Article original

Simulation et intelligence artificielle

Un environnement pédagogique pour la gestion d'épidémies et de crises sanitaires

L. PELLEGRIN[(1)], L. CHASSERY[(2)], G. TEXIER[(3)], H. CHAUDET[(4)]

(1,2,3,4) Département Expertise Numérique en Épidémiologie, Centre d'Épidémiologie et de Santé Publique des Armées, Service de Santé des Armées, Marseille / Équipe 4 : Surveillance Épidémiologique, Microbiologique, Moléculaire et Phylogénomique des Maladies Infectieuses, RITMES UMR 257, Marseille

Auteur correspondant : liliane.pellegrin@univ-amu.fr

Open access DOI
10.17184/eac.9359

Reçu
le 9 décembre 2024

Accepté
le 1er avril 2025

Publié
le 11 juin 2025

Conflit d'intérêt
Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt.

Résumé :
La simulation est un outil pédagogique essentiel pour former des professionnels dans des contextes complexes en recréant des situations réalistes, immersives et modifiables.
Adaptée aux novices comme aux experts, elle permet d'améliorer la fiabilité des décisions et leur adaptabilité face à des situations complexes. Intégrée depuis une décennie dans des projets au Centre d'épidémiologie et de santé publique des armées (CESPA), cette approche a permis d'accompagner les évolutions des pratiques en surveillance épidémiologique, grâce à une architecture innovante développée au fil de recherches, d'expérimentations et de formations internationales.
Nous avons développé une plateforme immersive pour la formation et la gestion d'alertes épidémiques, intégrant modélisation, scénarisation et intelligence artificielle.
Le premier projet, SOAP, a permis de générer des épidémies virtuelles réalistes et d'étudier les processus décisionnels et psychologiques des participants. Les travaux incluent l'évaluation d'algorithmes de détection épidémique, la constitution d'une bibliothèque de scénarios et la modélisation des situations critiques. SIMUCRI, sa version améliorée, vise à perfectionner cet environnement initial. Basé sur l'environnement EPSEC, il génère des épidémies virtuelles réalistes à l'aide de modèles multi-agents, recréant la propagation d'un pathogène au sein de micromondes simulés. Ces modélisations tiennent compte de paramètres sociaux, biologiques et environnementaux, ce qui les rend essentielles pour la création de scénarios pédagogiques interactifs réalistes. Ce projet combine ingénierie des connaissances et intelligence artificielle pour reproduire des situations épidémiologiques complexes.
Les simulations sont, quant à elles, conçues pour évaluer et

développer les compétences techniques et non techniques des apprenants. Cette plateforme de simulation fournit ainsi des outils pédagogiques innovants pour entraîner les novices et les experts à répondre efficacement à diverses situations, des alertes courantes aux crises, tout en prenant en compte les contraintes de la situation. Elle contribue à développer la capacité des participants à prendre des décisions face à des crises sanitaires, en s'appuyant sur des environnements immersifs réalistes et une évaluation rigoureuse des comportements en contexte.

Mots-clés : Activités expertes complexes. Apprentissage par la simulation. Épidémiologie computationnelle. Système multi-agents. Médecine d'armée.

Abstract:

SIMULATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

A TRAINING ENVIRONMENT FOR MANAGING EPIDEMICS AND HEALTH CRISES

Simulation is a key teaching tool for training professionals in complex contexts by recreating realistic, immersive and manipulable situations. It is suitable for novices and experts alike, and increases decision-making reliability and resilience. Integrated into CESPA projects over the last decade, this approach has helped to keep pace with changes in epidemiological surveillance practices, thanks to an innovative architecture developed through international research, experimentation and training. We have developed an immersive platform for training and managing epidemic alerts, integrating modelling, scripting and artificial intelligence.

The first project, SOAP, generated realistic virtual epidemics and studied the decision-making and psychological processes of participants. Its work includes evaluating epidemic detection algorithms, building a library of scenarios and modelling critical situations. Its evolution, SIMUCRI, aims to improve on this initial environment. Based on the EPSEC environment, it generates realistic virtual epidemics using multi-agent models that reproduce the spread of a pathogen in simu-lated microworlds. These models take into account social, biological and environmental parameters, providing the realism essential for interactive educational scenarios. This approach combines knowledge engineering and information technology. The simulations are designed to assess and develop learners' technical and non-technical skills. This simulation platform provides innovative teaching tools to train novices and experts to respond effectively to a range of situations, from routine alerts to crises, taking into account the constraints of the situation. It helps to develop participants' ability to make strategic decisions in the face of health crises, based on realistic immersive environments and rigorous evaluation of behaviour in context.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

Keywords: Complex expert activities. Simulation learning. Computational epidemiology. Multi-agents system. Military medicine.

