



HAL
open science

COMPLEXITE DE LA CHAINE LOGISTIQUE HOSPITALIERE ET DU COVID-19: VERS UNE MODELISATION MULTI-AGENTS

Ahmed Chtioui, Imane Bouhaddou, Abla Chaouni Benabdellah, Asmaa
Benghabrit

► **To cite this version:**

Ahmed Chtioui, Imane Bouhaddou, Abla Chaouni Benabdellah, Asmaa Benghabrit. COMPLEXITE DE LA CHAINE LOGISTIQUE HOSPITALIERE ET DU COVID-19: VERS UNE MODELISATION MULTI-AGENTS. 13^{ème} CONFERENCE INTERNATIONALE DE MODELISATION, OPTIMISATION ET SIMULATION (MOSIM2020), 12-14 Nov 2020, AGADIR, Maroc, Nov 2020, AGADIR (virtual), Maroc. hal-03192788

HAL Id: hal-03192788

<https://hal.science/hal-03192788>

Submitted on 8 Apr 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.

COMPLEXITE DE LA CHAINE LOGISTIQUE HOSPITALIERE ET DU COVID-19 : VERS UNE MODELISATION MULTI-AGENTS

Ahmed CHTIQUI, Imane BOUHADDOU, Abla CHAOUNI BENABDELLAH

Asmaa BENGHABRIT

Laboratoire LM2I, ENSAM, MEKNES, MAROC

ahmed.chtioui79@gmail.com

i.bouhaddou@umi.ac.ma

benabdellah.abla@gmail.com

Laboratoire LMAID, ENSMR, RABAT, MAROC

Laboratoire LM2I, ENSAM, MEKNES, MAROC

a.benghabrit@gmail.com

RESUME : La crise sanitaire du Covid-19 a frappé de plein fouet toutes les sphères de l'activité humaine. Les secteurs de soins de par le monde, censés contrecarrer la propagation de la maladie et d'en limiter l'étendue sont à bout de souffle suite au manque cruel de moyens et de ressources notamment au pic de la pandémie. Les Chaînes Logistiques Hospitalières (CLH), dont la mission est de mettre à disposition des services de soins ce dont ils ont besoin pour assurer la prise en charge médicale des patients, se sont vues à leurs tours bouleversées par la crise, ce qui mettrait à coup sur le processus de soin en péril. Par ailleurs, la complexité de la CLH conjuguée à la propagation aléatoire et imprévisible du Covid-19 est à même de générer un système très complexe [CLH & Covid-19], et par conséquent compliquer davantage sa compréhension et par la suite sa maîtrise. Dans ce contexte, le présent papier se propose d'abord, de présenter la CLH et de montrer sa complexité, ensuite de prouver via un matching que la propagation du Covid-19 présente des caractéristiques similaires à celles des systèmes complexes, avant de mettre en évidence l'intérêt des Systèmes Multi-Agents (SMA) en tant que paradigme spécifique aux systèmes complexes pour la modélisation du système étudié.

MOTS-CLES : Covid-19, Chaîne logistique hospitalière, Complexité, Systèmes complexes, Systèmes Multi-Agents.

1 INTRODUCTION

Edgar Morin, le père de la pensée complexe a dit « dans l'histoire humaine, c'est presque toujours l'improbable qui est arrivé et pas le probable : attendons-nous à l'inattendu!». En effet, la crise du Covid-19 a pris de court le monde entier, car tout simplement il ne s'y attendait pas. Les systèmes de soins qui sont supposés constituer des remparts contre les crises sanitaires, s'en sortent difficilement. Le nouveau coronavirus a montré plusieurs fragilités et limites de ces systèmes. Même les pays reconnus pour l'efficacité et la performance de leurs secteurs de soins se sont trouvés brusquement dans la tourmente de la pandémie, et se sont rendus compte de leur manque de préparation face à un choc sanitaire d'une telle ampleur.

