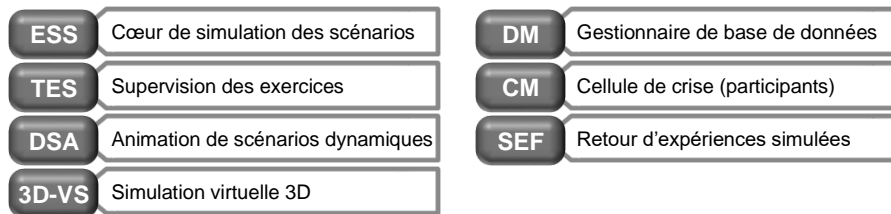
Nos recherches précédentes sur les exigences techniques et organisationnelles ont suggéré l'idée d'une architecture distribuée à plusieurs niveaux permettant de partager librement les fonctionnalités attendues (Tena-Chollet *et al.* 2016a, 2016b). Par conséquent, sept caractéristiques de notre jeu sérieux sont identifiées (voir figure 2.1) : un noyau de simulation basé sur un SMA (Système multi-agent), la gestion de l'exercice sous la responsabilité d'un superviseur, la gestion de l'exercice grâce à des formateurs, la simulation virtuelle, des bases de données, un entrepôt de données sur les retours d'expérience et deux cellules de crise reconstituées. Nous proposons un concept nouveau d'environnement semi-virtuel de formation, qui est dit semi-virtuel car un composant de simulation virtuelle est utilisé à la place d'un composant de réalité virtuelle.



**Figure 2.1. Architecture multitiuers distribuée proposée**

La conception d'un SMA nécessite la définition du système global, des comportements attendus des agents et des agents eux-mêmes (Tahir *et al.* 2008). Plus particulièrement, le modèle logiciel BDI (*Belief-Desire-Intention*) semble constituer une base initiale pour simuler les comportements humains et les phénomènes d'accident (Wooldridge *et al.* 1995). Le SMA dépend des formateurs et de leurs objectifs pédagogiques ainsi que de l'affichage de la simulation virtuelle. Ce module reçoit des données d'entrée spécifiques (effets physicochimiques, modèles comportementaux, etc.), qui dépendent d'événements dans une crise simulée et qui impliquent des décisions de l'apprenant.

La suite logicielle SimulCrise a été développée (langage Delphi©) pour soutenir le projet en termes de formation, de suivi pédagogique et d'évaluation des apprenants. Un système multi-agent dédié appelé Asymut (*Agents and SYNopsis Management UTility*) a été développé à l'aide d'un framework *open source* existant appelé Jade (langage Java). L'architecture distribuée conçue au cours de nos recherches comprend sept couches (voir figure 2.2).