Introduction

La simulation comme outil de formation et de formalisation

Dans les domaines professionnels complexes et à haut niveau d'expertise, la formation par la simulation s'est imposée au fil des années, conséquence de l'émergence de nouvelles activités et compétences professionnelles issues de mutations technologiques et organisationnelles majeures au sein des entités économiques, institutionnelles ou autre. Dès la fin de la Seconde Guerre mondiale, l'école de Tavistok[1] a décrit le concept de « système sociotechnique complexe ». Ce concept désigne une organisation de travail constituée par différents groupes d'agents exécutant un ensemble de tâches communes, et ce en interaction avec des systèmes techniques structurant l'ensemble des équipements, outils et technologies nécessaires (1). L'ensemble du système est ainsi dépendant de cette interaction, un couplage plus ou moins fort entre les deux composantes (humaine et technologique), dont vont dépendre ses performances et son adaptabilité aux sollicitations de son environnement. Au sein de systèmes sociotechniques complexes (industriels, énergétiques, militaires, santé, etc.), l'activité des professionnels impliqués se caractérise par la gestion de multiples risques, contraintes et enjeux, de la pression temporelle, de l'incertitude et des buts mal définis, ajustables au fil de l'eau (2–5). Médié par une ingénierie de sophistication croissante, le contenu du travail s'est ainsi accru en niveaux croissants de technicité et d'expertise.
La confrontation de l'ensemble des acteurs à ces systèmes, de plus en plus difficiles à appréhender dans leur globalité, et les conséquences sur leurs activités et les ressources psychologiques et psychosociales mobilisées, sont ainsi un enjeu majeur de nos sociétés contemporaines. Cet enjeu est décrit dès 1969, par John R. Raser qui y associe comme conséquence le nécessaire développement de l'usage de simulations dans les activités professionnelles (6). La simulation permet ainsi de répondre à des besoins de compréhension, d'anticipation optimisant les prises de décisions et de maintien des capacités opérationnelles pour les opérateurs de terrain et pour les décideurs (7). Elle se définit comme la construction d'un processus de substitution du réel qui se fonde sur la description la plus complète possible des composantes d'une situation naturelle, sa modélisation puis l'élaboration d'un dispositif reproduisant certaines de ses caractéristiques (8). De façon complémentaire, elle se décrit comme un ensemble de techniques d'analyse, d'expérimentation et de formation, utilisant ce modèle de la situation cible (9).

Dans le cadre de la formation, la simulation est ainsi un outil utile qui met des professionnels dans une situation artificielle en reproduisant avec plus ou moins de fidélité les caractéristiques de la situation initiale. Elle remplace ou amplifie les expériences

[1] https://www.tavinstitute.org/who-we-are/our-story

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

réelles par des expériences guidées dans des environnements manipulables et reproductibles. L'objectif est aussi d'éviter la confrontation à des évènements réels potentiellement dangereux et dommageables pour une personne ou une équipe non encore expérimentée, mais aussi de répondre à des contraintes économiques et sécuritaires.

L'aviation a été pionnière dans ce choix dès le milieu du XX^{e} siècle puis le domaine militaire ainsi que les environnements industriels complexes et à risques entre autres et, enfin, les domaines de la santé (10). La simulation est présentée par la Haute Autorité de santé[2] comme « une méthode pédagogique active, innovante basée sur l'apprentissage expérientiel et la pratique réflexive ». Actuellement, des simulations sont incluses quasi systématiquement dans les programmes de formations médicales et paramédicales civiles ou proposées par le Service de santé (11–15).

D'un point de vue didactique, la simulation est un outil de formation professionnelle, orienté par l'acquisition de compétences et construite à partir de situations réelles identifiées comme pertinentes pour des objectifs d'apprentissage. C'est le paradigme décrit par Samurçay et Rogalski qui définissent une *situation de simulation* comme la transposition didactique *d'une situation de référence* à savoir les situations de travail (16). Cette transposition a pour but de contrôler les tâches et les pratiques, les composantes des compétences ciblées dans la formation en cours et la complexité de la situation de simulation pour l'apprenant.

Le scénario de simulation est ainsi un élément important. C'est lui qui décrit précisément la situation dans laquelle se déroulent des événements à jouer ainsi que les agents sociaux et leurs rôles respectifs, qu'il s'agisse des apprenants, des animateurs ou encore d'acteurs/facilitateurs. La construction d'un scénario (ou scénarisation) permet de maitriser le réalisme et l'authenticité d'une simulation avec, comme conséquence attendue, une immersion efficace pour les joueurs/apprenants ; la qualité de l'immersion étant un facteur favorisant leur apprentissage comportemental (17,18). Il s'agit donc d'un enjeu important dans la mise en œuvre d'un environnement de simulation efficace.

Objectifs de cet article

Dans le cadre de projets successifs et depuis une dizaine d'années, un environnement de simulation a été développé au Centre d'épidémiologie et de santé publique des armées (CESPA). Son objectif est de permettre d'accompagner les évolutions des pratiques professionnelles en surveillance épidémiologique. Il vise à prendre en compte les composantes comportementales en situation naturelle de prises de décisions individuelles et collectives, face à des situations dynamiques et complexes.

L'expertise en matière d'épidémiologie peut être décrite comme reposant à la fois sur une compréhension approfondie d'une situation épidémique (identification et caractérisation de l'épidémie exacte et de ses principales caractéristiques, anticipation de son évolution plausible avec un niveau de confiance acceptable) et sur la sélection et l'élaboration d'un plan d'action précis (contre-mesures médicales dans le respect des contraintes de temps).

[2]Haute Autorité de santé. Guide de bonnes pratiques en matière de simulation en santé. 2012. Accessible à l'adresse suivante : http://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_930641/fr/simulation-en-sante

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

Ces processus impliquent des activités cognitives complexes, telles que la résolution de problèmes, la prise de décisions, l'anticipation et la planification. Il s'agit donc aussi de former à des capacités d'adaptation en fonction des exigences d'une situation multicritères (socio-organisationnelles, politiques, matérielles, environnementales, biologiques et médicales) pouvant évoluer d'une « normalité » couramment gérée à des situations plus critiques, voire des situations de crises (19,20).
De situations habituelles à des situations de crises ou encore face à des situations rares, voire inconnues ou des émergences, les experts doivent pouvoir identifier les éléments caractéristiques de la situation, construire leurs réponses en utilisant des stratégies de prise de décisions adaptées, gérer l'incertitude, les enjeux et les contraintes.
L'objectif des formations par la simulation dans ce domaine de compétences est d'initier aux pratiques professionnelles attendues pour des débutants, mais aussi pour des experts, ainsi que de les entraîner pour accroître la fiabilité et la résilience des décisions prises dans différentes situations possibles. La nécessité de former à ces compétences de gestion des épidémies apparaît donc comme un défi majeur pour accroître l'efficacité des réponses de santé publique.

