Formation à la gestion de crise : une contribution à la formation à la prise de décisions stratégiques

Antonin Hamon, Florian Tena-Chollet, Aurélia Bony-Dandrieux, Vincent Chapurlat

▶ **To cite this version:**

Antonin Hamon, Florian Tena-Chollet, Aurélia Bony-Dandrieux, Vincent Chapurlat. Formation à la gestion de crise : une contribution à la formation à la prise de décisions stratégiques. Congrès $\lambda\mu$ [Lambda Mu] 22 " Les risques au cœur des transitions " (e-congrès) - 22e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Institut pour la Maîtrise des Risques, Oct 2020, Le Havre (e-congrès), France. hal-03453633

HAL Id: hal-03453633
https://hal.science/hal-03453633

Submitted on 28 Nov 2021

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.

Institut pour la Maîtrise des Risques
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindyniques

Formation à la gestion de crise : une contribution à la formation à la prise de décisions stratégiques
Crisis management training: contribution to strategic decision-making training

Antonin HAMON
Laboratoire des Sciences des Risques (LSR)
IMT Mines Ales
Ales, France
antonin.hamon@mines-ales.fr

Florian TENA-CHOLLET
Laboratoire des Sciences des Risques (LSR)
IMT Mines Ales
Ales, France
florian.tena-chollet@mines-ales.fr

Aurélia BONY-DANDRIEUX
Laboratoire des Sciences des Risques (LSR)
IMT Mines Ales
Ales, France
aurelia.bony-dandrieux@mines-ales.fr

Vincent CHAPURLAT
Laboratoire des Sciences des Risques (LSR)
IMT Mines Ales
Ales, France
vincent.chapurlat@mines-ales.fr

Cet article traite de la formation à la gestion de crise. Il propose un moyen d'intégrer la possibilité de rejouer en s'appuyant sur un modèle système de la crise. Les objectifs sont d'améliorer l'évaluation des conséquences et la prise de décision stratégique des apprenants.

This article deals with crisis management training. It suggests how to integrate the ability to replay based on a system model of the crisis. The objective is to improve the assessment of the consequences and the strategic decision-making of the trainees.

Gestion de crise, modélisation système, rejeu, décision stratégique formation, évaluation des conséquences

I. INTRODUCTION

Nos sociétés sont amenées à affronter et à gérer des crises de nature, d'intensité et de soudaineté diverses. Pour y répondre, les acteurs impliqués dans la gestion de crise doivent prendre des décisions à la fois stratégiques, tactiques et opérationnelles. A cette fin, les décideurs doivent composer avec plusieurs facteurs de complexité. En particulier, chaque décision dite stratégique est prise en tenant compte d'un nombre important de contraintes : territoriales, humaines, de gestion des ressources, de temps ou de communication, qui se surajoutent aux facteurs de complexité propres de la crise tels que son intensité, sa soudaineté ou sa rareté. Les décideurs, surtout s'ils sont inexpérimentés ou peu préparés, doivent donc être formés à cette prise de décision en univers complexe [1].

Les exercices de formation à la gestion de crise, notamment ceux dits « fonctionnels », visent à solliciter les apprenants pour qu'ils améliorent leurs capacités d'anticipation, leurs aptitudes à exploiter les informations ou encore à gérer la pression médiatique. En particulier, ils permettent de les entrainer aux compétences non techniques tels que le partage et la hiérarchisation d'informations ou encore la prise de décision [2].

Pour cela, ces exercices s'appuient généralement sur une simulation d'une situation de crise basée sur un scénario. Les compétences spécifiques à mettre en œuvre par une cellule de crise sont sollicitées au moyen de stimuli prévus dans le scénario et envoyés au moment adéquat aux apprenants par les animateurs de la séquence de formation. Les apprenants organisés en cellule de crise doivent alors identifier les actions et les moyens à déployer pour limiter les impacts des évènements non souhaités se produisant au fil de la crise. Ils doivent aussi se mobiliser sur d'autres actions telles que communiquer auprès de la population ou avec les autorités compétences etc. La progression de la simulation est cependant souvent linéaire. Elle suit des scénarios prévus en amont et relativement statiques. Le réalisme du rendu du déroulement de la crise et des retours de ses effets reste encore limités au regard de l'enjeu de ce type de formation.

L'étude présentée dans cet article essaie donc de contribuer à l'amélioration de la formation à la prise de décisions stratégiques en gestion de crise. Cet article définit d'abord la notion de décision stratégique et identifie certains mécanismes qui sont alors à développer pour construire une formation efficace. Il introduit pour cela la notion de rejeu comme moyen de mieux évaluer les conséquences de décisions et met alors en avant plusieurs besoins de modélisation et de simulation qui en découlent. La démarche est illustrée pas à pas sur un exemple issu du retour d'expérience avant de conclure et de présenter les perspectives de cette étude.

II. LE CONCEPT DE DECISION STRATEGIQUE EN GESTION DE CRISE

Ces travaux partent du principe que la prise de décision stratégique est au centre de l'apprentissage de la gestion de crise. Dans la mesure où un apprentissage centré sur un concept mal défini est problématique, il est important de s'attacher dans un premier temps à caractériser la notion de prise de décision stratégique dans une organisation en crise. Le domaine de la gestion des entreprises définit trois niveaux de décisions : administratif, opérationnel et stratégique, en

fonction de leurs objectifs [3]. Les décisions stratégiques portent sur la répartition et l'utilisation des ressources de l'organisation. Johnson et al. définissent la stratégie comme "the direction and scope of an organisation over the long term, which achieves advantage in a changing environment through its configuration of resources and competences with the aim of fulfilling stakeholder expectations" [4]. Aux notions d'objectifs à long terme et de gestion des ressources, les auteurs ajoutent celles de complexité et d'incertitude liées à la multiplicité des acteurs et à l'évolution de l'environnement. Il explique que le niveau stratégique de décision dépend des niveaux opérationnel et tactique pour accomplir ses objectifs. La planification stratégique suit quatre phases : "strategic analysis" pour accumuler des informations, "strategic direction and choice" pour choisir la direction générale et les procédures de résolutions des problèmes, "strategy implementation and control" pour appliquer la stratégie, "strategic evaluation and feedback" pour adapter la stratégie à l'évolution de l'environnement [5]. La planification occupe une place importante dans le processus de prise de décision stratégique [6]. La pratique de l'évaluation prédictive des conséquences dans la prise de décision stratégique est essentielle pour réduire les risques d'erreurs [7]. En synthèse, la décision stratégique est définie comme une décision planifiée et testée selon un processus contrôlé, qui organise les ressources nécessaires à l'accomplissement d'objectifs globaux et qui par ailleurs engage l'organisation sur le long terme.

Une décision stratégique est donc une décision qui définit les objectifs de l'organisation, qui attribue des ressources à leur réalisation, contrôle la bonne atteinte de ces objectifs ou réévalue leur priorité. Une telle décision engage l'organisation à long terme ou par des conséquences importantes pour elle-même ou son écosystème.

L'approche utilisée en gestion des entreprises peut être transposée aux organisations en crise [8]. La planification stratégique intervient avant la crise par le développement de plans d'urgence et la préparation à ce qui pourrait arriver. Au début de la crise, la planification stratégique définit les objectifs à atteindre et les ressources à attribuer pour y parvenir. Tout au long de la crise, les objectifs sont remis en question et évoluent vers la gestion long terme de la crise et un retour en situation acceptable de l'organisation.

La littérature ne définit pas une liste d'objectifs généraux qu'une cellule de crise doit atteindre. Dans le cadre de cette étude, nous proposons la typologie d'objectifs suivants, exprimés à un niveau d'abstraction permettant ensuite de les décliner en fonction des crises et des organisations concernées :

- Mettre en sécurité les enjeux humains sous la responsabilité de l'organisation gestionnaire,
- Sauvegarder les infrastructures (notamment celles identifiées comme critiques ou vitales),
- Limiter les impacts écologiques négatifs (à court, moyen et/ou long terme),
- Réduire les coûts pour l'organisation (à court, moyen et/ou long terme),
- Réduire l'impact négatif de la crise sur l'image médiatique de l'organisation (voire renforcer cette image),
- Revenir au plus vite à un fonctionnement jugé acceptable par l'organisation (reprise de l'activité économique, reprise des activités pré-crise, préparation de l'après crise…).