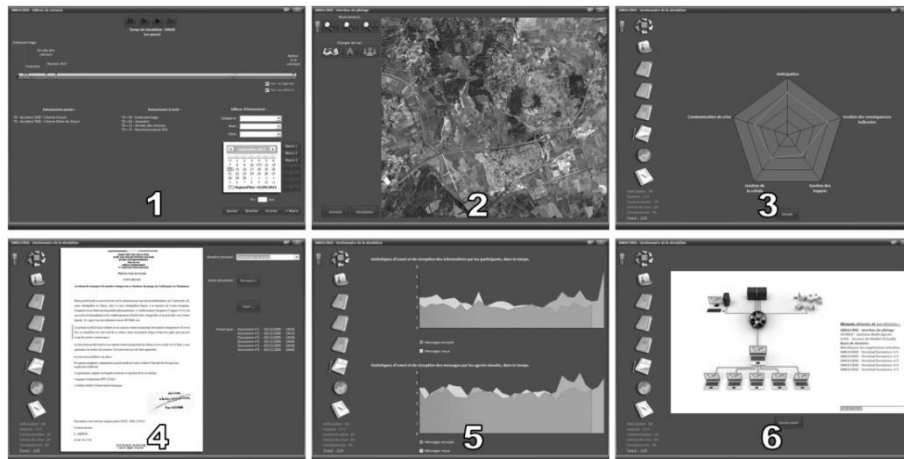


**Figure 2.2. Composants de l'architecture multitière distribuée**

À l'exception du module SEF, toutes les couches ont été développées et intégrées à la suite logicielle SimulCrise. ESS correspond au SMA Asymut spécifiquement conçu et calibré pour simuler la dynamique de crise. Contrairement à d'autres approches qui considèrent l'environnement de formation dans son ensemble comme un SMA, Asymut est l'un des composants de notre architecture. Cette différence provient du fait que l'ESS est considéré comme un module utilisé pour l'animation de scénario et non comme une condition préalable dans notre système d'ingénierie. Les décisions de l'apprenant et les inflexions du formateur sont pris en compte par la couche DSA. Les fiches d'animation sont utilisées pour surveiller les événements de scénario simulés par ESS, et pour les relier aux compétences attendues des apprenants. Il convient de noter que ces fiches peuvent être préconfigurées et/ou modifiées au cours d'un exercice dans le but d'intégrer de nouvelles interactions en fonction des dix points de départ de l'apprenant. Cependant, la principale difficulté de ce processus réside dans l'association de chaque nouvel événement à un ensemble de compétences à suivre. Enfin, la centralisation dans le journal des événements (dans la couche SEF) permet d'enrichir la fiche d'animation (dans la couche DSA).

Comme le montre la figure 2.3, une chronologie récapitulative (1) vise à visualiser les événements passés et à venir. De nouveaux événements peuvent également être ajoutés et peuvent être liés à un ensemble d'agents dans Asymut (commandes de création/destruction, activation du comportement et modifications des paramètres). Les agents géoréférencés (y compris les archétypes) sont automatiquement localisés sur une carte (2) afin d'aider les formateurs à comprendre l'état actuel de la simulation de crise. Une base de données de documents est disponible (4) et vise à envoyer des informations par courrier électronique ou par fax. Les indicateurs (3) et les statistiques (5) sont calculés en temps réel et alimentent l'étape de débriefing. La capture d'écran (6) montre le gestionnaire de scénarios, qui donne un aperçu de l'architecture distribuée à plusieurs niveaux. La combinaison d'un outil de

surveillance avec Asymut contribue à faciliter la gestion de scénarios complexes. Une couche logicielle comprenant un serveur de simulation virtuelle 3D aide à plonger les apprenants dans un scénario proche de la réalité. Chacun de ces composants est associé à des interfaces homme-machine fournissant un accès aux fonctionnalités clés nécessaires à un exercice de session de formation (ajout d'événements majeurs, réglage de la vitesse de simulation).

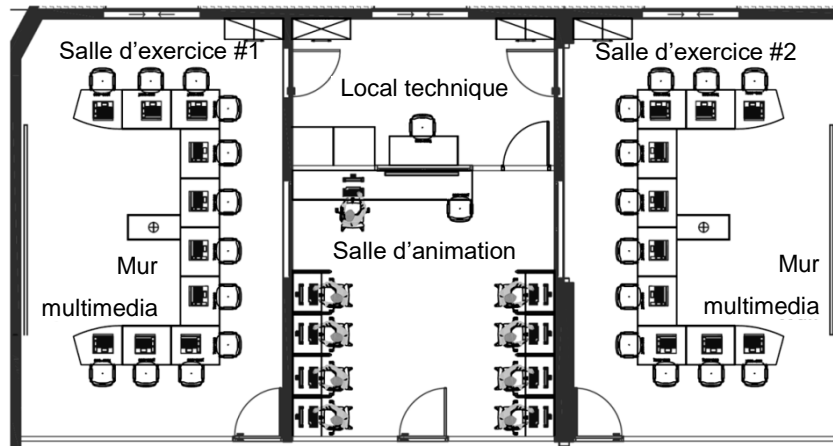


**Figure 2.3. Suite logicielle SimulCrisse, suite et focus sur le gestionnaire de scénario**

### *2.3.6. Vers un jeu sérieux dans une infrastructure réelle de formation à la gestion de crise*

Cette recherche a été réalisée dans le cadre d'un nouvel Institut des sciences des risques (IMT Mines Alès) dans le but d'inclure un simulateur de gestion de crise pour la formation des décideurs. Nos recommandations méthodologiques ont été appliquées afin de créer un environnement semi-virtuel de formation à la gestion de crise.