Le but de cet article est de présenter le processus de conception de cet environnement numérique et l'architecture globale à laquelle nous avons abouti au bout de ces dix années de recherche/innovation et d'expérimentations successives lors de formations de l'OTAN depuis 2013 ou lors de scenarii tests plus expérimentaux (21–23).

Projet historique : plateforme de simulation pour l'étude et la formation en surveillance sanitaire pour l'alerte précoce (SOAP)

De nombreuses solutions de formation par la simulation ou par la ludification ont vu le jour, en particulier à la sortie de la crise Covid.
Certains projets institutionnels déjà préexistants (Organisation mondiale de la santé[3], Centre européen de prévention et de contrôle des maladies[4], etc.) se sont développés en utilisant, soit des jeux de rôles sur table (ou *tabletops*), soit des plateformes Web des jeux sérieux (par exemple, les sites *solve the outbreak - Centers for Disease Control and Prevention* (CDC)[5] *outbreak ready - United States Agency for International Development* (USAID)[6], voire des simulations immersives utilisant des environnements virtuels (24). Le développement de ces outils illustre la prise de conscience d'un besoin de formation des pratiques professionnelles plus focalisée sur la « mise en simulation » de situations réalistes et l'usage des différentes possibilités de ludification, plus répandues de nos jours et parfois issues de jeux grand public (25).

Cependant, un point reste peu évoqué, à savoir la capacité de modélisation de l'environnement de simulation permettant la génération à la demande d'épidémies virtuelles. Pour construire des situations de simulations réalistes, une telle capacité est nécessaire afin d'alléger la conception technique du scénario épidémique, de faciliter sa mise à jour et de s'ajuster au plus près, d'une part au réalisme de la situation validée par un expert du domaine et, d'autre part, aux objectifs pédagogiques déterminés par les enseignants. La construction d'épidémies virtuelles nécessite la modélisation des

[3]https://www.who.int/emergencies/operations/simulation-exercises
[4]https://www.ecdc.europa.eu/en/news-events/training-workshop-simulation-exercises-organised-ecdc
[5]https://www.cdc.gov/mobile/applications/sto/STOiframe.html
[6]https://www.outbreakready.com/

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

conditions de leur émergence et de leur prise en charge, donc une description formelle, indépendante de la scénarisation construite pour une simulation donnée.
Pour atteindre cet objectif, dès nos premiers travaux[7], il a été nécessaire de s'appuyer sur des domaines de connaissances complémentaires : la santé publique (définition et modélisation des scénarii épidémiques et des compétences expertes techniques attendues), l'ingénierie des connaissances et l'intelligence artificielle (représentation des connaissances, modélisation informatique des processus épidémiques et de leurs contraintes) et la psychologie ergonomique et cognitive (identification des compétences non techniques correspondantes aux processus sociocognitifs, individuels et collectifs, mis en œuvre en situation).

Dans le cadre du projet SOAP (2016-2018), les travaux entrepris se sont organisés autour de deux thématiques :

- Le développement d'outils en intelligence artificielle de « virtualisation » d'une épidémie, à savoir la modélisation et la création d'épidémies artificielles supports à la conception et au jeu de scénarii complets. Celles-ci doivent être dynamiquement gérables par les animateurs par le biais d'un système dédié, leur permettant d'ajuster leurs actions et leurs réponses au cours de la simulation, en fonction du jeu des apprenants.
- L'étude des processus psychologiques individuels et collectifs mis en œuvre pour gérer une épidémie (impact de l'expertise, représentation commune de la situation, prises de décisions sous contrainte, gestion des partenaires internes et externes, etc.). Les études menées lors de simulations expérimentales initiales ont ainsi permis de construire les protocoles d'observation et d'évaluation des compétences requises (techniques et non techniques) et d'apporter des éléments alimentant la scénarisation.

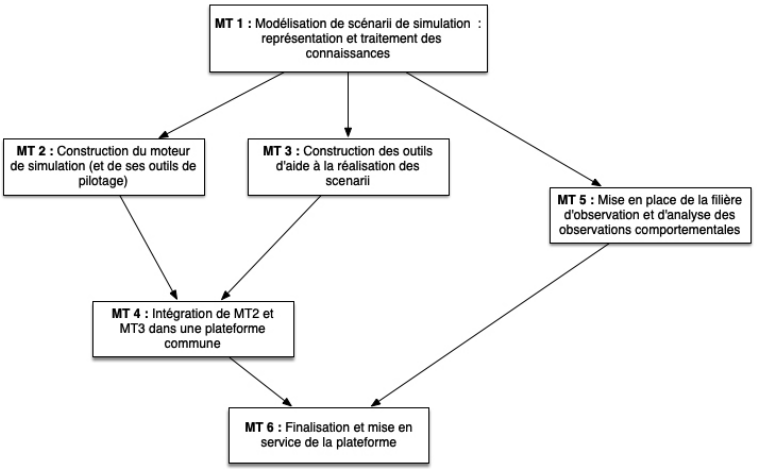


Fig. 1 : Architecture des macro-tâches du projet SOAP

[7]Projet SOAP (Plateforme de simulation pour l'étude et la formation en surveillance sanitaire pour l'alerte précoce – PEA PDH-1-SMO-4-17 (2016-2018)

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

C'est autour de ces deux axes que les différentes macro-tâches du projet ont été construites afin de structurer notre démarche de conception de la plateforme (figure 1).