Ainsi, il est possible de catégoriser les décisions stratégiques en fonction des objectifs auxquels elles participent : une décision d'annoncer un confinement s'inscrit par exemple dans la mise en sécurité des populations. Une décision de déployer des agents pour éteindre un incendie relève quant à elle à la fois de l'objectif de mettre en sécurité la population (par effet indirect), mais aussi de sauvegarder des infrastructures ou encore de réduire les coûts et aussi de favoriser le retour à un fonctionnement acceptable.

De plus, sans s'attarder sur les nombreux mécanismes intervenant dans le processus de prise de décision en situation de crise (exploitations des connaissances tacites et explicites, influence des émotions, influence des pairs…), il faut noter l'importance de la connaissance (et donc de leur évaluation) des conséquences possibles des différentes décisions que le décideur peut être amené à prendre [9]. C'est donc sur l'évaluation des conséquences des différentes options de décisions auxquelles peut être soumis le décideur que se concentre la suite de cette étude et *in fine* sur l'évaluation de l'atteinte des objectifs cités ci-avant.

III. L'EVALUATION DES CONSEQUENCES AU CENTRE DE L'APPRENTISSAGE

Dans le cadre d'une formation à la gestion de crise, plusieurs critères favorisent l'apprentissage.

Ainsi, la crédibilité du scénario joue une part importante dans l'immersion des apprenants, laquelle est directement corrélée au potentiel d'apprentissage [10]. En pratique, il est par exemple important que lorsque la cellule de crise prend une décision, le scénario évolue en adéquation avec cette décision et par la suite que les animateurs fassent un retour à travers les stimuli du scénario aux apprenants sur les conséquences de cette décision. Une évaluation pertinente des conséquences des décisions et son intégration dans le scénario (interactivité du scénario) est donc fondamentale.

De plus, l'étape de débriefing est considérée comme un vecteur d'apprentissage privilégié [11]. Il peut être alimenté par la mesure des écarts entre les objectifs visés et les conséquences obtenues. Chaque erreur ou écart, et notamment les plus conséquents, peuvent faire l'objet d'une analyse permettant aux apprenants de progresser [12]. Certains formateurs ont le rôle particulier d'observateur auprès des apprenants. Les observateurs souvent situés dans la salle de crise sont chargés d'identifier comment les compétences techniques et non techniques sont mobilisée afin d'alimenter la phase débriefing. Un débriefing dit « à chaud » intervient généralement immédiatement après la séquence d'exercice. La connaissance des conséquences des décisions prises est alors centrale pour alimenter la discussion et réflexion sur le chemin ayant conduit à telle ou telle prise de décision.

Ainsi, l'évaluation des conséquences des décisions permet de mieux maîtriser le processus de prise de décision stratégique.

Chaque décision devenant un potentiel de progression, il nous apparait pertinent de multiplier les situations sollicitant une prise de décision stratégique. Nous proposons de travailler sur le principe de répétition des situations nécessitant une prise de décision et sur la possibilité de revenir dessus afin d'améliorer la formation à la gestion de crise d'un point de vue pédagogique.

IV. LA REPETITION COMME MOYEN D'ENTRAINEMENT

Dans un contexte d'apprentissage, la répétition est un vecteur connu et fréquemment utilisé. David Kolb définit l'apprentissage par "the process whereby knowledge is created through the transformation of experience." [13]. Il décrit ainsi l'apprentissage comme un processus de transformation de l'expérience en connaissance. Il complète son modèle d'apprentissage en ajoutant la notion d'approfondissement par l'itération. Selon Kolb, l'apprentissage par l'expérience nécessite pour être effectif un cycle en plusieurs temps : une expérience concrète alimente observations et réflexions. Ces dernières sont assimilées pour devenir des concepts à tester lors de nouvelles expériences. Ainsi, la répétition par l'alternance d'expériences et de réflexions permet d'apprendre de ces expériences [14]. Dans le cadre de l'apprentissage par simulation, un lien fort apparait entre nombre de pratiques et qualité de l'apprentissage [15]. La répétition permet de renforcer l'apprentissage par la multiplication des situations d'apprentissage, et demande un temps d'assimilation entre deux expériences.

La répétition semble aussi être un moyen de capitaliser sur ses erreurs. L'erreur est définie comme une décision qui dévie de la norme [16]. Réaliser et analyser des erreurs lors d'une formation est alors une source d'informations et de connaissance sur les mécanismes qui ont conduit à la décision et sur ses conséquences [17]. Dans le domaine de la gestion des risques, l'analyse des erreurs est déjà reconnue comme une source d'amélioration des organisations par l'identification de leurs causes [18].

Dans le cadre de la formation, la simulation est intéressante dans la mesure où elle autorise la prise de risques et l'expérimentation de décisions nouvelles. En effet, le cadre d'un exercice permet de limiter les conséquences des erreurs à la simulation. Ainsi les erreurs peuvent être exploitées par les apprenants pour arriver à leurs propres conclusions [19]. La répétition permet alors de multiplier les essais dans un environnement simulé où l'erreur est source de réflexion et non de stress ou de conséquences dans le monde réel. La répétition apparait finalement comme un moyen de consolider l'apprentissage par l'analyse des erreurs et de leurs origines et par l'expérimentation de nouvelles décisions. La simulation devient un terrain favorable pour l'expérimentation, la répétition, l'erreur et donc l'apprentissage.

Le concept de répétition renvoi à la reproduction à l'identique d'une tâche donnée alors que la formation à la gestion de crise s'appuie sur le travail d'un enchainement complexe de décisions et sur l'impact de leurs conséquences successives sur un déroulé multifactoriel d'une situation. La répétition peut alors intervenir sous de multiples formes, avec des mises en œuvre pouvant être très différentes. Cela nous conduit à clarifier notre approche en introduisant un nouveau concept, le rejeu, qui s'inspire du principe de répétition.

Le rejeu est ici défini comme le fait de rejouer, c'est à dire de jouer à nouveau un exercice ou une séquence d'exercice de formation. Par extension, dans un processus donné, rejouer signifie recommencer une séquence spécifique voire l'ensemble du processus. On peut distinguer le temps du jeu (la première itération), de celui (ou ceux), du rejeu (le ou les itérations suivantes).

Le rejeu devient un outil pédagogique à la disposition du responsable de l'exercice lui permettant d'atteindre les objectifs pédagogiques de sa formation. Le rejeu est un moyen de multiplier le nombre de décisions stratégiques que la cellule de crise peut être amenée à prendre. Rejouer tout ou partie d'un exercice est une opportunité de tester de nouvelles stratégies et de mettre en œuvres différentes décisions pour en éprouver les conséquences. Finalement, le rejeu est un moyen de favoriser cet apprentissage par l'augmentation du nombre de prises de décision (répétition) et l'entrainement à l'anticipation des conséquences des décisions (apprentissage par l'erreur). L'utilisation du rejeu dépend des objectifs du formateur : il peut être utilisé pour faire émerger les mécanismes de prise de décision en situation complexe, affiner l'évaluation des conséquences en comparant les résultats de différents choix ou encore inciter les participants à trouver différentes solutions à un problème donné.

Pour mettre en place un rejeu qui prend en compte ces deux mécanismes d'apprentissage, il faut donc s'assurer que le rejeu soit un espace de prise de décision stratégique et que chacune de ces décisions ait des conséquences qui puissent être évaluées par les apprenants et les formateurs.

Un moyen d'entrainer les apprenants à anticiper et évaluer les conséquences de leurs décisions est de leur permettre de comparer les conséquences des choix possibles. Dans une situation de formation à la prise de décision sans rejeu, l'apprenant prend la décision qui lui parait avoir les meilleures conséquences puis peut comparer la réalité des conséquences de sa décision avec ses prévisions. Une situation de formation avec rejeu doit permettre cette comparaison en remettant l'apprenant dans la situation de prise de décision, avec la connaissance des conséquences de la décision qu'il a prise précédemment, tout en lui permettant d'explorer des choix alternatifs. Il peut alors comparer les conséquences des deux décisions, celle du jeu et celle du (ou des) rejeu(x).

Le rejeu crée une nouvelle dynamique d'apprentissage et peut faire l'objet de nombreuses adaptations (conserver le scénario joué ou modifier la trame scénaristique, permettre de jouer d'autres acteurs à chaque itération, être à l'initiative des apprenants ou des formateurs…). Mais afin de capitaliser au mieux sur les différentes expérimentations, chaque rejeu semble devoir faire l'objet d'un débriefing adapté et centré sur la prise de décision et des conséquences afférentes. Le rejeu doit donc s'appuyer sur une identification précise des décisions prises et sur une évaluation crédible de leurs conséquences.