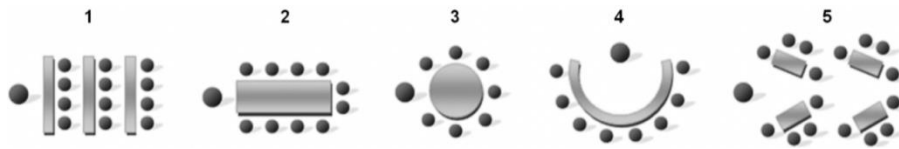
Quatre salles adjacentes ont été aménagées de manière à pouvoir animer deux exercices simultanément (voir figure 2.4). La salle d'animation permet la supervision globale et non intrusive de deux groupes d'apprenants au moyen d'un miroir sans tain. Enfin, une salle technique comprend tous les éléments nécessaires à une session de formation (logiciels, matériel multimédia, serveurs de simulation).



**Figure 2.4. Infrastructure physique**

L'étape clé du débriefing nous a conduit à envisager une approche organisationnelle particulière pour encourager les apprenants à partager les mêmes modèles mentaux. Pour favoriser la discussion réflexive individuelle et collective, nous proposons de faire gérer le même scénario de crise par deux unités de crise différentes en même temps. Au cours de la phase de débriefing, le partage de stratégies choisies séparément par les deux groupes a pour but de favoriser l'apprentissage auprès de pairs et pas uniquement fondé sur un retour des formateurs.

Comme le montre la figure 2.5, cinq configurations types d'apprenants peuvent être pertinentes pour la formation (Noyé *et al.* 2015). La disposition de la salle de classe (1) favorise la communication à sens unique et la passivité. Cela ralentit et fragmente l'échange d'informations perceptibles entre les apprenants. La disposition des salles de réunion (2) favorise la discussion, mais la proximité d'apprenants ayant des niveaux de compétences différents limite les conditions de coopération. La disposition en table ronde (3) permet un contact face à face, mais une personne est généralement le centre de l'attention. La disposition en demi-cercle (4) attire l'attention sur un point d'intérêt, tout en facilitant la communication au sein du groupe. La disposition des groupes de travail (5) crée des groupes de réflexion ou de travail sans avoir à se déplacer. Cette disposition encourage de nouvelles idées d'action lorsqu'il y a beaucoup d'apprenants. La nécessité de faciliter la communication entre les groupes, la participation à la prise de décision et l'accès égal aux informations disponibles nous a amenés à choisir une disposition semi-circulaire pour les apprenants (4<sup>e</sup> disposition de la figure 2.5).



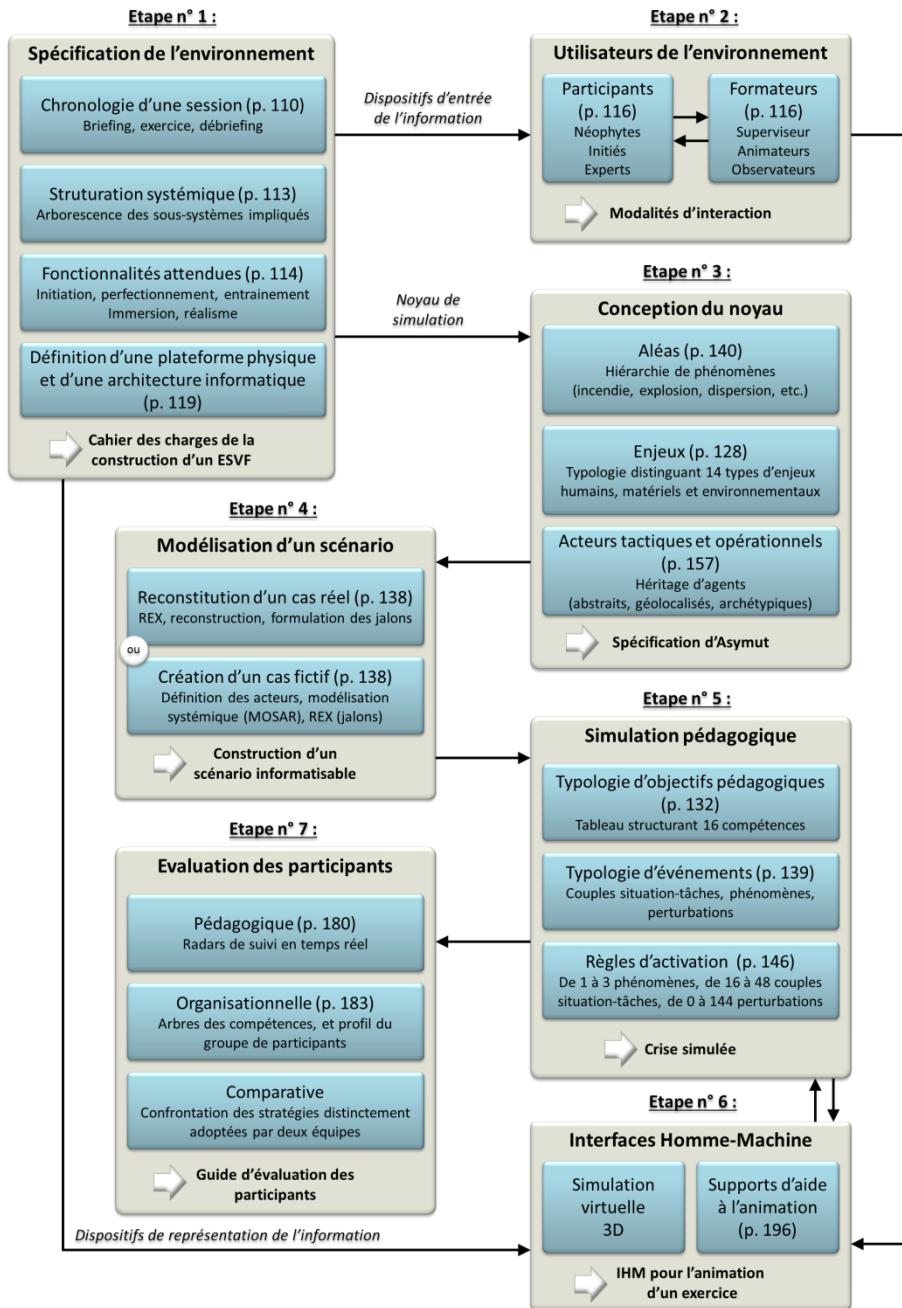
**Figure 2.5. Configurations types d'apprenants**