Dans ce sillage relatif aux effets du Covid-19 sur les composantes des systèmes de santé, la Chaîne Logistique Hospitalière (CLH), considérée comme l'un des leviers de performance de toute structure de soins, n'a pas échappé à l'impact de la crise actuelle et s'en est trouvé grandement affectée, ce qui peut avoir de lourdes conséquences sur le processus de soins (la prise en charge médicale des patients). Ceci est d'autant plus vrai si l'on tient compte du caractère complexe de la CLH.

Par ailleurs, il est à signaler que les recherches menées jusqu'à présent n'arrivent pas à démystifier et à cerner

tous les contours relatifs à la propagation de la pandémie du Covid-19, sa nature imprévisible et aléatoire le rend un phénomène fondamentalement complexe. Ainsi, nous avons un système complexe (CLH) qui fait face à un phénomène qui ne manque pas de complexité (propagation du Covid-19), autrement dit à la complexité de la CLH vient s'adjoindre une autre complexité liée au Covid-19, ce qui débouchera sur un système [CLH & Covid-19] très complexe et difficilement gérable (figure 1) :

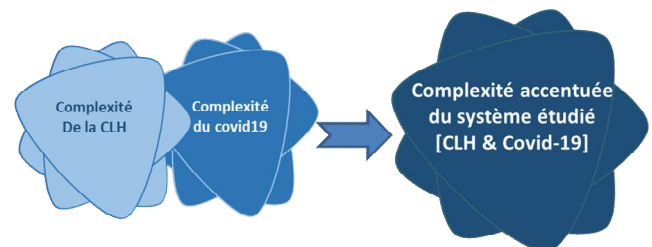


Figure 1 : Complexité du système étudié

Afin de faire face à cette grande complexité et par conséquent mieux comprendre notre système, il convient, après avoir montré la complexité de la CLH et du Covid-19, de justifier l'intérêt de la théorie des systèmes complexes, notamment les Systèmes Multi-Agents (SMA), pour la modélisation de notre système.

Pour ce faire, notre papier sera organisé comme suit : dans la première partie nous allons présenter la CLH, en particulier les processus susceptibles d'être affectés par

la crise. Ensuite, nous allons prouver par un *matching*, que le Covid-19 présente des caractéristiques identiques à celles des systèmes complexes, notamment en termes de sa propagation. Enfin dans la quatrième partie, nous allons montrer l'intérêt des SMA en tant que paradigme spécifique aux systèmes complexes, pour la modélisation du système étudié.

Mais avant d'entrer dans le vif du sujet, nous rappelons que notre système est composé de deux systèmes distincts, à cet effet, et pour pallier toute éventuelle confusion nous l'avons scindé en deux sous-systèmes (figure 2) :

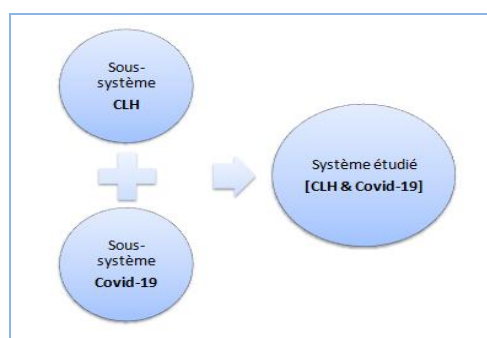


Figure 2 : Système étudié [CLH & Covid-19]

2 COMPLEXITE DE LA CHAÎNE LOGISTIQUE HOSPITALIÈRE

Dans la littérature, nous trouvons une panoplie de définitions relatives à la Chaîne Logistique Hospitalière (CLH), les auteurs l'ont abordée chacun selon l'aspect ou le domaine qui l'intéresse le plus.

Par exemple Chow et Heaver (Chow et al., 1994) identifient trois grandes activités à la logistique hospitalière :

- L'approvisionnement qui regroupe les achats et la gestion des stocks des différents produits.
- La production qui gère les différentes activités de transformation telles que la lingerie, les cuisines, la stérilisation, etc.
- La distribution qui veille à l'acheminement des différents produits des zones d'entreposage vers les différents points d'utilisation, ou du transport des déchets aux zones d'expédition.