Donner l'opportunité à l'apprenant d'explorer plusieurs alternatives possibles face à un problème posé implique :

- Soit de prévoir toutes les décisions que l'apprenant pourrait prendre ou bien de le contraindre à un nombre limité de choix possibles face à chaque situation engageant une prise de décision stratégique. Il s'agit donc d'identifier au préalable les conséquences de cet ensemble fini de décisions et de scénariser les scénarios souhaités comme le propose [20]
- Soit de s'adapter dynamiquement aux décisions prises par l'apprenant en temps réel et donc sans possibilité de pouvoir les anticiper. Ceci permet un environnement ouvert d'apprentissage. De fait, les exercices fonctionnels mettent précisément l'apprenant dans une situation de crise où ses choix doivent être nécessairement libres.

De plus, le rejeu appliqué à une formation nécessite aux formateurs d'être capables :

- De sauvegarder l'état courant de la situation de crise dès que nécessaire, voire tout au long de l'exercice pour

capturer les parties pertinentes de la dynamique de la crise pour les besoins de la formation.

- De revenir en arrière dans une situation donnée en remettant chacun des acteurs, des structures et des phénomènes à l'état dans lequel ils étaient à ce moment. Le but peut alors de revoir les décisions prises pour les affiner, les préciser ou d'en tester de nouvelles, avec un futur qui peut alors s'avérer différent.
- D'arrêter un exercice à un moment donné et de faire le point sur l'état de la situation et sur son évolution probable (« voilà ce qui se serait passé »).

Entre autres besoins d'ergonomie et de pilotage de l'exercice qui ne seront pas abordés ici, deux besoins essentiels sont donc à prendre en compte :

- Le besoin de représentation ou encore de modélisation 1) des organisations en présence (la cellule de crise mais aussi les organisations concernées, impactées ou impliquées par les prises de décision, et 2) du territoire sur lequel se déroule la crise. Cette représentation doit être d'un niveau de réalisme jugé suffisant et satisfaisant à la fois au regard des objectifs de la formation et de la complexité de la crise, des organisations et des éléments qui composent ce territoire. Ce niveau de réalisme est atteint en se basant sur l'expertise des créateurs du modèle et par l'amélioration continue de celui-ci après chaque expérimentation. En particulier, la modélisation doit rendre compte des interactions entre tous ces composants. Ces interactions permettent en effet de caractériser les relations d'influence entre les composants, qu'elles soient voulues et nécessaires (e.g. un rapport d'activité ou un ordre) ou non souhaitées, voire même néfastes (e.g. un incendie se propageant d'une forêt à un bâtiment). C'est donc au travers de ces relations que peuvent se propager les décisions et leurs effets (e.g. l'interprétation d'un ordre par un acteur présent sur le terrain, interprétation pouvant être sujette à ambiguïté et donc entrainant des effets éventuellement non désirables). Ces interactions peuvent donc être le siège de l'émergence de situations imprévues et peuvent donner une dynamique propre à la crise selon le principe systémique classique disant qu'un système (i.e. la crise dans son entier que nous appellerons Environnement de crise dans la suite) est plus que la simple somme de ses parties (i.e. les composants : organisations et enjeux parsemant le territoire).

  Pour pouvoir l'étudier, la modélisation d'une interaction fait donc apparaître a minima, les flux de données, de matière ou d'énergie qui transitent entre les composants (e.g. les données de l'ordre ou le gradient de chaleur pour les effets d'un incendie), mais aussi b) les liens par lesquels ces flux doivent alors transiter (e.g. des protocoles de communication ou l'air ambiant, de surcroit avec un vent fort) et c) les fonctions traduisant le comportement attendu des composants qui interagissent (e.g. recevoir et comprendre l'ordre). Pour répondre à ce premier besoin, l'approche système est donc mise en avant pour tenir compte à la fois de la complexité inhérente des crises, des organisations et des territoires sur lesquels elles se déroulent, sur des phénomènes d'interaction et donc d'émergence de comportements non nécessairement prévisibles, comme l'exige l'hypothèse d'ouverture et de prise en compte de l'autonomie des décideurs en cours de formation. Les principes systèmes promus par divers auteurs, comme [21] et [22], sont ici utilisés comme cela est fait, par exemple dans [23], pour favoriser la création de modèles de l'Environnement de crise selon une approche multi vues aujourd'hui éprouvée.

- Le besoin de simulation des formateurs pour arriver à mettre au point, à valider puis à exploiter à bon escient le modèle de l'Environnement de crise. La simulation est par définition basée sur des règles et des mécanismes d'exécution de modèles. Le besoin est donc ici un besoin de confiance dans la simulation du déroulement de la crise. Cette confiance est requise pour 1) permettre aux apprenants d'établir, de justifier puis de vérifier la portée de leurs décisions avec un niveau de détail et de réalisme jugé suffisant, et 2) permettre aux formateurs de caractériser les effets potentiels des décisions des apprenants en cours de formation, toujours avec un niveau de détail et de réalisme voulu. Le niveau de confiance se définit ici comme le produit de deux des indicateurs classiquement utilisés en phase de Vérification et de Validation dans le domaine de l'Ingénierie Système[24]. Il s'agit, d'une part, de la crédibilité du modèle et de son exécution (ici, le modèle est-il établi au bon niveau de détail et de réalisme ?), d'autre part, la plausibilité des faits et des connaissances qu'il apporte aux apprenants comme aux formateurs (ici, le modèle et sa simulation génèrent-ils des données, informations et connaissances qui sont utiles pour le rejeu et donc pour l'apprentissage).

  Les formateurs doivent ensuite pouvoir interagir avec la simulation pour animer et faire évoluer la situation de chacun des composants de l'Environnement de crise, qu'ils soient de nature humaine, technique, ou naturelle et environnementale et leurs interactions de toutes natures. En particulier, [25] soulignent l'importance de la justesse de la simulation des comportements des acteurs dans la formation à la gestion de crise. Ce besoin de simulation se décline enfin de manière plus technique en termes de temps de calcul des conséquences des décisions qu'elles soient directes ou indirectes. Ainsi, la simulation devient un moyen de simplifier et d'automatiser la mise en œuvre du rejeu.

V. COMMENT METTRE EN ŒUVRE L'APPROCHE SYSTEME POUR MODELISER UN ENVIRONNEMENT DE CRISE

A. Modélisation système de la formation

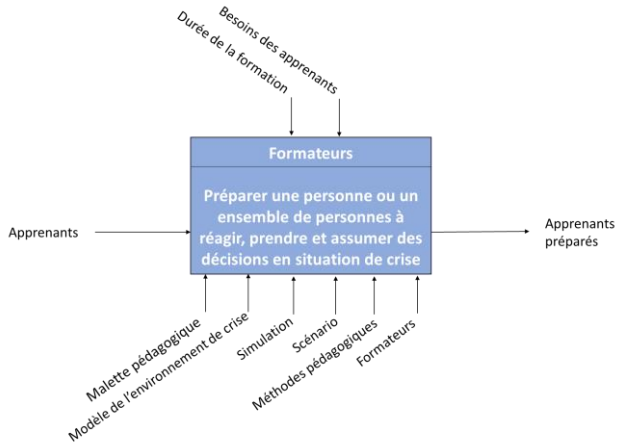

Fig. 1 : Processus de formation à la gestion de crise.

Avant de modéliser l'Environnement de crise qui fera l'objet de la formation, il est important de savoir dans quel cadre de formation ce modèle sera déployé. La formation peut elle-même être vue comme un système dont la fonction principale est : préparer une personne ou un ensemble de personnes à réagir, prendre et assumer des décisions en situation de crise. Comme le montre la figure 1, le modèle de l'environnement de crise et sa déclinaison en simulation font partie des ressources qui, dans notre problématique, pourront être sollicitées pour mobiliser le rejeu d'un scénario.

Pour mieux comprendre la place du modèle dans la simulation, il peut être utile de centrer l'attention sur les apprenants en situation d'apprentissage, lorsqu'ils endossent le rôle d'une cellule de crise. Les apprenants, ou acteurs à former, reçoivent des informations sous forme de comptes rendus de situation, de rapports terrain ou de sollicitations liées au scénario et transmettent des informations sous forme d'ordres, de consignes, de comptes rendus, de communiqués internes à l'organisation ou à destination de l'extérieur. Les apprenants sont contraints par des conventions d'exercice et disposent de ressources telles que leurs connaissances propres, les documents de formation, les outils de gestion de crise mis à leur disposition, etc.