En outre, cinq ensembles de dispositifs sont proposés afin d'immerger les apprenants dans un contexte réaliste. Les dispositifs d'immersion globale (1) consistent en des volets occultants créant des pièces confinées en vue d'éliminer tous les facteurs externes (heure de la journée, saison, météo réelle) susceptibles d'interférer avec le scénario de crise simulé. Les dispositifs d'immersion visuelle (2) comprennent un mur multimédia avec des panneaux tactiles. Ces appareils ont pour objectif d'afficher en temps réel les informations nécessaires dans un espace de travail collaboratif et personnalisable. Des dispositifs d'immersion sonores (3) sont nécessaires pour transposer certains événements de crise en éléments perceptibles (informations des médias, pluie, bruitages tels que des sons d'explosion, etc.). Les dispositifs d'immersion participatifs (4) ont pour objectif de reconstruire une cellule de crise tout en garantissant une gestion non intrusive des formateurs. Nous suggérons l'utilisation de miroirs sans tain entre la salle des animateurs et les deux salles d'exercices afin que les animateurs puissent voir de façon non intrusive. Nous proposons également de déployer des caméras de surveillance et des systèmes de retour audio afin de suivre plus facilement les interactions orales entre apprenants. Les dispositifs d'immersion kinesthésique (5) incluent principalement des équipements de gestion thermique dans les salles des apprenants. Le but est de dégrader les conditions de gestion de crise (pannes de chauffage ou de climatisation) et de simuler un contexte correspondant à chaque scénario. Il convient de noter qu'une partie de ces dispositifs doit être anticipée avant la construction d'un nouvel environnement de formation. Enfin, les apprenants doivent interagir avec les formateurs grâce aux dispositifs de communication couramment utilisés lors de la gestion de crise réelle (téléphones, fax et emails).

Ce simulateur de crise peut donc être utilisé comme plateforme de formation et cadre expérimental pour calibrer, tester et valider de nouvelles approches et de nouveaux outils.