Selon Landry et Beaulieu (Landry et Beaulieu, 2000) la logistique hospitalière, se définit comme un ensemble d'activités de conception, de planification et d'exécution permettant l'achat, la gestion des stocks et le réapprovisionnement des biens et services entourant la prestation de services médicaux aux patients.

Pour les processus conception et planification, Di Martinely et al. (2005) retiennent le modèle suivant :

- Au niveau de la conception, la logistique hospitalière peut intervenir pour la structuration des ressources principales (plateaux techniques, imagerie,...) et pour l'implantation.
- Au niveau de la planification, la logistique hospitalière contribue à la planification du besoin des ressources

(personnel soignant, équipement médical, etc.), la planification et l'ordonnancement des activités de soins et la réorganisation en fonction des aléas.

Finalement, pour Sampieri et al. (Sampieri, 2000) la logistique hospitalière est "la technologie de la maîtrise des flux physiques et de la trajectoire des patients par les flux d'information".

Nous nous contentons de ces quatre définitions dans la mesure où elles couvrent pratiquement l'ensemble des processus logistiques dans un hôpital, en particulier ceux susceptibles d'être affectés par la crise sanitaire actuelle (Covid-19). Il s'agit notamment des processus : conception, planification, approvisionnement, production et distribution. En plus des cinq processus, nous nous intéressons aussi aux flux physiques et les flux informationnels qui y sont associés.

Par ailleurs, la CLH est un système complexe à plus d'un titre, « diverses sources impliquent la complexité des chaînes logistiques. Le flux de matières et d'informations représentent les principaux facteurs de complexité le long de la chaîne logistique en raison de plusieurs facteurs tels que la diversité, l'incertitude, la variabilité et l'interdépendance, etc. » (Chaouni Benabdellah et al, 2017. « En se basant sur l'ingénierie de système caractérisé par la multidisciplinarité, la coordination des disciplines et les collaborations des acteurs, ceci nous amène à considérer la complexité de la chaîne logistique comme une complexité de système » (Chaouni Benabdellah et al, 2017). En effet, aux fins d'analogie entre la chaîne logistique globale et la CLH, nous pouvons dire que la diversité des processus logistiques en milieu hospitalier (multidisciplinarité) et leurs interactions incessantes à travers des flux physiques et d'information (coordination et collaboration), conjugués à un environnement hospitalier aussi mouvant que complexe et à l'incertitude de l'activité médicale, font de la CLH un système complexe de premier plan. Les auteurs dans (Chaouni Benabdellah et al, 2019) ont pris le soin de montrer la complexité de la chaîne logistique globale en reproduisant les principales caractéristiques d'un système complexe.

3 COMPLEXITE DE LA PROPAGATION DU COVID-19

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) « les coronavirus forment une vaste famille de virus qui peuvent être pathogènes chez l'homme et chez l'animal. On sait que, chez l'être humain, plusieurs coronavirus peuvent entraîner des infections respiratoires dont les manifestations vont du simple rhume à des maladies plus graves comme le syndrome respiratoire du Moyen-Orient (MERS) et le syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS). Le dernier coronavirus (SARS-COV-2) qui a été découvert est responsable de la maladie à coronavirus 2019 (COVID-19)».

La gravité du Covid-19 tient en grande partie à son caractère aussi aléatoire qu'imprévisible, ainsi qu'à la vitesse de sa diffusion (forte contagion). Pour pouvoir comprendre les mécanismes de sa propagation, il

convient de le considérer comme un système complexe, autrement dit, nous allons essayer dans cette section de montrer que les caractéristiques comportementales du Covid-19 notamment en termes de sa diffusion, ne sont pas loin pour ne pas dire similaires aux propriétés des systèmes complexes.

Pour ce faire, il serait judicieux de s'arrêter de prime abord, ne serait-ce que brièvement sur les notions de la complexité et des systèmes complexes.

Pour Edgar Morin, la pensée complexe est la meilleure voie pour comprendre le monde dans sa diversité, d'après lui la complexité peut être reconnue comme étant « l'incertitude au sein de systèmes richement organisés » (Morin, 2005), (Morin, 2007).