Les formateurs font office d'interface entre la simulation qui prend en charge l'évolution de la crise et les apprenants qui prennent des décisions pour la gérer. Ce sont les formateurs qui, s'appuyant sur les informations renvoyées par la simulation, font avancer le déroulement de l'exercice de formation. Les formateurs ont donc la charge de préparer, en amont de l'exercice fonctionnel, le modèle qui répondra le mieux aux besoins des apprenants.

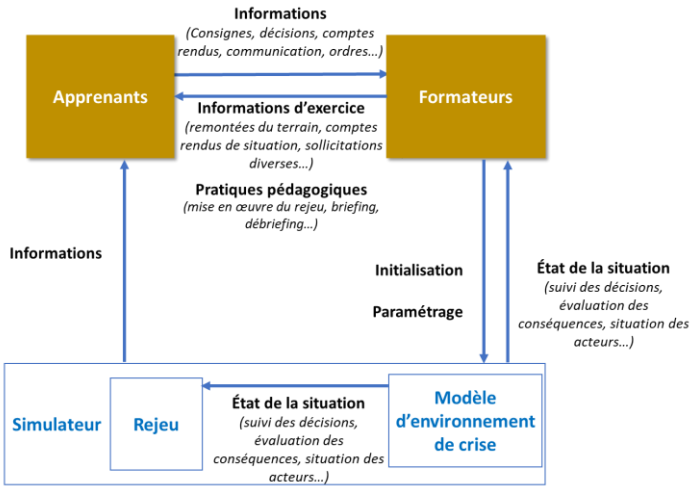

Fig. 2 : Diagramme contextuel de la formation à la gestion de crise.

Le modèle de l'environnement de crise peut ensuite être décrit en définissant 4 types de composantes. Nous considérons qu'il y a des acteurs et infrastructures qui sont soit : impactés (subissent les effets de la crise), impliqués (cherchent à gérer la crise) et/ou concernés (dépendent ou sont liés aux systèmes impliqués et impactés). Les systèmes intéressés par la crise (qui cherchent à avoir des informations sur celle-ci) sont à la périphérie de l'environnement de crise mais interagissent avec ses systèmes. À noter que les médias qui couvrent les crises sont considérés comme impliqués dans la mesure où leur transmission d'information participe pour partie au relais des consignes des décideurs et donc de la résolution de la crise.

Comme le montre la figure 2, le rejeu implique que les formateurs aient en temps réel (ou quasi temps réel) les informations sur le développement de l'environnement de crise. Pour cela, le rejeu peut s'appuyer sur les données envoyées par la simulation, lesquelles dépendent de la justesse du modèle, et ce dans le but de suivre et évaluer les choix des apprenants.

Les données nécessaires à chaque rejeu dépendent donc directement des conséquences des décisions stratégiques prises par les apprenants et des changements d'états et de comportement des systèmes qui composent l'environnement de crise.

La partie suivante illustre avec un exemple la démarche que nous proposons pour la création d'un modèle d'environnement de crise.

B. *Création d'un modèle d'environnement de crise illustré par l'application à un retour d'expérience*

Ce chapitre décrit comment construire un modèle qui réponde aux exigences de formation et notamment celles liées au rejeu. Un modèle complet ne saurait être décrit en quelques pages, cet article s'attache donc à présenter la démarche nécessaire pour sa construction et s'appuie sur une situation de crise réelle : les feux de forêts qui ont touché Aubagne et Carnoux-en-Provence les 19 et 20 août 2017. L'analyse du retour d'expérience met en évidence que l'incendie a démarré dans le quartier d'Orane au sud d'Aubagne par un vent de Nord-ouest de 40 km/h, et s'est propagé en direction du sud. Il est arrivé plusieurs heures après à Carnoux-en-Provence. Les apprenants jouent le rôle de la cellule de crise municipale de Carnoux-en-Provence.

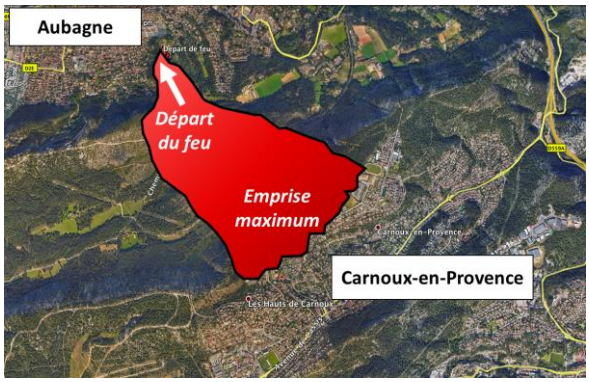

Fig. 3 : Scénario feu de forêt à Carnoux-en-Provence.

Le scénario retenu suit, dans les grandes lignes, les évènements qui ont eu lieu en 2017. Toutefois, afin de permettre à l'exercice de se dérouler sur une durée de quelques heures ou parce que les informations n'étaient pas disponibles, certains éléments ont été adaptés par rapport à la réalité des évènements. Ainsi, par exemple, la vitesse du vent a été portée à 80km/h de sorte que le feu se propage plus rapidement et atteigne les limites nord de Carnoux-en-Provence 1h30 après sa détection (cf. figure 3).

La cellule de crise (pour ce qui nous concerne, les apprenants) dispose d'agents communaux (police municipale, équipes terrain …) leur permettant de réaliser sur le terrain un certain nombre d'actions qu'ils ont décidées et qu'ils transmettent sous forme d'ordres. Les membres de la cellule de crise sont aussi amenés à coopérer avec différents services de secours (pompiers, SAMU, gendarmerie…), les communes voisines (Aubagne, Cassis, Roquefort-la-Bédoule) et à interagir avec les autorités compétentes (ils doivent rendre des comptes à la préfecture des Bouches du Rhône), les médias et la population... Leur mission première consiste à protéger les enjeux de la commune qui sont représentés sur la Figure 4 : environ 6500 habitants, deux écoles, une résidence de vacances (Odalys), une association d'aide aux personnes en situation de handicap (« Arc en ciel »), un EHPAD, une zone d'activités, une ligne haute tension et une ligne de chemin de fer. La commune est traversée par la route départementale 41, unique voie qui peut être utilisée pour l'évacuation de la commune.

Pour construire le modèle de l'Environnement de crise, nous cherchons à décrire l'ensemble des systèmes qui le composent d'un point de vue **organique** (organisation des systèmes), **contextuel** (échange de services), **fonctionnel** (processus de transformation) et **comportemental** (changements d'états).

La vue organique permet de modéliser l'ensemble des ressources et des parties prenantes (caractérisation, rôles, responsabilités, position dans la hiérarchie, fonctions / postes, implication dans les processus et le comportement, liens et interfaces que les systèmes partagent). Ainsi l'environnement de crise est composé de quatre systèmes différents dont les rôles sont définis comme suit :

- La cellule de crise pilotant la gestion de crise, à savoir les acteurs impliqués qui supervisent la gestion de crise, coordonnent et mettent en place les stratégies de sortie de crise,
- Les acteurs impliqués sur le terrain réalisant les processus de réduction des effets des phénomènes dangereux, de mise en sécurité des enjeux, etc.,

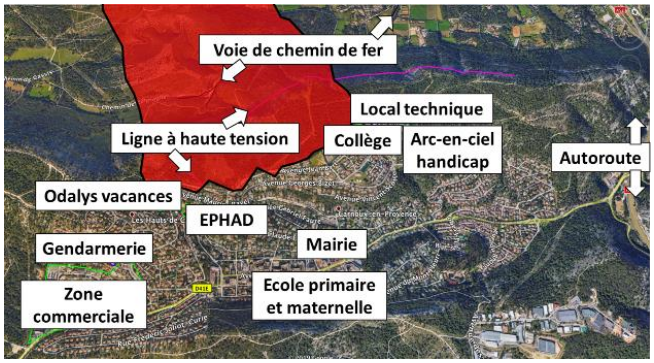

Fig. 4 : Principaux enjeux à Carnoux-en-Provence.

- Les enjeux impactés qui vont faire l'objet des processus de mise en sécurité (population impactée, infrastructures impactées, acteurs économiques impactés…),
- Les acteurs concernés qui vont être sources et/ou demandeurs d'informations (médias, experts, population non impactée…).

À noter qu'un environnement de crise est dynamique et suit l'évolution de celle-ci : des acteurs concernés à l'instant T peuvent devenir impactés à l'instant T+Δ et inversement.