## 2.4. Discussion

Nous avons proposé une méthodologie de conception qui implémente sept étapes afin de modéliser un environnement semi-virtuel de formation reliant les dix DOT dans le domaine de la gestion de crise (figure 2.6). L'étape 1 concerne la spécification de l'environnement et intègre la chronologie de la formation, la structuration des sous-systèmes impliqués et les fonctionnalités attendues (quels sont les dispositifs d'immersion et les logiciels impliqués ? Combien de personnes sont nécessaires pour la formation ? etc.). Ensuite, une infrastructure physique et une architecture informatique ont été définies. L'étape 2 comprend la spécification des utilisateurs (apprenants et formateurs) et les modalités d'interaction (téléphones ? courriels ? fax ?). L'étape 3 concerne la conception du noyau de simulation (sous la forme d'une hiérarchie de phénomènes dangereux), des enjeux sensibles (typologie d'enjeux humains, matériels et environnementaux potentiels) et des acteurs tactiques et opérationnels à simuler également. Les étapes 4 et 5 mettent l'accent sur la création et la simulation d'un scénario de crise. Ces étapes intègrent les objectifs pédagogiques et impliquent la spécification de règles d'activation pour les événements du scénario. L'étape 6 implique la conception d'interfaces homme-machine afin d'aider les formateurs à modérer les exercices. Enfin, l'étape 7 rassemble toutes les techniques et outils nécessaires au débriefing. Notons que l'étape 3 se présente sous la forme d'un système multi-agent (SMA).



**Figure 2.6. Modèle proposé et références associées d'après la thèse de (Tena-Chollet 2012)**

Le simulateur proposé permet de connecter les dix DOT retenus à toutes les composantes du système proposé (apprenants, compétences attendues, objectifs pédagogiques, étape de compte rendu, etc.).

Il existe cependant plusieurs limitations de notre architecture multitiers distribuée. Le premier provient du composant de simulation virtuelle 3D, car l'utilisation de ce type d'interface logicielle peut entraîner des différences entre les utilisations prévues et les résultats obtenus. Cette contrainte provient des différences entre les modèles cognitifs des concepteurs et des utilisateurs et entre les apprenants et les formateurs.

Du point de vue de la modélisation, deux principales difficultés ont été identifiées pour l'utilisation de MOSAR. Le premier concerne l'affichage de tous les changements possibles dans la simulation, qui sont difficiles à interpréter en raison d'un grand nombre d'événements liant tous les sous-systèmes d'un scénario de crise. Cette méthode prend en compte tous les chemins de scénario du point de vue de l'aléa et il serait intéressant de prendre davantage en compte les séquences d'actions. La seconde est due à l'impossibilité physique de fournir à la fois une vue d'ensemble de tous les sous-systèmes (pour anticiper les prochains événements) et une vue locale (pour fournir une lisibilité claire et précise). Il convient de noter que MOSAR remplit pleinement les fonctions de modélisation d'un système à simuler, mais ne semble pas être approprié lorsque différents niveaux de visualisation dynamique sont simultanément requis.

Du point de vue du concepteur de scénario, il serait plus facile de concevoir un scénario si des données sur les enjeux, les dangers, les moyens humains et matériels et l'organisation des secours sont disponibles et organisées dans des bases de données, par exemple. Une telle gestion des données pourrait faciliter la saisie de données harmonisées dans le système. Il serait nécessaire de déterminer quelles données d'entrée sont nécessaires et comment elles doivent être fournies au système.

## **2.5. Conclusion**

Dans une cellule de crise, les décideurs doivent mobiliser diverses compétences techniques et non techniques grâce au travail en équipe. Cependant, nous avons souligné que le besoin d'expérience impliquait une formation régulière des parties prenantes impliquées. Notre recherche se situe à la confluence des difficultés

pédagogiques et technologiques généralement rencontrées. Le recours à des exercices fonctionnels peut renforcer l'importance de la prise de décision au sein d'un groupe fermé d'adultes. La base de cette approche de formation est la simulation des événements pouvant se produire afin de sensibiliser les apprenants aux concepts clés mis en jeu. Au cours d'un exercice, les apprenants doivent faire face à des dilemmes nécessitant une prise de décision naturaliste et être ainsi en mesure de partager plus facilement des modèles mentaux existants ou nouveaux. Nous recommandons également d'intégrer la dimension d'urgence en utilisant une approche de type CTT. Il est ainsi possible de sensibiliser les apprenants à l'optimisation du rapport temps de réaction par rapport à la quantité d'informations disponibles.

Une typologie des objectifs pédagogiques a été identifiée, avec six compétences générales, cinq ensembles de tâches intermédiaires et seize groupes d'actions attendues. Toutes ces formes de comportement attendues correspondent à notre concept de DOT (*Degrees Of Training*) et doivent être connectées et stimulées par des événements dans un scénario de crise.