Dans ce cadre, différentes actions ont été menées :

- L'évaluation d'algorithmes déjà publiés de détection temporelle des épidémies, qui puisse permettre de mieux en comprendre leurs caractéristiques et leurs influences sur la qualité de la modélisation, mais aussi l'évaluation des méthodes de fusion de décisions d'algorithmes de détection des épidémies (votes majoritaires simple et pondéré, régression logistique, arbres de décisions et des réseaux bayésiens) qui permettent de combiner les résultats de différents algorithmes de détection (26,27).
- La constitution d'une bibliothèque de courbes épidémiques qui inclut un contrôle qualité du signal support, de la base de référence (baseline) et de l'évaluation d'algorithmes, sur la base de l'étude de 840 épidémies naturelles et de différentes méthodes de détection. Parmi les paramètres prédictifs d'une épidémie, l'objectif était d'identifier entre plusieurs méthodes de classification possibles, celles permettant de prédire au mieux les modes de transmission d'agents pathogènes. Quatre algorithmes d'analyse des points de changement (*CPA analysis*) ont été comparés à un ensemble d'experts en épidémiologie, considérés comme le *gold* standard pour cette tâche (28).
- En ce qui concerne les prises de décisions lors de la gestion de situations épidémiques complexes et critiques, nous avons étudié la caractérisation de deux types de situations (situation critique, situation de crise) dans le contexte des alertes épidémiologiques ainsi que les conséquences que pourraient avoir de telles situations sur les activités des opérateurs. Un modèle d'une typologie de la criticité des situations épidémiologiques fait partie, dans la problématique de la scénarisation, d'une alerte épidémiologique. Ce modèle a été expérimenté par sa capacité à être scénarisé.
  Nous avons pu créer une situation critique, se différenciant d'une situation normale et d'une situation de crise par application des paramètres du modèle et induisant des comportements décisionnels spécifiques (29,30).

À l'issue de ce programme de recherche, nous avons pu ainsi dégager des critères permettant de créer une plateforme de simulation et de proposer un modèle possible et encore incomplet de la gestion d'alertes épidémiques artificielles. Ceux-ci ont été complétés par les travaux de modélisation et de prédiction de l'évolution d'un phénomène épidémique complexe, menés lors de la gestion de la crise Covid-19 (31).

Notre démarche de scénarisation se fonde ainsi sur un modèle général de l'épidémie-cible qui doit prendre en compte les composantes suivantes :

- La génération de l'histoire de l'épidémie ; sa construction comprend un ensemble d'éléments à assembler dans un scénario :
  - le choix de la maladie et ses caractéristiques bio-environnementales (type d'agent infectieux, mode de transmission, criticité, etc.) ;
  - la population sous surveillance concernée par la contamination (nombre, âge, sexe, etc.) et sa structure sociale (relations sociales professionnelles ou personnelles, structures organisationnelles, conditions de vie, etc.)

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

  - la situation dans laquelle se déroulent les événements menant à la contamination dans ses différents aspects (politique, géographique, environnement, date/saison)

- La génération des cas de l'épidémie : les modèles de courbes épidémiques permettant de construire les baselines et les événements sous surveillance, les dossiers-patients (âge, sexe, résultats biologiques, etc.).
- La génération du réseau des acteurs de la gestion de l'alerte épidémique, à savoir les participants à la simulation et les acteurs susceptibles d'intervenir dans cette situation spécifique (positionnement organisationnel, niveau hiérarchique, poste occupé, etc.).

Ces éléments sont ensuite insérés dans un scénario construit par les animateurs autour du niveau de formation requis et des objectifs pédagogiques associés, le choix du niveau de criticité de la situation à jouer (courante, critique, de crise) et la détermination de l'environnement de jeu (choix de l'espace géopolitique, des *personas*, des contraintes scénaristiques, etc.). L'ensemble permet de scénariser le plus complètement possible une épidémie pour la faire jouer avec le plus de réalisme possible.

Les leçons apprises : l'environnement de simulation de la gestion de crise sanitaire

Dans le cadre de la feuille de route santé publique et épidémiologie proposée en 2021[8], le projet SIMUlation de la gestion de CRIse sanitaire (SIMUCRI), assure la continuité des travaux avec pour objectif l'amélioration de la gestion de crises épidémiques. L'environnement de simulation doit assurer la formation des pratiques professionnelles sur différents publics cibles (praticiens de santé publique, directeurs médicaux, personnels de santé de l'OTAN, etc.).

En tenant compte des éléments évoqués en conclusion du projet précédent, il est apparu qu'un enjeu majeur était le développement d'outils numériques permettant de créer des épidémies virtuelles paramétrables. Réaliser une simulation numérique d'épidémie ayant un degré de réalisme suffisant implique d'intégrer les contraintes suivantes :

- un agent pathogène et ses caractéristiques épidémiologiques paramétrables ;
- la prise en compte du fond d'activité clinique (ou *baseline*) ;
- le déroulement de l'épidémie dans un environnement paramétrable et fermé ;
- la prise en compte du réseau social dans lequel se diffuse l'épidémie ;
- la simulation de l'activité de déclarations initiales de cas ;
- la production automatique des dossiers cliniques des patients virtuels ;
- la production des tableaux de bord de surveillance issus des données de déclaration.

Ces éléments doivent être visualisés dans une interface dédiée à l'équipe d'animation, leur permettant d'assurer le suivi du déroulé du scenario joué en salle de simulation et en fonction des actions prises par les joueurs et de répercuter leurs décisions et leurs choix stratégiques sur le déroulement de l'épidémie.