En faisant un focus sur la cellule de crise, on peut observer sur la figure 5 qu'elle entretient des protocoles de communication avec l'ensemble des autres acteurs, notamment pour transmettre et recevoir des informations. Les protocoles de communications rassemblent l'ensemble des échanges d'informations qui ont lieu entre les systèmes que ce soit sous la forme de requête, de consigne, d'ordre, d'informations, de demande… Le protocole d'action terrain comprend l'ensemble des actions qui sont réalisées d'un système sur un autre, dans ce cas cela peut être une mise en sûreté, de la distribution de matérielle, la mise en sécurité d'une route par un barriérage…

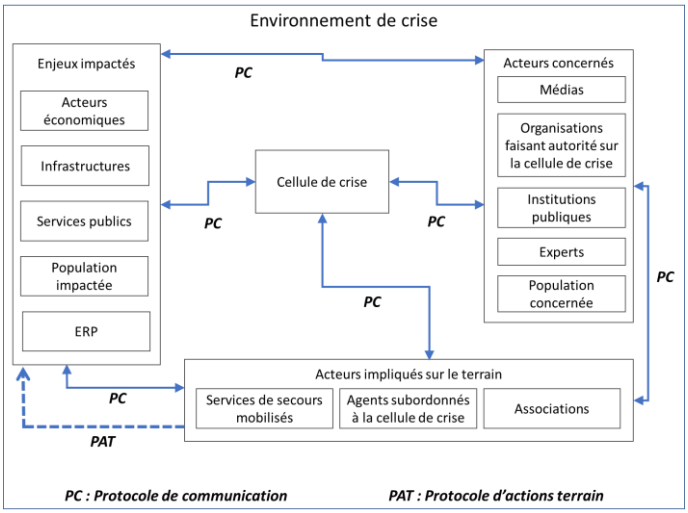

Fig. 5 : Diagramme organique simplifié des liens entre les acteurs de l'environnement de crise.

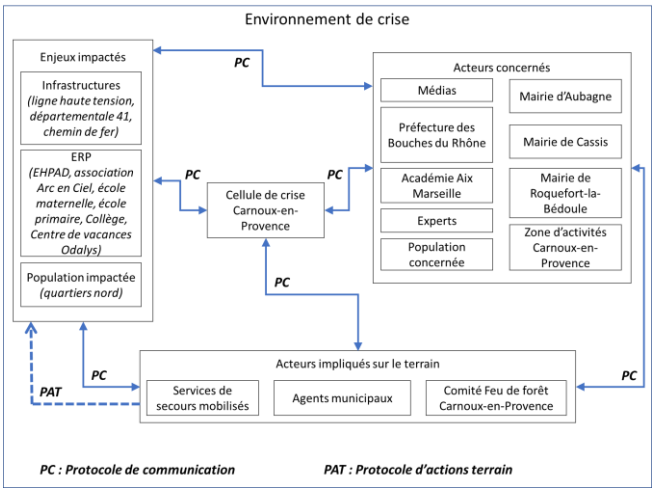

Fig. 6 : Architecture organique simplifiée des liens entre les acteurs de l'environnement de crise de l'exercice Carnoux-en-Provence.

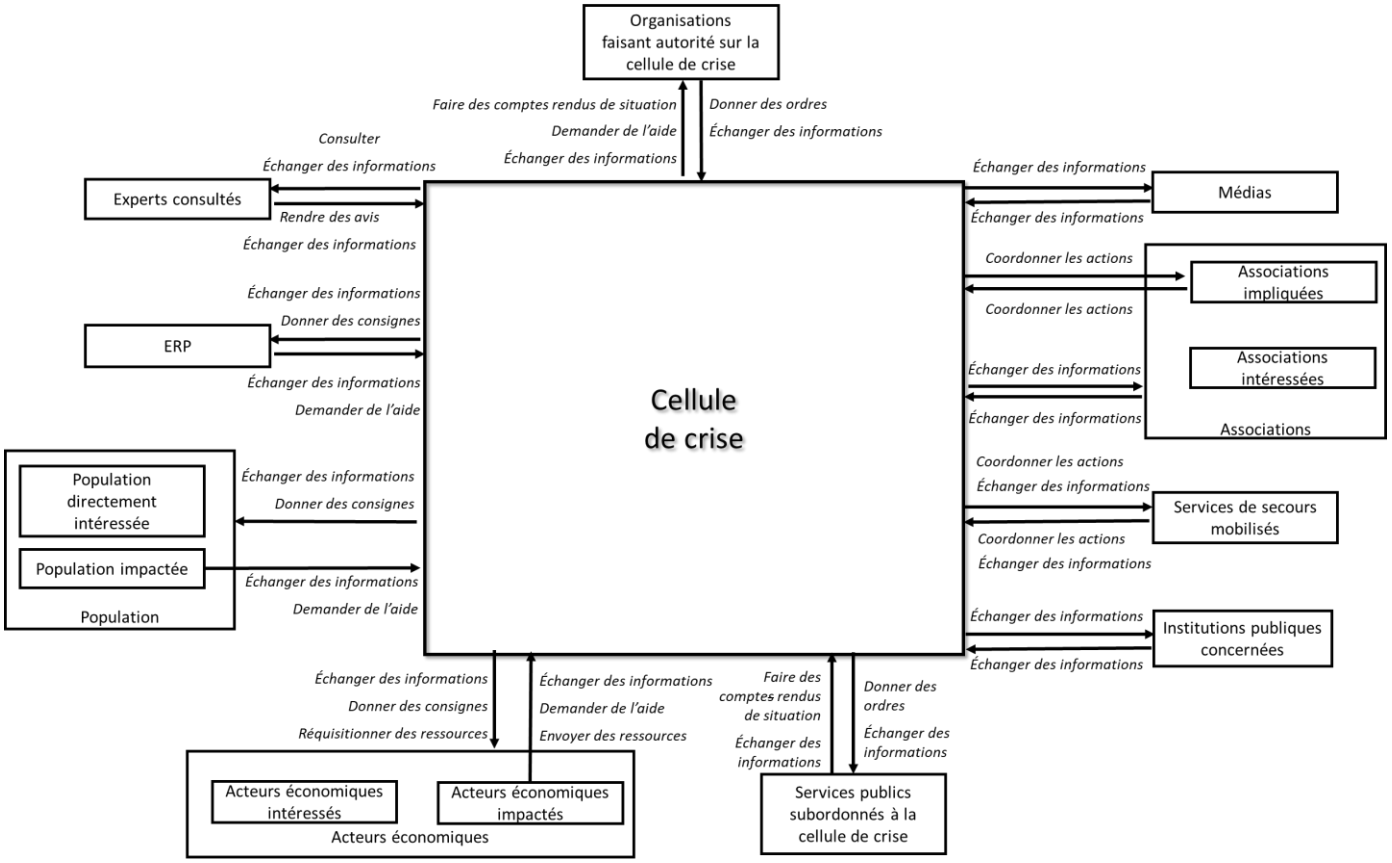

Fig. 7 : Diagramme de contexte de la cellule de crise.