Par ailleurs, un système complexe est défini comme étant un système qui se compose d'un grand nombre d'entités hétérogènes et des interactions créant une structure collective et une organisation (Landyman et al. 2013). Ces interactions et interdépendances sont difficiles à décrire, comprendre, prévoir, gérer, développer et/ou à changer (Leverson, 2004 ; Sheard, 2006).

Plus récemment, les auteurs dans (A.Benabdellah et al., 2020) définissent un système complexe comme étant un ensemble de composantes qui peuvent être homogènes ou hétérogènes qui interagissent dynamiquement de façon non linéaire avec une sensibilité aux conditions initiales. Il peut survenir un comportement qui n'est ni complètement aléatoires ni complètement réguliers à plusieurs niveaux et échelles avec des propriétés nouvelles que l'on ne trouve dans aucune des composantes prise individuellement. Ceci dit qu'un petit changement en une composante peut avoir de lourdes conséquences sur le comportement du système dans son ensemble.

S'il n'y a pas dans la littérature une définition exhaustive des systèmes complexes, il y a par contre un compromis autour des propriétés les caractérisant. A ce titre, (Weaver, 1948), (Simon, 1962) et (A. Benabdellah et al., 2020) dans leurs définitions font états des notions suivantes :

- ✓ Le système est composé d'agents en interaction ;
- ✓ Leur comportement émergent ne résulte pas de l'existence d'un contrôleur central ;
- ✓ Le système peut montrer un comportement imprévisible ou conduire à une explosion incontrôlée ;
- ✓ Un petit changement dans les causes peut impliquer des effets dramatiques.

Donc, après avoir eu une idée sur les propriétés des systèmes complexes, focalisons-nous à présent sur la manière avec laquelle le Covid-19 se propage, qu'il s'agisse des modes de transmission du virus ou bien de la conduite des individus composant notre sous-système Covid-19: [personnes saines, personne contaminées, personnes potentiellement contaminées, porteurs sains (forme asymptomatique de la maladie)], pour voir dans quelle mesure elle présente des similitudes avec les propriétés précitées.

Pour l'OMS « La maladie se propage principalement par les gouttelettes respiratoires expulsées par les personnes qui toussent. Le risque de contracter la COVID-19 au contact d'une personne qui ne présente aucun symptôme est très faible. Cependant, beaucoup de personnes atteintes ne présentent que des symptômes discrets. C'est particulièrement vrai aux premiers stades de la maladie. Il est donc possible de contracter le COVID-19 au contact d'une personne qui n'a, par exemple, qu'une toux légère mais qui ne se sent pas malade. L'OMS examine les travaux de recherche en cours sur le délai de transmission du COVID-19 et elle continuera à communiquer des résultats actualisés »

Aussi, nous considérons que la conduite ou le comportement des éléments constituant notre système pourraient avoir une incidence conséquente sur la propagation de la maladie.

Donc pour établir une sorte d'analogie, nous avons essayé, malgré l'insuffisance des données à l'heure où nous écrivons ce papier, du fait que les recherches sont à pieds d'œuvre pour appréhender les contours et comprendre les mécanismes de diffusion de la maladie, de prouver qu'il s'agit d'un système complexe en établissant un *matching* entre les propriétés des systèmes complexes et les propriétés du sous-système Covid-19, en s'inspirant de la démarche des auteurs dans (Chaoui Benabdellah et al, 2018). Le tableau suivant résume les conclusions du *matching*.