[8]Rapport Feuille de Route Domaine Santé Publique et Santé Publique, ref. 513546/ARM/SSA/DFRI/-DRI/NP (10/11/2021)

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

Cette capacité autorise la construction de transpositions didactiques adaptées aux objectifs pédagogiques, à la variété des publics cibles et à des scenarii décrivant diverses situations possibles.

Dans cette optique, l'environnement de simulation SIMUCRI s'organise en deux composantes :

- Une plateforme d'épidémiologie computationnelle (EPSEC - Environnement de préparation aux situations épidémiologiques critiques) permettant de créer des épidémies virtuelles se propageant dans un réseau social (figure 2).
  Cette plateforme est elle-même constituée :
  - D'un simulateur d'épidémies par réseau d'agents permettant de reproduire la chaîne de transmission d'un pathogène au sein d'une population au cours du temps. Il se compose d'un générateur de micromonde et d'un moteur de simulation d'épidémie. L'ensemble définit les caractéristiques des agents du réseau (i.e. statut clinique et épidémique, démographie, etc.) ; l'environnement social dans lequel les agents évoluent (i.e. la structure régimentaire militaire, les conditions de logement, etc.), le modèle de propagation de l'épidémie et les conséquences sur le statut des agents au fil du temps.
  - D'un environnement de visualisation de données permettant la génération automatique des tableaux de contrôle et de suivi dynamique pour l'équipe d'animation.
- Un espace de simulation « pleine échelle », incluant une reproduction la plus fidèle possible de l'environnement de travail incluant les conditions d'exercice de l'activité (téléphones, environnements numériques, etc.) et la mise en scénarisation d'une épidémie virtuelle générée par EPSEC. L'ensemble est géré en direct par les animateurs, aidés par un retour audio/vidéo et par la capacité de supervision de l'épidémie fournie par EPSEC. Celui-ci permet d'observer et d'évaluer les compétences techniques et non techniques des apprenants/joueurs et de les commenter lors du débriefing.

EPSEC est ainsi une plateforme numérique qui se fonde sur des méthodes issues de l'intelligence artificielle pour générer une épidémie virtuelle. L'Intelligence artificielle (IA) désigne les systèmes qui affichent un comportement intelligent en analysant leur environnement et en prenant des mesures – avec un certain degré d'autonomie – pour atteindre des objectifs spécifiques[9]. EPSEC utilise d'une part, des micromondes qui décrivent l'environnement de l'épidémie et d'autre part sur un système multi-agents qui simule le comportement et la dynamique de propagation de cette épidémie.
Un micromonde est un environnement artificiel et restreint, simplifiant un domaine de connaissances ou les caractéristiques d'une situation réelle. Il s'agit d'un cadre réduit et fermé avec un ensemble de règles et de propriétés bien définies permettant de décrire des situations ciblées. Les systèmes multi-agents, quant à eux, formalisent des comportements d'entités autonomes ou « agents » qui interagissent les uns avec les autres dans un cadre commun. le paradigme des systèmes multi-agents concerne, entre autres questions, la modélisation informatique de processus complexes simulant une dynamique collective qui est le résultat des comportements individuels et de leurs interactions.

[9]High-Level Expert Group on Artificial Intelligence (https://www.aepd.es/sites/default/files/2019-09/ai-definition.pdf)

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

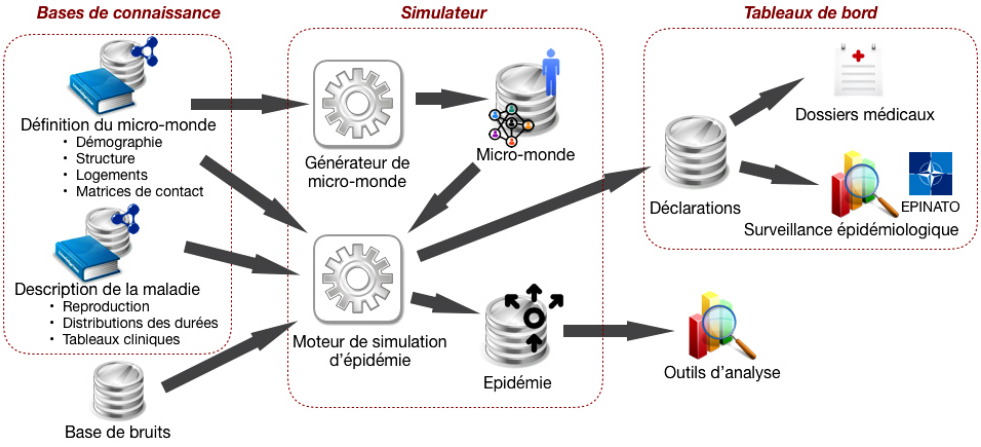


Fig. 2 : Architecture d'EPSEC

Ces deux environnements spécifiques à l'intelligence artificielle nous permettent ainsi de construire une reproduction relativement réaliste de la complexité humaine et environnementale de propagation d'une épidémie. Dans le cas présent, le micromonde et le système multi-agents simulent une situation un milieu dans lequel évolue l'épidémie au sein d'un réseau d'individus virtuels (la population cible) ayant une probabilité de transmission variable en fonction de diverses caractéristiques individuelles, organisationnelles et environnementales.

L'ensemble des données issues de la génération de l'épidémie sont mises à disposition sous différents formats selon qu'il s'agit des animateurs ou des apprenants.
Outre les éléments scénaristiques décrits dans un document mis à leur disposition ainsi que les articles et éléments de référence associés à la pathologie cible, les animateurs disposent de plusieurs visualisations de l'épidémie virtuelle, à savoir une courbe journalière des consultations en lien avec l'épidémie, la courbe épidémique en tant que telle et le graphe de propagation de cette même épidémie à partir du cas index. EPSEC génère aussi automatiquement les dossiers cliniques des patients virtuels et des fiches de déclaration épidémiologique hebdomadaire, dans le cas présent celles de l'OTAN (EPINATO-2). Les animateurs ont ainsi accès aux informations nécessaires afin de répondre en temps réel aux contraintes de l'animation de la session, en particulier aux sollicitations de l'équipe des joueurs.