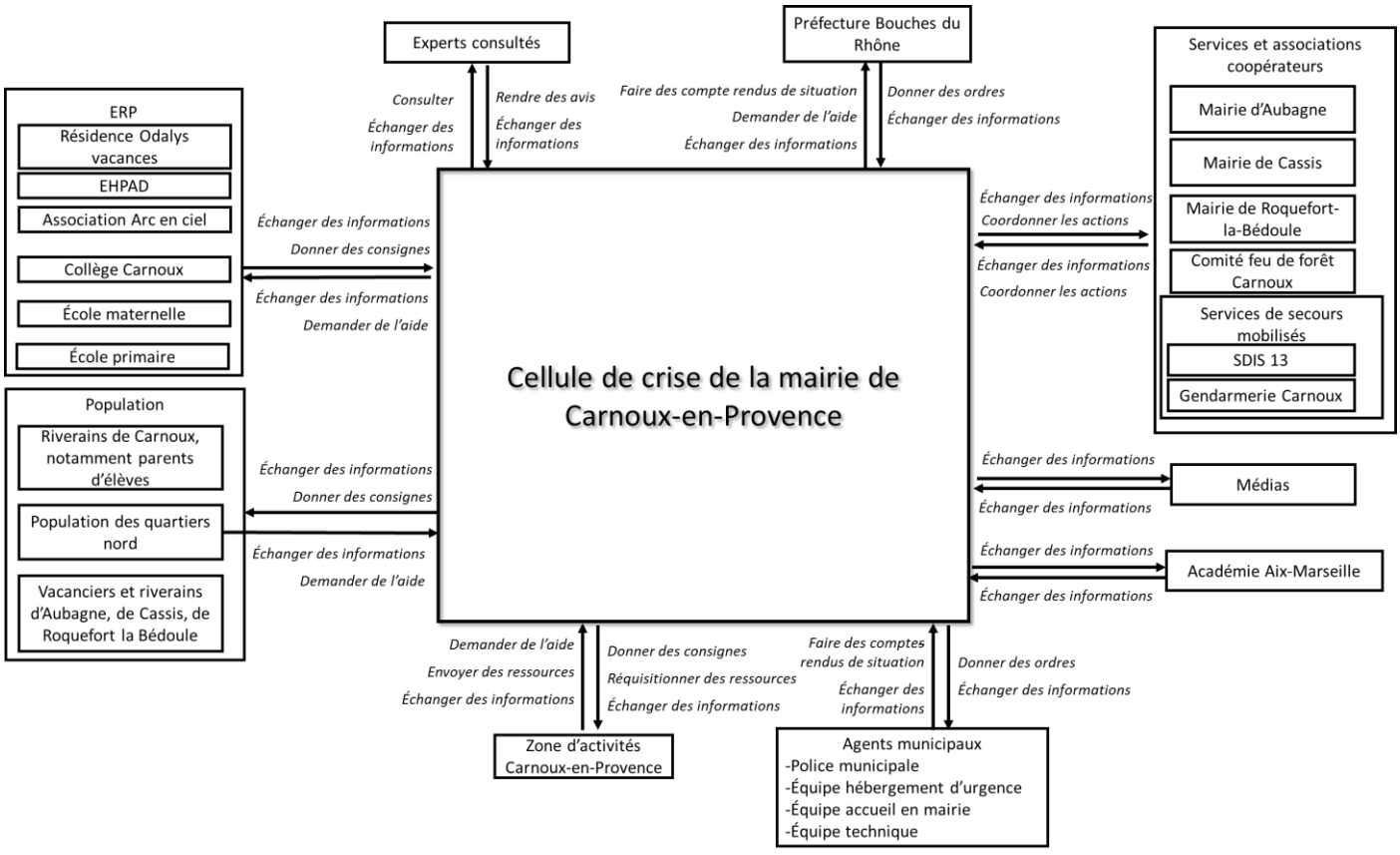

Fig. 8 : Diagramme de contexte de la cellule de crise de Carnoux-en-Provence.

Dans le cadre de la vue Contextuelle, l'environnement de crise est vu comme un Système de Systèmes composé de ses composants (sous-systèmes : organisations, territoire avec ses enjeux, population, etc.). Cette vue permet de modéliser le ou les contextes opérationnels de cet Environnement de crise (le système Environnement de crise est donc positionné dans un système plus vaste qui décrit son environnement propre i.e. les enjeux distants hors du territoire mais pouvant éventuellement avoir à faire face aux effets en cas de changement de nature ou d'intensité de la crise). Les services échangés avec des systèmes évoluant à l'interface de l'Environnement de crise sont décrits et détaillés sous forme de flux (de donnée, matière ou énergie, ou mixtes), de liens assurant le transfert de ces flux, de fonctions (i.e. des comportements de base de chacun des systèmes échangeant les services) et des interfaces requises, en tenant compte de différents modes de fonctionnement attendus de l'Environnement de crise.

Afin de comprendre comment les décisions des apprenants se propagent dans l'environnement de crise, il est nécessaire d'analyser les interactions entre tous les systèmes. Ainsi, la figure 7 illustre l'ensemble des interactions que la cellule de crise a avec toutes les parties prenantes de la crise. Afin de simuler avec réalisme la propagation des décisions et des informations chaque interaction doit être caractérisée de façon détaillée. Prenons l'exemple des comptes rendus de situation que la cellule de crise doit faire à l'organisation faisant autorité sur celle-ci c'est-à-dire à la préfecture des Bouches du Rhône). Les informations portent sur l'évolution du phénomène dangereux, l'état des actions initiées par la cellule de crise (engagées ou terminées), les ressources mobilisées pour ces actions, les victimes potentielles et les actions planifiées. Les comptes rendus peuvent être réalisés à l'initiative de la cellule de crise mais sont généralement demandés par la Préfecture à une fréquence dépendant de la cinétique de la crise. Ce service est réalisé par le biais de plusieurs sous-fonctions allant du rassemblement des informations par la cellule de crise à la confirmation de réception par l'organisation en passant par le tri des informations, la préparation puis la lecture d'un rapport cohérent.

La vue Fonctionnelle modélise les processus privés et publics qui décrivent de manière cohérentes les activités qui doivent normalement être mise ensuite en œuvre à un instant donné au sein de l'Environnement de crise, comme par exemple un plan d'urgence. C'est par la caractérisation des processus de transformations détaillés dans cette vue que l'on peut suivre l'émission et la réception des informations et les conséquences de la prise de décisions stratégiques par la cellule de crise. Ainsi la décision « transmettre les consignes d'évacuation », illustrée en figure 9, donnée à la police municipale pourra se décomposer en sous-fonctions « Identifier la mise en œuvre appropriée (porte à porte, utilisation d'une sirène, utilisation d'un mégaphone…) » et « Mettre en œuvre la transmission des consignes d'évacuation ». Cette sous-fonction sera elle-même décomposée en autant de sous-fonctions que de méthodes qui elles-mêmes seront précisées jusqu'à aller à l'échelle de la tâche réalisée (rassembler le matériel, se déplacer, utiliser le matériel, lire les consignes…). À noter que l'ensemble des sous-fonctions doit rester cohérent avec la fonction principale au niveau des entrées, des sorties, des ressources et des contraintes. Dans le cas de Carnoux-en-Provence, il s'agit de détailler avec les ressources disponibles et les contraintes propres à cet exercice de formation.

La vue Comportementale permet de modéliser les scénarios opérationnels (e.g. via des modèles à états), les

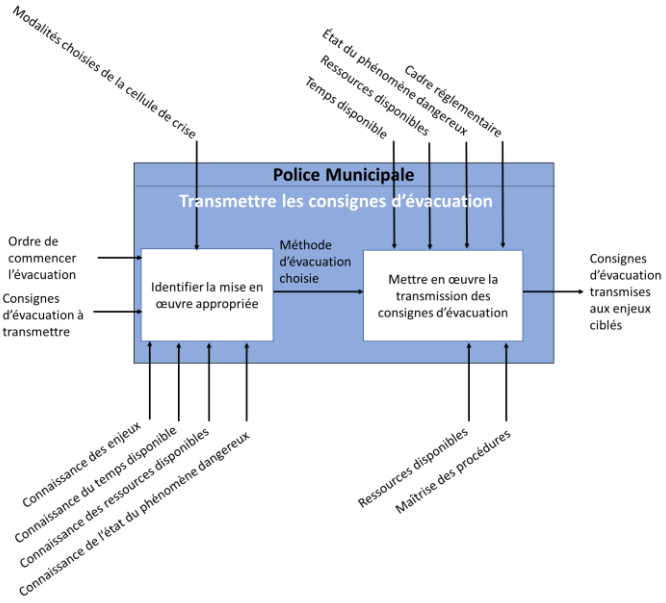

Fig. 9 : Diagramme fonctionnel du processus de transmission des consignes d'évacuation réalisé par la police municipale.

modes de fonctionnement (e.g. modèles à états) et les phénomènes de propagation des effets (cascade, direct/indirect, etc.) en respectant les interactions définies dans les autres vues. C'est par cette partie de la modélisation que va pouvoir être modélisé le comportement global de l'Environnement de crise par une juxtaposition synchronisée de l'ensemble des comportements locaux (e.g. le comportement d'un acteur humain ou d'une ressource technique). Par exemple, l'équipe terrain hébergement de Carnoux-en-Provence va alterner entre plusieurs états : non-mobilisés, mobilisés en attente, en déploiement, déployés (préparation de l'hébergement d'urgence), déployés (accueil dans le ou les centres d'hébergement), déployés (remise en état des centres d'hébergement), fin de déploiement. Le changement entre ces états va se faire selon les attributs de temps (temps de déplacement, temps de préparation d'un hébergement…), d'espace (position de l'équipe) et de forme (état physique, état mental, possibilité de se déplacer, ressources disponibles…) de l'équipe mais aussi des attributs des systèmes qui interagissent avec l'équipe (hébergement d'urgence dans l'état « mobilisé », population dans l'état « évacuée »…) et des informations qu'ils reçoivent (ordre de se mobiliser, ordre d'ouvrir tel ou tel centre d'hébergement…). À noter que les processus de transformation dépendent des états dans lesquels sont les systèmes qui interviennent pour ces processus.