| Propriétés des systèmes complexes | Description | Propriétés du sous-système Covid-19 |
|--|---|---|
| Hétérogénéité Interaction Connectivité | Un système complexe est défini comme étant un système qui se compose d'un grand nombre d'entités hétérogènes et des interactions créant une structure collective et une organisation (Landyman et al. 2013). Une mesure ou une décision prise par une partie à l'intérieur d'un système influencera toutes les pièces connexes mais pas de manière uniforme (Zwinrn, 2006). | Le sous-système étudié est composé d'éléments hétérogènes (personnes saines, personne contaminées, personnes potentiellement contaminées, porteurs sains) en interaction entre eux et avec leur environnement. Le comportement de chaque élément impactera les autres éléments mais pas de manière uniforme (ça dépend de leur conduite : mesures de protection, gestes barrières, distanciation sociale...). |

| Propriétés des systèmes complexes | Description | Propriétés du système étudié |
|-----------------------------------|--|--|
| Emergence | Elle se réfère à l'apparition inattendue des configurations spatiales et temporelles dans la dynamique et de la structure du système (Parrot, 2002). | En effet, eu égard à l'hétérogénéité et l'interaction entre les éléments du sous-système, et en tenant compte du comportement de chacun d'eux, de l'observation des gestes barrières etc., il n'est pas évident de prédire la configuration ou l'état du sous-système dans le temps et dans l'espace (Ex : à chaque fois le nombre de cas positifs surprend, des foyers de contamination sont détectés...). |
| Non linéarité | Les relations entre les entités du système ne peuvent pas être exprimées par un facteur de proportionnalité simple. L'évolution du système a entraîné une forte sensibilité aux conditions initiales : une légère perturbation dans l'état initial du système peut diverger en dehors de son chemin habituel (Zwinrn, 2006). | Effectivement nous sommes devant un phénomène très aléatoire, loin de la linéarité. Aussi, l'évolution de notre système reste tributaire des conditions initiales (nombre de cas enregistré initialement, prise de conscience précoce de la gravité de la maladie et de sa forte contagion, mesures prises pour endiguer la pandémie...). |
| imprévisibilité | La raison pour laquelle l'évolution ne peut pas être prédite ou contrôlée comme il aurait aimé la science déterministe traditionnelle est la nature imprévisible des systèmes complexes (Parrot, 2002). Généralement la complexité suggère une forte contrainte d'imprévisibilité de la dynamique ou d'évolution du système considéré (Donnadieu and Karsky, 2004) | Notre sous-système est fortement imprévisible. On ne peut pas prédire ni contrôler son évolution dans la mesure où plusieurs paramètres et variables y interviennent (trajet de l'individu infecté, personnes contactées, porteurs sains, mesures de protection prises et gestes barrières, conscience de la population, fréquence des tests de dépistage...). A présent, on ne peut pas réduire l'imprévisibilité tant qu'on n'a pas une connaissance parfaite du sous-système. |

| | | |
|-------------|---|--|
| Coévolution | Avec la coévolution, les éléments d'un système peuvent changer en fonction de leurs interactions entre eux et avec l'environnement. En outre, les modèles de comportement peuvent changer au fil du temps (Chan, 2001). | En effet, l'état de notre sous-système va forcément changer (contamination, guérison, décès...), en fonction des interactions de ses éléments et des paramètres cités auparavant. Aussi les modèles de comportement du sous-système pourraient évoluer avec le temps parallèlement à l'évolution de la conduite de ses éléments (mesures de protection, confinement...). |
|-------------|---|--|

Tableau 1 : Analogie entre les propriétés des systèmes complexes et celles du sous-système Covid-19.

Donc, à l'issue de cette analyse comparative, l'on peut déduire que le comportement de notre sous-système, que nous estimons décisif dans la propagation de la maladie, s'apparente largement aux propriétés d'un système complexe, d'où l'intérêt de sa modélisation par les paradigmes spécifiques aux systèmes complexes. De surcroît, nombre de questions susceptibles d'agir sur la propagation de la maladie demeurent en suspens et nécessitent des réponses de la part de scientifiques mobilisés pour démystifier ce phénomène épidémiologique, genre : les malades guéris sont-ils immunisés ? Le covid-19 se transmet-il par voie aérienne (le virus reste-t-il longtemps dans l'air) ? Le virus est-il sensible aux conditions climatiques (météo-sensible) ? etc. Ce qui accroît davantage sa complexité.