Nous avons proposé une nouvelle approche en matière de formation à la gestion de crise et suggéré un ensemble de spécifications afin de concevoir un environnement semi-virtuel. Les jeux sérieux sur cette thématique doivent définir des modèles, des scénarios, des événements inattendus, des processus chronométrés, des jeux de rôle, des procédures, des décisions, des conséquences, des indicateurs, des symboles et une infrastructure spécifique. Notre simulateur ne correspond donc pas pleinement au concept de jeu sérieux car les critères formels des caractéristiques de jeu attendues ne sont pas encore définies. Ces critères constituent le principal moyen d'amélioration de notre approche méthodologique.

Du point de vue pédagogique et technique, les scénarios associés à des simulations virtuelles semblent être un bon moyen de simuler et de représenter une situation réelle ou fictive. Cette approche implique un noyau de simulation pour lequel nous proposons un système multi-agent. Nos recommandations méthodologiques ont été appliquées afin de définir un véritable environnement semi-virtuel de formation intégrant cinq dispositifs d'immersion, deux salles de formation, une suite logicielle nommée SimulCrise et un système multi-agent dédié appelé Asymut. Depuis 2011, notre approche expérimentale a été validée par une cinquantaine d'exercices de formation, avec des acteurs institutionnels, des industriels et des étudiants.

Enfin, il convient de noter qu'une méthodologie de débriefing spécifique est nécessaire pour évaluer les apprenants, les performances des gestionnaires de crise,

les profils des apprenants et les compétences impliquées lors de chaque exercice. Ces points seront développés par de futurs travaux dans le cadre de notre environnement semi-virtuel de formation à la gestion de crise, puis analysés et commentés.

## 2.6. Bibliographie

- Buche, C., Querrec, R., De Loor, P., and Chevaillier, P. (2007). MASCARET: A pedagogical multi-agent system for virtual environment for training. In *Online and Distance Learning: Concepts, Methodologies, Tools and Applications 2*, IGI Global, pp. 1137–1156.
- Burkhardt, J.-M. (2003). Réalité virtuelle et ergonomie : quelques apports réciproques. *Trav. Hum.*, 66(1), 65–91. doi:10.3917/th.661.0065.
- Connolly, T.M., Boyle, E.A., MacArthur, E., Hainey, T., and Boyle, J.M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Comput. Educ.*, 59, 661–686. doi:https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.004.
- Crichton, M.T. (2009). Improving team effectiveness using tactical decision games. *Saf. Sci.*, 47, 330–336. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2008.07.036.
- Endsley, M.R. (2001). Designing for situation awareness in complex systems. In *Proceedings of the Second International Workshop on Symbiosis of Humans, Artifacts and Environment*, Kyoto, Japan.
- Ertmer, P.A. and Newby, T.J. (2013). Behaviorism, cognitivism, constructivism: Comparing critical features from an instructional design perspective. *Perform. Improv. Q.*, 26, 43–71. doi:10.1002/piq.
- Guéraud, V. (2005). Approche auteur pour les Situations Actives d'Apprentissage : Scénarios, Suivi et Ingénierie. HDR Thesis, University of Grenoble.
- Joab, M., Gueraud, V., and Auzende, O. (2005). Les Simulations pour la Formation. In *Environnements Informatiques et Apprentissages Humains*, Grandbastien, M. and Macas, L.J. (eds). Hermès-Lavoisier.
- Kebritchi, M. and Hirumi, A. (2008). Examining the pedagogical foundations of modern educational computer games. *Comput. Educ.*, 51, 1729–1743. doi:10.1016/j.compedu.2008.05.004.