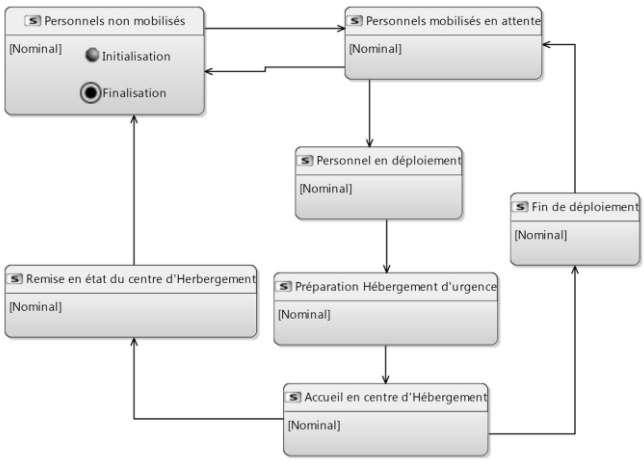

Fig. 10 : Diagramme de comportement de l'équipe terrain hébergement de Carnoux-en-Provence.

Pour une plus grande crédibilité les modèles de comportements des personnes ou des phénomènes peuvent être construits à l'aide d'experts des différents domaines. La construction de l'environnement de crise devient plus longue : selon l'amplitude de l'environnement à modéliser et les recherches supplémentaires à effectuer, cela peut prendre entre plusieurs jours et plusieurs semaines. Mais la crédibilité des comportements est essentielle pour alimenter l'évolution de chaque système et rendre l'ensemble du modèle crédible. Plusieurs études proposent d'ailleurs des modèles de comportement des foules en cas de crise comme par exemple [26] et [27].

La modélisation vue par vue permet de gérer la complexité inhérente à l'environnement de crise dont le nombre de systèmes, leurs rôles et/ou leurs comportements peuvent être évolutifs au cours du temps. En effet, en se concentrant sur un aspect à la fois, il est possible de représenter cet environnement et ses nombreux acteurs. Mais toutes ces modélisations doivent être cohérentes et non contradictoires entre elles : le modèle de l'Environnement de crise est donc un ensemble de modèles (comportementaux, fonctionnels, organiques et contextuels) qui apportent chacun tous les détails et caractéristiques requises pour arriver à représenter l'ensemble, i.e. l'Environnement de crise. Une fois le modèle entièrement construit, c'est-à-dire lorsque l'ensemble de ses systèmes sont décrits d'un point de vue organique, contextuel, fonctionnels et comportemental, il convient de passer à l'exploitation de ce modèle dans la formation.

C. Exploitation du modèle dans la formation

L'exploitation du modèle pendant la formation se fait par la simulation de ce modèle. Dans la mesure où chaque acteur évolue de façon autonome, une architecture basée sur un système multi agents est privilégiée pour le passage du modèle à la simulation. En effet, un agent permet de modéliser une entité présente dans l'Environnement de crise dont le comportement et les caractéristiques sont jugés nécessaires et pertinents pour produire un comportement global suffisamment réaliste et précis à la base pour assurer la confiance des apprenants comme des formateurs. Un agent est de fait une modélisation comportementale, qui est autonome, c'est-à-dire qu'il possède son propre comportement, qu'il communique et échange avec d'autres agents. Ces échanges peuvent influencer les actions et le comportement des agents qui interagissent. Tout particulièrement, si un agent modélise un acteur humain ou un groupe d'acteurs humains, ce comportement de cet agent est formalisé au moyen de règles d'interprétation de la situation puis de choix d'actions qui sont mises en avant dans le profil Belief / Desire / Intention (BDI) [29]. En effet le modèle BDI permet de modéliser la complexité et la flexibilité des agents humains aux comportements changeants [28].

Les croyances (*believes*) d'un agent sont des préceptes qu'il a sur son environnement (stimuli extérieurs, autres agents, etc.). Elles peuvent être erronées ou inappropriées, incomplètes ou incertaines et sont détachées des connaissances de l'agent, lesquelles sont des données factuelles objectives. Les croyances peuvent varier dans le temps en fonction de la capacité de perception de l'agent ou des messages reçus d'autres agents. Les désirs (*desires*) d'un agent représentent des objectifs vers lesquels l'agent va tendre : ce peut être un changement d'état de l'environnement ou de lui-même. Un agent peut éventuellement avoir des désirs contradictoires sans que cela constitue une erreur de conception du système : il doit en effet choisir parmi ses désirs un sous-ensemble qui soit consistant, c'est-à-dire relativement stable et fixe. Ce sous-ensemble est parfois délimité comme décrivant les buts effectifs de l'agent. Les intentions (*intentions*) d'un agent sont enfin les prémisses des actions qu'il a décidé d'entreprendre afin de satisfaire ses désirs. Bien que plusieurs désirs simultanés d'un agent puissent être consistants, l'agent peut pourtant ne pas être capable de les accomplir tous à la fois. Ces règles, une fois combinées, permettent donc de modéliser des comportements humains qui sont par définition non nécessairement déterministes, et gagner ainsi en réalisme.

VI. DISCUSSION

La mise en œuvre du rejeu semble être une voie intéressante pour multiplier les sollicitations relatives à la prise de décision dans les exercices fonctionnels de formation à la gestion de crise. Afin d'élaborer une méthode complète et pragmatique du rejeu, un exercice de type fonctionnel basé sur le scénario feu de forêt à Carnoux-en-Provence a été réalisé avec des étudiants et enseignants chercheurs d'IMT Mines Alès. Cette approche expérimentale a permis premièrement de mesurer l'intérêt du rejeu pour l'apprentissage. Deuxièmement, elle a mis en évidence que le scénario proposé se prête particulièrement bien au rejeu par les bifurcations qu'il permet. En effet, de nombreuses décisions sont possibles notamment concernant les enjeux. De plus la voie unique d'évacuation offre un moyen simple de mesurer les conséquences des décisions (encombrement des voies en cas d'évacuation trop massive). Dans un troisième temps, la réalisation de l'exercice a permis d'affiner les modalités de mise en œuvre du rejeu. Par ailleurs, il a permis d'identifier les attentes des formateurs relativement à un outil permettant de les accompagner dans cette mise en œuvre. Enfin, le scénario, issu d'un évènement réel, reste réaliste avec les ajustements proposés et demeure intéressant malgré sa relative simplicité : en l'absence d'entreprises ayant des activités dangereuses susceptibles d'aggraver la crise et en n'étant pas intégré dans des réseaux complexes de transports de personnes ou de marchandises, la modélisation de cet environnement de crise ne demande pas de se pencher sur les impacts indirects que pourrait avoir chaque décision stratégique.

Ainsi, sur la base de ce retour d'expérience, il a été possible de proposer une méthode prometteuse de construction d'un système décrivant un environnement. Elle requiert toutefois pour être opérationnelle (étape de simulation), un niveau de détail sur les comportements qui n'a pas été complètement finalisé dans le cas de l'exemple proposé : la modélisation de l'incendie de forêt, de sa propagation dans l'environnement et de ses effets thermiques doit être affinée ; il en est de même pour la modélisation des comportements des individus ou la traduction de certaines règles métiers. Le travail sur la modélisation est actuellement en cours de finalisation. Parallèlement, le passage du modèle à la simulation est en cours et fait encore l'objet d'une caractérisation des besoins des formateurs pour obtenir un outil qui leur permettra non seulement de mettre en œuvre le rejeu, mais aussi pour avoir un meilleur suivi des décisions des apprenants. La plateforme GAMA offre une opportunité de construire cette simulation par l'orientation agent du langage GAML.