4 INTERET DES SYSTEMES MULTI-AGENTS POUR LA MODELISATION DU SYSTEME ETUDIE.

L'étude empirique que nous avons menée a montré que la crise sanitaire provoquée par le Covid-19 a considérablement impacté la CLH à bien des égards. A ce sujet, si le processus approvisionnement reste de loin le maillon le plus affecté de la chaîne, suite à l'effet coup de fouet résultant de l'énorme perturbation constatée au niveau de la chaîne d'approvisionnement mondiale, et traduit sur le terrain par la pénurie voire la rupture de stocks de certains produits pharmaceutiques et équipements médicotecniques cruciaux dans la prise en charge des patients atteints de la maladie, les autres processus logistiques n'ont pas été épargnés par la pandémie, notamment les processus stérilisation, lingerie, restauration et gestion des déchets médicaux, dans la mesure où ils peuvent être non seulement impactés mais également des vecteurs de diffusion du virus s'ils ne sont pas correctement maîtrisés, ce qui

justifie l'intérêt de modéliser le système [CLH & Covid-19].

La modélisation est un processus de représentation qui permet d'obtenir une image approchée du système réel suite à une phase d'abstraction. Ce processus facilite l'étude et la compréhension des systèmes (Labarth, 2006). De plus la modélisation réduit la réalité en vue d'une certaine finalité (communiquer, piloter, former, dupliquer), cette réduction permet de se focaliser sur l'essentiel et offre une représentation simplifiée et intelligible de la réalité. La connaissance du modèle permettra ainsi de réagir sur la réalité (Thiault, 2007). Par ailleurs, les chaînes logistiques hospitalières se caractérisent par une forte incertitude en matière d'approvisionnement, de la demande et du processus de soins, des risques importants et un contexte à fortes perturbations. Dans ce sens, la modélisation et la simulation s'imposent pour pourvoir étudier les dangers et risques qui peuvent survenir et perturber la bonne marche de la chaîne logistique (Khatrouch, 2010). A cet effet, nous considérons que la modélisation constitue dans notre cas une voie sûre pour comprendre au mieux notre système afin de le maîtriser. Nous rappelons ici que notre système est très complexe, les interactions de ces éléments et les comportements qui en émergent nous imposent d'opter pour les modèles de simulation au détriment des modèles analytiques. A ce sujet, Les principales approches (paradigmes) de la modélisation par simulation sont : Dynamique des systèmes (DS), systèmes dynamiques (SD), événement discret (ED) et simulation par agents (SMA). En examinant la littérature, nous pouvons voir que les chercheurs de systèmes complexes préfèrent souvent utiliser des approches de modélisation basées sur l'agent (ou individuelles), la modélisation et la simulation de systèmes complexes (W. Aslaksen, 2009). Dans cette optique, les caractéristiques des SMA semblent être particulièrement adaptées pour la représentation et la simulation des systèmes industriels dynamiques. En effet, il existe une forte analogie entre les caractéristiques architecturales et les pratiques organisationnelles des SMA et de la chaîne logistique. Les deux systèmes sont considérés comme un réseau d'entités et d'acteurs qui interagissent au sein d'une organisation afin d'atteindre un objectif en commun (J.Tounsi, 2009). Pour illustrer le bien fondé de notre idée, nous présentons dans le tableau 2 une comparaison entre les approches de modélisation par simulation établie par les auteurs dans (Chaouni Benabdellah et al, 2016), basée sur les caractéristiques clés qui définissent la complexité d'un système et que nous avons détaillées le long de la deuxième partie.

| Modèle | Caractéristiques de la complexité | Avantages | Inconvénients |
|--------|---|---|--|
| DS | -Non linéarité -Hiérarchie -Ouvert -Dynamique | -Objets passifs. -Espace implicite. | -Incapacité de capturer les effets spatiaux. |
| SD | -Non linéarité -Hiérarchie -Ouvert -Dynamique -Paradoxe | -Analyse globale. -Espace implicite. -Niveau élevé d'interactions. | -Difficulté de déterminer quelles parties du problème doivent être modélisées. -Difficulté d'obtenir des données agrégées exactes. |
| SMA | -Non linéarité -Dynamique -Contrôle distribué -Adaptation -Ouvert -Paradoxe -Connectivité -Hétérogénéité -Emergence (micro) | - Hétérogénéité des agents. -Interactions variées. -Contrôle distribué. -Niveau local. | -La rationalité impliquée par les modèles classiques (optimalité) n'est pas atteignable. -Difficultés de considérer plusieurs niveaux d'abstractions - Difficulté de déterminer quelles parties de la réalité doivent être modélisées. |