Dans le cadre de formations annuelles, chaque épidémie peut être simulée à nouveau chaque année afin de s'ajuster au plus près au calendrier, le scénario étant le même d'une année sur l'autre. La production de chaque nouvelle épidémie pour un même agent pathogène implique des modifications de l'ensemble de données à fournir à l'équipe d'animation et aux joueurs. La figure 3 présente, sur deux années, les variations possibles de simulation de la même épidémie, ajustées en fonction des dates de jeu, illustrant la capacité de génération « à la demande » d'une épidémie virtuelle du système. En pratique, ces nouveaux paramètres sont remis à jour dans le déroulé des scenarii et la cohérence de l'ensemble des éléments de jeu est vérifiée à chaque session. Le scenario réajusté est ensuite mis à disposition des animateurs.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

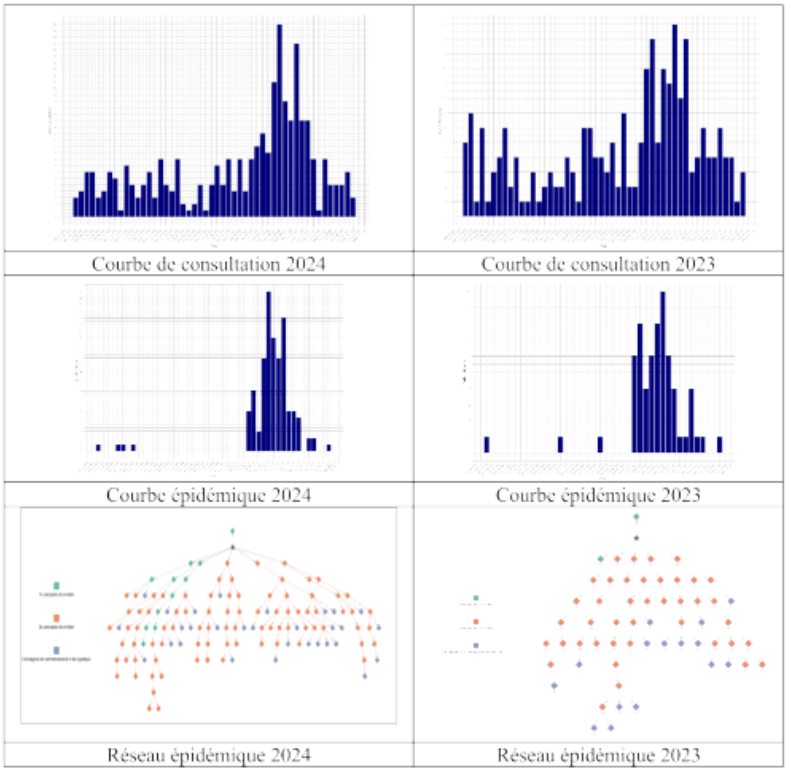


FIG. 3 : Visualisations des données simulées pour une épidémie de Norovirus au Kosovo, dédiées aux animateurs de la simulation (niveau 1, 2023 et en 2024)

Discussion

Des simulations se jouent depuis 2013 dans le cadre de deux semaines d'enseignement et de formation proposées pour le NATO MILMED COE (*Centre of Excellence for Military Medicine*), en collaboration avec le FHPB (*Force Health Protection Branch*).[10]

Ces formations nous ont amenés à créer deux types de scenarii, correspondant à des objectifs pédagogiques spécifiques. Le scénario dit de niveau 1 correspond à l'acquisition de compétences initiales en gestion d'alerte épidémiologique au niveau d'une équipe en J4 dans le cadre d'un déploiement otanien au Kosovo. Ce scenario décrit une situation simple de propagation dans un contingent militaire et doit être résolu par équipe de quatre ou cinq joueurs en 1h30. Le scénario de niveau 2 est construit pour évaluer des compétences plus avancées et se déroule dans le même contexte. En revanche, le contexte épidémiologique est plus complexe et des contraintes socio-organisationnelles interviennent pour perturber la résolution par l'équipe de joueurs, qui dispose de plus de temps, à savoir trois heures, pour identifier l'épidémie.

[10] \url{https://www.coemed.org/courses/courses-list}\\

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

Construire des scenarii pour la simulation est une étape fondamentale et coûteuse, comme nous en avons eu l'expérience au cours de ces années (figure 4).
Fondamentale pour une mise en situation réussie, son réalisme permet l'immersion en situation, son agencement permet l'ajustement entre les objectifs pédagogiques et les actions/comportements attendus des apprenants.
Coûteuse pour sa conception et sa mise en œuvre, car il s'agit de reproduire les éléments choisis de la réalité, de construire des variations de situations possibles ainsi qu'une dynamique d'interactions entre le scenario et les apprenants.