VII. CONCLUSION

La complexité des situations de crise nécessite que les décisionnaires soient formés à la gestion de ces situations extrêmes. Les exercices fonctionnels plaçant les apprenants en situation de devoir gérer une crise dans un contexte réaliste sont un outil puissant. L'apprentissage de ces

exercices est centré sur l'approche expérientielle qui permet par ailleurs de solliciter un certain nombre de compétences requises en situation réelle notamment les compétences techniques (mise en œuvre des plans et procédures) mais aussi les compétences non techniques telles que le travail collaboratif, le partage d'informations, la gestion des émotions ou encore la prise de décisions. Les travaux présentés dans cette étude proposent le concept de rejeu comme moyen de multiplier le nombre de décisions stratégiques que la cellule de crise peut être amenée à prendre et ainsi comme outil d'apprentissage lors de la mise en œuvre d'exercices fonctionnels de gestion de crise. Cet article propose d'utiliser le rejeu lors d'un exercice comme opportunité de tester de nouvelles stratégies et de mettre en œuvre différentes décisions pour en éprouver les conséquences. Afin de mettre en œuvre le rejeu, il est proposé de développer une méthodologie s'appuyant sur la modélisation par une approche système de l'environnement de crise. Pour ce faire, l'environnement de crise des feux de forêts de 2017 à Carnoux-en-Provence est décomposé en sous-systèmes et analysé au moyen des vues comportementales, fonctionnelles, organiques et contextuelles. Cette modélisation vue par vue permet d'intégrer la complexité inhérente aux nombreux sous-systèmes composant l'environnement de la crise étudiée, dont les rôles et/ou les comportements peuvent être évolutifs au cours du temps. La modélisation est actuellement en cours de finalisation. Pour son opérationnalisation, il a été choisi de se baser sur une simulation multi-agents qui doit permettre d'outiller les formateurs lors de la mise en place du rejeu et de la phase de débriefing.

VIII. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient R. Supplisson et B. Guzhov pour leurs travaux sur la préparation de l'exercice de gestion de crise basé sur les feux de forêt à Carnoux-en-Provence. Ils remercient également la Région Occitanie pour le financement de ces travaux de thèse ainsi que P. Limousin et H. Dubois du CEA TECH qui en assurent le suivi régulier.

IX. BIBLIOGRAPHIE

[1] F. Tena-Chollet, J. Tixier, A. Dandrieux, and P. Slangen, "Training decision-makers: Existing strategies for natural and technological crisis management and specifications of an improved simulation-based tool," *Saf. Sci.*, vol. 97, pp. 144–153, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.ssci.2016.03.025.

[2] M. Crichton, "Training for decision making during emergencies," 2001, Accessed: May 23, 2019. [Online]. Available: https://core.ac.uk/display/44452712.

[3] H. I. Ansoff and E. I. McDonnell, *Stratégie du développement de l'entreprise : une approche méthodologique du management stratégique dans le dernier quart du XXe siècle.* Ed. d'Organisation, 1989.

[4] G. Johnson, K. Scholes, R. Whittington, and S. Gregory, *Exploring corporate strategy*, EIGHTH EDI., vol. 6, no. 2. FT Prentice Hall, 2008.

[5] B. Richardson and R. Richardson, *Business planning : an approach to strategic management*. Pitman, 1992.

[6] Z. Papulova and A. Gazova, "Role of Strategic Analysis in Strategic Decision-Making," *Procedia Econ. Financ.*, vol. 39, pp. 571–579, Jan. 2016, doi: 10.1016/S2212-5671(16)30301-X.

[7] R. Vecchiato, "Environmental uncertainty, foresight and strategic decision making: An integrated study," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 79, no. 3, pp. 436–447, Mar. 2012, doi: 10.1016/J.TECHFORE.2011.07.010.

[8] B. W. Ritchie, "Chaos, crises and disasters: a strategic approach to crisis management in the tourism industry," *Tour. Manag.*, vol. 25, no. 6, pp. 669–683, Dec. 2004, doi: 10.1016/J.TOURMAN.2003.09.004.

[9] C. Dautun, "Contribution à l'étude des crises de grande ampleur : connaissance et aide à la décision pour la sécurité civile," Dec. 2007, Accessed: Mar. 27, 2019. [Online]. Available: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00803754.

[10] C. Dautun, G. Pardini, and C. Roux-dufort, "La formation des acteurs publics à la gestion de crise. Le cas français." pp. 1–16, 2011, [Online]. Available: http://www.inhesj.fr/sites/default/files/article_quebec_2011.pdf.

[11] D. Lapierre, "Méthode EVADE : Une approche intégrée pour l'EValuation et l'Aide au DEbriefing," Université de Nîmes, 2016.

[12] G. J. Homsma, C. Van Dyck, D. De Gilder, P. L. Koopman, and T. Elfring, "Learning from error: The influence of error incident characteristics," *J. Bus. Res.*, vol. 62, no. 1, pp. 115–122, Jan. 2009, doi: 10.1016/J.JBUSRES.2007.12.003.

[13] D. A. Kolb, "Experiential Learning: Experience as The Source of Learning and Development," *Prentice Hall, Inc.*, no. 1984, pp. 20–38, 1984, doi: 10.1016/B978-0-7506-7223-8.50017-4.

[14] D. A. Kolb and A. Y. Kolb, "THE KOLB LEARNING STYLE INVENTORY 4.0," no. May 2016, pp. 0–233, 2013, doi: 10.1016/S0020-7519(02)00196-0.

[15] A. Hua, H. Williams, N. Nordin, and K. Haire, "Simulation Training in the Intensive Care Unit," in *Key Topics in Management of the Critically Ill*, Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 1–11.

[16] R. Grassinger and M. Dresel, "Who learns from errors on a class test? Antecedents and profiles of adaptive reactions to errors in a failure situation," *Learn. Individ. Differ.*, vol. 53, pp. 61–68, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.LINDIF.2016.11.009.

[17] J. A. Cannon-Bowers and E. Salas, "Team Performance and Training in Complex Environments," *Curr. Dir. Psychol. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 83–87, Jun. 1998, doi: 10.1111/1467-8721.ep10773005.

[18] P. Leveau, "Les erreurs, facteurs de progression," Reims, France, Oct. 2018. Accessed: Apr. 28, 2020. [Online]. Available: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02074914.

[19] D. Brigden and P. Dangerfield, "The role of simulation in medical education," *Clin. Teach.*, vol. 5, no. 3, pp. 167–170, Sep. 2008, doi: 10.1111/j.1743-498X.2008.00230.x.

[20] P. Limousin, "Contribution à la scénarisation pédagogique d'exercices de crise Spécialité:," Ecole des Mines de Saint-Etienne, 2017.

[21] J.-L. Le Moigne, "Les Formalismes De La Modelisation Systemique," no. 93, pp. 1–23, 2005, [Online]. Available: http://www.intelligence-complexite.org/fileadmin/docs/0505formalismesvfr.pdf.

[22] J.-M. Penalva, "La modelisation par les systemes en situation complexes," Paris 11, 1997.

[23] Chapurlat Vincent, Maxence Lafon, and Blazo Nastov, "Revisiting Digital Mock-Up for SME Involved in Systems Engineering Deployment," in *12th International Conference on Modeling, Optimization and SIMulation (MOSIM'18)*, Jun. 2018, Accessed: May 11, 2020. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/326246724_Revisiting_Digital_Mock-Up_for_SME_Involved_in_Systems_Engineering_Deployment.

[24] *BKCASE Editorial Board. 2017. The Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK), v. 1.8. R.D. Adcock (EIC). Hoboken, NJ: The Trustees of the Stevens Institute of Technology. Accessed 10/05/2020. www.sebokwiki.org. BKCASE is managed and maintained by the Stevens Institute of Technology Systems Engineering Research Center, the International Council on Systems Engineering, and the Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society.*

[25] G. Bouget, J. Chapuis, and J. Vincent, "Conception de scénarios d'attaque de systèmes complexes," p. 10, 2009, [Online]. Available: http://ws3sgs09.loria.fr/articles/vincent.pdf.

[26] T. Gasparotto, "Modélisation de l'évacuation des personnes en situation d'incendie," Université de Lorraine, Feb. 2018. Accessed: May 08, 2020. [Online]. Available: http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm.

[27] M. Bouzid and D. Olivier, "Modélisation des phénomènes de panique dans le cadre de la gestion de crise," Université du Havre, Oct. 2013.

[28] H. Baitiche, M. Bouzenada, and D. E. Saïdouni, "Towards A Generic Predictive-Based Plan Selection Approach for BDI Agents," in *Procedia Computer Science*, Jan. 2017, vol. 113, pp. 41–48, doi: 10.1016/j.procs.2017.08.283.

[29] P. Caillou, B. Gaudou, A. Grignard, C. Q. Truong, and P. Taillandier, "A simple-to-use BDI architecture for agent-based modeling and simulation," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2017, vol. 528, pp. 15–28, doi: 10.1007/978-3-319-47253-9_2.