Tableau 2: Comparaison entre les différentes approches de modélisation par simulation (Chaouni Benabdellah et al, 2016)

Force est de constater après l'analyse du tableau 2, que les SMA est le paradigme le plus adapté aux caractéristiques de la complexité et par conséquent aux propriétés des deux sous-systèmes : CLH et Covid-19, analysés respectivement dans la deuxième et la troisième partie de ce papier.

En effet, l'intérêt d'opter pour une approche multi-agents pour modéliser notre système tient au fait que ce dernier est composé de deux sous-systèmes CLH et Covid-19 aussi complexes l'un que l'autre, ce qui accroît sa complexité de manière substantielle. Chaque sous-système comporte des entités ou bien des agents hétérogènes impliqués dans une dynamique et des interactions incessantes intra et inter sous-systèmes (figure 3) :

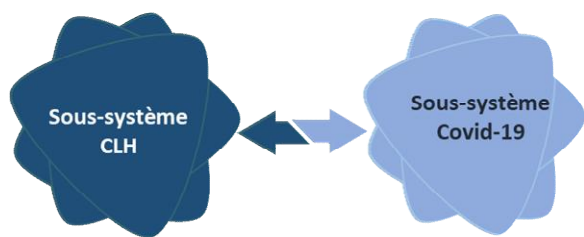


Figure 3 : Interactions intra et inter sous-systèmes

Pour illustrer ces interactions de manière pratique, nous pouvons dire que la crise du Covid-19 a eu des impacts sur tous les aspects de la CLH (processus, flux etc.), en retour, cette dernière va riposter par un ensemble de mesures pour parer aux effets de la pandémie. Nous estimons donc qu'une modélisation à base d'agents de l'ensemble de ces interactions et des comportements émergents permet de mieux comprendre les mécanismes produits et observés dans notre système. L'objectif ultime étant de mesurer l'impact du Covid-19 sur la CLH, mais aussi de juger la pertinence des mesures prises pour y faire face.

5 CONCLUSION

En somme, la crise sanitaire provoquée par le Covid-19 a bouleversé considérablement les systèmes de santé à travers le monde. Les ressources nécessaires pour contrer ses effets désastreux ont fait défaut surtout au pic de la pandémie, ce qui remet en cause le rôle central de la CLH comme support incontournable du processus de soins.

A travers ce papier, nous avons montré que la CLH qui est un système complexe fait face à un phénomène aussi complexe (la propagation du Covid-19), débouchant ainsi sur un système très complexe [CLH & Covid-19] dont la compréhension et par la suite la maîtrise passe par une modélisation en utilisant l'une des approches spécifiques aux systèmes complexes, en particulier les SMA, du fait que c'est le paradigme le mieux adapté et qui correspond le plus aux exigences des systèmes complexes. Ladite modélisation va nous permettre d'abord de mieux comprendre notre système afin de le maîtriser, et à terme, de faire face à l'impact du Covid-19 et de toute crise sanitaire d'envergure similaire sur la CLH et par conséquent sur le processus de soins.

Par ailleurs, nous pensons que les actions, les réactions, les interactions etc. qui émergeraient dans notre système seraient nécessairement les résultats des effets du Covid-19 sur la CLH et des mesures prises pour y faire face, d'où l'intérêt de se pencher sérieusement sur ces deux aspects à travers une analyse assez détaillée, pour disposer in fine de tous les éléments nécessaires à la modélisation multi-agents du système étudié.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement Monsieur Youssef BENGHABRIT, Directeur du CEDoc de l'ENSAM de Meknès et responsable de notre équipe pour son soutien et son accompagnement indéfectibles, mais aussi pour sa contribution précieuse à la réalisation de ce travail et de tous nos travaux de recherche.