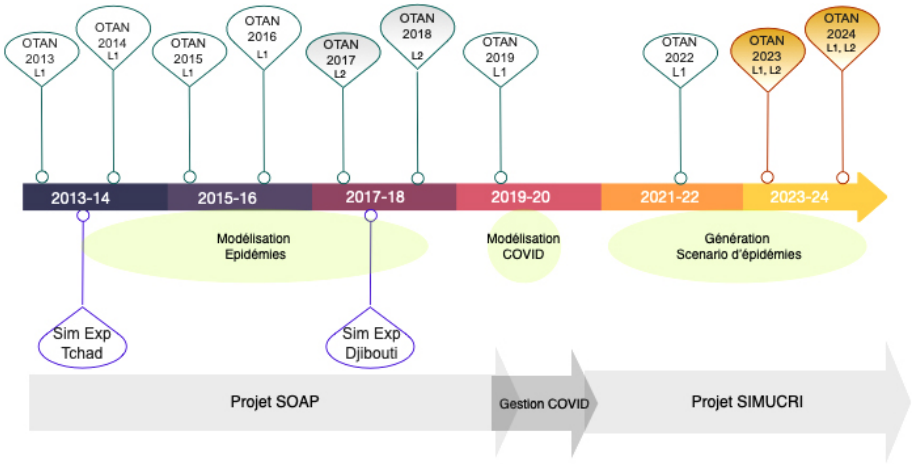


Fig. 4 : Chronologie de la conception de la plateforme de simulation SIMUCRI

Les deux projets successifs SOAP et SIMUCRI nous ont permis de concevoir et de tester au fil de l'eau l'ensemble des outils nécessaires à la conception, l'animation et le jeu fluide et le plus réaliste possible. La génération d'épidémies virtuelles et de ses composantes permet ainsi d'une part d'alléger le processus de scénarisation et d'autre part de gérer de manière plus dynamique la réalisation effective du scenario. Elles composent le noyau artificiel des scenarii à jouer lors des simulations ; les autres composantes restant à la main des enseignants/animateurs/concepteurs. Ainsi, leurs activités pourront se centrer sur la création de chaque récit (le contexte, les personnages, le déroulé, etc.) ainsi que sur les modalités d'évaluation des compétences et comportements des apprenants/joueurs.

Conclusion

Les épidémies et les menaces pour la santé sont des situations complexes, soumises à des contraintes de temps, incertaines et risquées, qui doivent être comprises et gérées à l'aide d'un niveau élevé de connaissances et de compétences spécialisées.
Pour cela, utiliser le développement des compétences par la simulation est un incontournable dans un projet pédagogique en santé publique et épidémiologie.
À des fins de réalisme, la situation de simulation doit contrôler différents éléments pédagogiques (la situation de référence, les compétences attendues, l'évaluation des comportements observés), mais aussi la capacité de reproduction de la complexité de

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

la situation de simulation dans sa scénarisation. Dans le cas de la gestion d'épidémies, la diversité des paramètres du système en jeu (aspects socio-organisationnels, environnementaux, biologiques, etc.) nous a amenés à faire appel aux modèles et techniques de l'ingénierie des connaissances en intelligence artificielle pour créer des épidémies virtuelles. Elles sont le résultat de différents paramètres, ajustables en fonction des objectifs pédagogiques et de la situation de référence choisie.
Notre objectif est, dans la suite de nos travaux, de progressivement intégrer d'autres paramètres situationnels dans EPSEC, en particulier reproduire un réseau d'interactions sociales dans une organisation complexe où les acteurs occupent des rôles et des fonctions définis. Finalement, ces travaux mettent en évidence l'importance de la coaction entre le développement d'outils de modélisation et de scénarisation issus de l'IA et la connaissance des processus humains dans cette activité, pour la construction de scenarii réalistes et l'évaluation efficace des comportements en situation.

Remerciements

Nous remercions le Professeur Nathalie Bonnardel (PsyClé EA 3273, Aix-Marseille Université, Directrice de l'InCIAM - Institut Créativité et Innovations d'Aix-Marseille), pour sa collaboration précieuse depuis dix ans ; le Professeur MCSHC Jean-Baptiste Meynard pour son soutien et sa participation au lancement de ce projet, le service de surveillance épidémiologique des armées du CESPA, nos partenaires du FHPB (anciennement DHSC) et, enfin, l'ensemble de nos étudiants qui ont tous contribué à nos travaux.

Remerciements au linguiste relecteur : Pierre-Alexandre Clerc.

Financements

- Plateforme de simulation pour l'étude et la formation en surveillance sanitaire pour l'alerte précoce (SOAP)- PEA PDH-1-SMO-4-17 (2016-2018).
- Intelligence Collective et Créativité dans des situations Complexes (I3C) Projet Amorce Institut Créativité et Innovations d'Aix-Marseille (InCIAM)-A*MIDEX (2022).
- Gestion initiale de situations épidémiologiques critiques : identification et formalisation des stratégies de compréhension et de prises de décision, Emploi Jeunes Doctorants, Région PACA (2018-2021).

Contributions des auteurs

Tous les auteurs ont contribué de façon égale à la rédaction de cet article.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