- Labat, J.-M., Pernin, J.-P., and Guéraud, V. (2006). Contrôle de l'activité de l'apprenant: suivi, guidage pédagogique et scénarios d'apprentissage. In *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Collection IC2*, Grandbastien, M., Labat, J.-M. (eds). Hermès-Lavoisier, 69–96.
- Lagadec, P. (2012). *Du risque majeur aux mégachocs*. Préventique, Bordeaux.
- Le Bas, C. (1993). La firme et la nature de l'apprentissage. *Economies et Sociétés*, 27(5), 7–23.
- Lourdeaux, D. (2001). Réalité virtuelle et formation : conception d'environnements virtuels pédagogiques. PhD Thesis, École Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- Mawdesley, M., Long, G., Al-jibouri, S., and Scott, D. (2011). The enhancement of simulation based learning exercises through formalised reflection, focus groups and group presentation. *Comput. Educ.*, 56, 44–52. doi:10.1016/j.compedu.2010.05.005.
- Mellet D'Huart, D. (2001). La réalité virtuelle: un média pour apprendre. In *Cinquième colloque Hypermédias et apprentissages*, De Vries E., Pernin J.P., Peyrin J.-P. (eds). EPI; INRP, Grenoble, France.
- Mendonça, D., Beroggi, G.E.G., van Gent, D., and Wallace, W.A. (2006). Designing gaming simulations for the assessment of group decision support systems in emergency response. *Saf. Sci.*, 44, 523–535. doi:10.1016/j.ssci.2005.12.006
- Morin, M., Jenvald, J., Crissey, M.J., and Systemteknik, V. (2004). Using simulation, modeling and visualization to prepare first responders for homeland defense. In *Proceedings of the Second Swedish-American Workshop on Modeling and Simulation, (SAWMAS-2004)*, 32–39. doi:10.1.1.524.7723.
- Noyé, D. and Jacques, P. (2015). *Le guide pratique du formateur: concevoir, animer, évaluer une formation*. Eyrolles.
- Pasin, F. and Giroux, H. (2011). The impact of a simulation game on operations management education. *Comput. Educ.*, 57, 1240–1254. doi:https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.12.006.
- Périlhon, P. (2007). *La gestion des risques – Méthode MADS-MOSAR II : manuel de mise en oeuvre : application aux installations et plus particulièrement aux installations industrielles*. Les Editions Demos, Paris.
- Pernin, J.-P. (1996). M.A.R.S. : un modèle opérationnel de conception de simulations pédagogiques. PhD Thesis, Joseph-Fourier University, Grenoble.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, SMC-13, 257–266. doi:10.1109/TSMC.1983.6313160.

- Si, M., Marsella, S., Pynadath, D.V. (2005). Thespian: Using multi-agent fitting to craft interactive drama. *Proc. of Fourth Intl. Joint Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, ACM, 21–28.
- Smith, W. and Dowell, J. (2000). A case study of co-ordinative decision-making in disaster management. *Ergonomics*, 43, 1153–1166. doi:10.1080/00140130050084923.
- Snizek, J.A., Wilkins, D.C., and Wadlington, P.L. (2001). Advanced training for crisis decision making: simulation, critiquing, and immersive interfaces. *Hawaii International Conference on System Sciences*, 3, 3042. doi:10.1109/HICSS.2001.926337.
- Sun, P.-C., Tsai, R.J., Finger, G., Chen, Y.-Y., and Yeh, D. (2008). What drives a successful e-Learning? An empirical investigation of the critical factors influencing learner satisfaction. *Comput. Educ.*, 50, 1183–1202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.11.007>.
- Tahir, O., Andonoff, E., Hanachi, C., Sibertin-Blanc, C., Benaben, F., Chapurlat, V., and Lambolais, T. (2008). A collaborative information system architecture for process-based crisis management. In *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*, Lovrek, I., Howlett, R.J., and Jain, L.C. (eds). Springer, Berlin.
- Tena-Chollet, F. (2012). Elaboration d'un environnement semi-virtuel de formation à la gestion stratégique de crise, basé sur la simulation multi-agent. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.
- Tena-Chollet, F., Fréalle, N., Bony-Dandrieux, A., and Tixier J. (2016a). Design of a semi-virtual training environment (serious game) for decision-makers facing up a major crisis. *Chemical Engineering Transactions*, 48, 853–858. doi: 10.3303/CET1648143.
- Tena-Chollet, F., Tixier, J., Dandrieux, A., and Slangen, P. (2016b). Training decision-makers: Existing strategies for natural and technological crisis management and specifications of an improved simulation-based tool. *Safety Science*, 97, 144–153. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.025>.
- Werhane, P.H., Hartman, L.P., Moberg, D., Englehardt, E., Pritchard, M., and Parmar, B. (2011). Social constructivism, mental models, and problems of obedience. *J. Bus. Ethics*, 100, 103–118. doi:10.1007/s10551-011-0767-3.
- Wooldridge, M. and Jennings, N.R. (1995). Intelligent agents: Theory and practice. *Knowl. Eng. Rev.*, 10, 115–152. doi:10.1017/S0269888900008122.