REFERENCES

- Benabdellah.C. A., Bouhaddou. I., Benghabrit. A. & Zemmouri.E.M. 2016. Big Data for Supply Chain Management: Opportunities and Challenges.
- Benabdellah.C. A., Bouhaddou. I., Benghabrit. A. 2017. « Complexité de la chaîne logistique : compromis entre modèle analytique et un modèle de simulation agents » CIGIMS 2017 (ENSAM-Meknès, MAROC).
- Benabdellah.C. A., Bouhaddou. I., Benghabrit. A. 2018. « Supply Chain challenges with Complex Adaptive System perspective ». World Conference on Information Systems and Technologies. WorldCIST'18.
- Benabdellah.C. A., Bouhaddou. I., Benghabrit. A. 2019. « Holonic multi-agent system for modeling complexity structures of New Product Development process ». 2019 4th World Conference on Complex Systems (WCCS), 1-6, 2019.
- Benabdellah.C.A., Bouhaddou. I., Benghabrit. A. 2020. Complexity drivers in engineering design. Journal of Engineering, Design and Technology.
- Chan, S, 2001. Complex adaptative systems.EDS.83 Research Seminar in Engieneering Systems October 31, 2001/November 6,200.
- Chow. G., Heaver. T. et Henriksson. L. 1994. «Logistics performance: Definition and Measurement», International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, vol 24, n°1.
- Di Martinelly, C., Guinet. A. et Riane. F. 2005. Chaîne logistique en milieu hospitalier : modélisation des processus de distribution de la pharmacie. 6e Congrès international de génie industriel, 7-10 juin, Besançon, France.
- Erik W. Aslaksen. 2009. Designing Complex Systems Foundations of Design in the Functional Domain. Complex and Enterprise Systems Engineering Series.
- Karsky, M, 2004. La dynamique des systèmes complexes ou la systémique de l'ingénieur, référence AG1565.

- Khatrouch, I., El mhamedi, A., Boujelben, Y. et Kermad, L. 2010. Analyse des risques dans la chaîne logistique hospitalière par l'approche systémique : application de la méthode MADSMOSAR, GISEH.
- Labarth, O. 2006. Modélisation et simulation orientées agents de chaînes logistiques dans un contexte de personnalisation de masse : modèles et cadre méthodologique, thèse de Doctorat, faculté des sciences de l'administration, université Laval, Québec.
- Ladyman, J., Lambert, J. et Wiesner, K. 2013. What is complex system ?. European Journal for Philosophy of science.
- Landry S. et Beaulieu M., 2000. "Étude internationale des meilleures pratiques de logistique hospitalière ", Cahier de recherche n° 00-05, HEC Montréal.
- Leverson, N. 2004. A new accident model for engineering safer system. Safety science.
- Morin, E. 2005. Introduction à la pensée complexe. Edition du Seuil, Collection Points.
- Morin, E. 2007. "Restricted complexity, general complexity." Worldviews, science and us: Philosophy and complexity.
- Parrot, L, 2002. Complexity and the limits of Ecological Engineering. Transaction of the ASAE.
- Sampieri N., Bongiovanni I., 2009. " Enjeux et perspectives des pratiques logistiques : pour une amélioration globale de la performance – Le cas de l'hôpital public français ", RIRL 2000 – Les Troisièmes Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique, Trois-Rivières, CRET-LOG.19P.
- Sheard, S. 2006. Complex Systems Science and its Effects on Systems Engineering, European Systems Engineering Conference, Edinburgh, UK, 18-20
- Simon, H. A. 1962. The architecture of complexity. Proceedings of the American philosophical society.
- Tounsi, J. 2009. Modélisation pour la simulation de la chaîne logistique globale dans un environnement de production PME mécatroniques, thèse de Doctorat, Université de Savoie, France.
- Weaver, W. 1948. Science and complexity. In American Scientist, 36 : 536-544.
- Zwirn, H.P, 2006. Les systèmes complexes. Mathématiques et biologie, Paris, Editions Odile Jacob. P 219.