Références bibliographiques

1. Trist EL, Bamforth KW. Some social and psychological consequences of the longwall method of coal-getting : an examination of the psychological situation and defences of a work group in relation to the social structure and technological content of the work system. Human Relations. 1951 ;4(1) :3-38. doi : 10.1177/001872675100400101
2. Rasmussen J, Rouse WB, rédacteurs. Human detection and diagnosis of system failures. New York (NY) : Plenum Publishing Corporation ; 1981.
3. Lipshitz R, Strauss O. Coping with uncertainty : a naturalistic decision-making analysis. Organizational Behavior and Human Decision Processes. 1997 ;69(2) :149-63. doi : 10.1006/obhd.1997.2679
4. Klein G. Naturalistic decision-making. Human Factors. 2008 ;50(3) :456-60. doi : 10.1518/001872008X288385
5. Amalberti R. La conduite des systèmes à risques. Paris (FR) : Presses universitaires de France ; 2001.
6. Raser JR. Simulation and society : an exploration of scientific gaming. Boston (MA) : Allyn and Bacon ; 1969.
7. Maline J. Simuler pour approcher la réalité des conditions de réalisation du travail : la gestion d'un paradoxe. Dans : Béguin P, Weill-Fassina A. La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir. Toulouse (FR) : Octarès ; 1997. p. 97-111.
8. Béguin P, Weill-Fassina A. La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir. Toulouse (FR) : Octarès ; 1997. p. 197.
9. Moroney W, Lilienthal M. Human factors in simulation and training : an overview. Dans : Human factors in simulation and training. New York (NY) : Routledge ; 2008. p. 3-38.
10. Hunt E, Minini C, DeVita M. Simulation training programmes for rapid response or medical emergency team. Dans : Riley R. A manual of simulation in healthcare. Oxford (UK) : Oxford University Press ; 2010. p. 320-35.
11. Gaba DM. The future vision of simulation in health care. Quality & Safety in Health Care. 2004 ;13(S1) :i2-i10. doi : 10.1136/qshc.2004.009878
12. Riley R. A manual of simulation in healthcare. Oxford (UK) : Oxford University Press ; 2010. p. 548.
13. Chianara G. Simulation médicale pour acquisition des compétences en anesthésie. Dans : Société française d'anesthésie et de réanimation (SFAR). Congrès national d'anesthésie et de réanimation 2007 : conférences d'actualisation. Paris (FR) : SFAR ; 2007. p. 41-9.
14. Boet S, Granry JC, Savoldelli G, Hodges BD, Gaba DM. La simulation en santé : de la théorie à la pratique. Paris (FR) : Springer-Verlag France ; 2013. p. 442.
15. Bey C. Ingénierie pédagogique et simulation dans le SSA. Médecine & armées. 2017 ;45(5) :495-616. https://revuema.fr/publications/9782813005038
16. Samurçay R, Rogalski J. Exploitation didactique des situations de simulation. Le travail humain. 1998 ;61(4) :333-59. doi : 10.3917/th.614.0333
17. Burnier I, Launay F, Duveau M, Gosset M. Formalisation de la scénarisation d'un dispositif de formation avec patients simulés : la méthode SIMPS (Sujets/Instructions au candidat/Mesures/Patient/Support technique). Pédagogie médicale. 2023 ;24(2) :103-13. doi : 10.1051/pmed/2023016
18. Alinier G. Developing high-fidelity health care simulation scenarios : a guide for educators and professionals. Simulation & Gaming. 2011 ;42(1) :9-26. doi : 10.1177/1046878109355683
19. Rogalski J. La gestion des crises. Dans : Falzon P. Ergonomie. Paris (FR) : Presses universitaires de France ; 2004. p. 531-44.
20. Faulkner B. Towards a framework for tourism disaster management. Tourism Management. 2001 ;22(2) : 135-47. doi : 10.1016/S0261-5177(00)00048-0
21. Pellegrin L, Texier G, Queyriaux B, Meynard JB, Chaudet H. International team expert management of an outbreak alert using a real-time surveillance system : a DHSC simulation study. Dans : NATO Science and Technology Organization. Health surveillance and informatics in missions : disciplinary approaches and perspectives. Paris (FR) : STO ; 2015. p. 5-1 à 5-20. (STO-MP-HFM-254).
22. Texier G, Pellegrin L, Vignal C, Meynard JB, Deparis X, Chaudet H. Dealing with uncertainty when using a surveillance system. International Journal of Medical Informatics. 2017 ;104 :65-73. doi : 10.1016/j.ijmedinf.2017.05.005
23. Asadzadeh A, Samad-Soltani T, Rezaei-Hachesu P. Applications of virtual and augmented reality in infectious disease epidemics with a focus on the COVID-19 outbreak. Informatics in Medicine Unlocked. 2021 ;24 :100579. doi : 10.1016/j.imu.2021.100579

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

24. Kwak M, Kim BJ, Chung JB. Serious game development for public health : participatory design approach to COVID-19 quarantine policy education. JMIR Serious Games. 2024 ;12 :e54968. doi : 10.2196/54968
25. Texier G, Farouh M, Pellegrin L, Meynard JB, Deparis X, Chaudet H. Outbreak definition by change point analysis : a tool for public health decision ? BMC Medical Informatics and Decision Making. 2016 ;16 :33. doi : 10.1186/s12911-016-0271-x
26. Texier G, Jackson ML, Siwe L, Meynard JB, Deparis X, Chaudet H. Building test data from real outbreaks for evaluating detection algorithms. PLoS ONE. 2017 ;12(9) :e0183992. doi : 10.1371/journal.pone.0183992
27. Texier G, Allodji RS, Diop L, Meynard JB, Pellegrin L, Chaudet H. Using decision fusion methods to improve outbreak detection in disease surveillance. BMC Medical Informatics and Decision Making. 2019 ;19(1) :81. doi : 10.1186/s12911-019-0798-8
28. Pellegrin L, Chassery L, Chaudet H, Texier G, Bonnardel N. Decision-making during nonroutine outbreak management : toward an exploration of experts' creative decisions. Applied Ergonomics. 2021 ;90 :103232. doi : 10.1016/j.apergo.2020.103232
29. Chassery L, Pellegrin L, Texier G, Chaudet H, Bonnardel N. Créativité et gestion de crises épidémiologiques. Dans : Bonnardel N, Girandola F, Bonetto E, Lubart T. La créativité en situations : des théories aux applications. Paris (FR) : Dunod ; 2023. p. 349-59.
30. de Laval F, Chaudet H, Gorgé O, Marchi J, Lacrosse C, Dia A, et al. Investigation of a COVID-19 outbreak on the Charles de Gaulle aircraft carrier, March to April 2020 : a retrospective cohort study. Eurosurveillance. 2022 ;27(21) :2100671. doi : 10.2807/1560-7917.ES.2022.27.21.2100671

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816