

# Conception d'un modèle de simulation pour l'évaluation de la pertinence de l'Internet Physique pour les chaînes d'approvisionnement humanitaires

Manon Grest, Matthieu Lauras, Benoit Montreuil

## ► To cite this version:

Manon Grest, Matthieu Lauras, Benoit Montreuil. Conception d'un modèle de simulation pour l'évaluation de la pertinence de l'Internet Physique pour les chaînes d'approvisionnement humanitaires. CIGI-Qualita21: 14ème Conférence Internationale Génie Industriel QUALITA, May 2021, Grenoble (à distance), France. pp.211-218. hal-03331780

**HAL Id: hal-03331780**

**<https://hal-mines-albi.archives-ouvertes.fr/hal-03331780>**

Submitted on 2 Sep 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.

## Conception d'un modèle de simulation pour l'évaluation de la pertinence de l'Internet Physique pour les chaînes d'approvisionnement humanitaires

MANON GREST<sup>1</sup>, MATTHIEU LAURAS<sup>1</sup>, BENOIT MONTREUIL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IMT MINES ALBI

CAMPUS JARLARD 81000 ALBI, FRANCE

[MANON.GREST@MINES-ALBI.FR](mailto:MANON.GREST@MINES-ALBI.FR) & [MATTHIEU.LAURAS@MINES-ALBI.FR](mailto:MATTHIEU.LAURAS@MINES-ALBI.FR)

<sup>2</sup> GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

NORTH AVE NW, ATLANTA, GA 30332, ETATS-UNIS

[BENOIT.MONTREUIL@ISYE.GATECH.EDU](mailto:BENOIT.MONTREUIL@ISYE.GATECH.EDU)

---

**Résumé** – La livraison de produits de première nécessité aux victimes des catastrophes naturelles représente un véritable défi pour les organisations humanitaires. Critiquées pour un manque d'efficacité, elles doivent aujourd'hui chercher à se réinventer. L'approche Internet Physique, qui propose une réorganisation de la logistique pour une meilleure gestion des ressources et coordination des acteurs tout en répondant aux exigences croissantes des parties prenantes et environnementales, pourrait s'avérer pertinente pour le secteur humanitaire. Cependant, cette hypothèse demande à être vérifiée au travers d'une démarche scientifique rigoureuse. Dans cette perspective, l'article propose la structuration d'une expérience basée sur un modèle de simulation de flux afin d'évaluer la pertinence de l'application de concepts de l'Internet Physique à un contexte humanitaire. Les étapes définies, inspirées des concepts de l'ingénierie des systèmes, permettent de garantir à la simulation son adéquation avec l'objectif de l'expérience et sa fiabilité.

**Abstract** – In the aftermath of a disaster, supplying relief items to affected people is a real challenge for humanitarian organizations. Showing a lack of effectiveness in the response, their practices are put into question. The Physical Internet approach, aiming at reorganizing logistics in a way for improved resource management and better coordination of actors while meeting the stakeholders and environment growing expectations, seems relevant for the humanitarian sector reinvention. However, this assumption needs to be proved through a rigorous scientific process. In this perspective, the paper offers to frame the design of an experiment based on a flow simulation model to evaluate the relevance of the Physical Internet concepts application in a humanitarian context. The steps defined, inspired by the system engineering field, ensure that the simulation meets the objective while ensuring the experiment reliability.

**Mots clés** - chaîne d'approvisionnement humanitaire, internet physique, simulation, ingénierie des systèmes

**Keywords** – humanitarian supply chain, physical internet, simulation, systems engineering

---

### 1 INTRODUCTION

Lorsqu'une catastrophe se produit, des opérations de secours humanitaires sont organisées afin de sauver des vies et de soulager au maximum les souffrances des personnes affectées. Cependant, la réponse apportée par les acteurs humanitaires souffre d'un manque d'efficacité (Chiappetta Jabbour et al., 2017; Haavisto and Goentzel, 2015). En effet, l'urgence de la situation, l'environnement perturbé et le manque de visibilité sont des difficultés additionnelles à gérer en plus de l'organisation des secours elle-même (Tomasini and Wassenhove, 2009). Face à ce constat, les pratiques des Organisations Humanitaires (OHs) sont remises en question. Avec une approche en rupture de la logistique actuelle, l'Internet Physique (IP), un récent concept destiné à répondre aux problématiques économiques, sociales et environnementales rencontrées dans un contexte de chaîne d'approvisionnement, semble présenter des atouts intéressants pour le secteur humanitaire (Montreuil et al., 2012). En effet, en redéfinissant la manière dont les objets sont déplacés, déployés, réalisés, fournis, conçus et utilisés, l'IP entend rendre la logistique plus efficace, durable, intelligente, agile, adaptable,

évolutive et résiliente (Ballot, 2014). L'idée d'une approche IP appliquée au secteur humanitaire a récemment été examinée, d'un point de vue conceptuel, par un petit nombre d'auteurs (Abdoulkadre et al., 2014; Grest et al., 2019). Aujourd'hui, tout l'enjeu réside dans la démonstration que la mise en œuvre des concepts issus de l'IP dans les chaînes d'approvisionnement humanitaires (CAHs) entraînerait des résultats positifs sur leur performance. Pour cela, une démarche d'expérimentation structurée s'impose et c'est là l'objet du présent article qui s'attache à décrire l'approche envisagée ainsi que la conception d'un modèle de simulation ad hoc permettant de mener à bien cette étude.

L'article est donc structuré comme suit : la section 2 est consacrée à une revue de littérature relative aux CAHs et aux grandes lignes du concept d'IP et propose un aperçu des caractéristiques d'une CAH hyperconnectée. La section 3 décrit quant à elle (i) la méthode proposée et (ii) le modèle de simulation suggéré. La partie 4 est dédiée à la conclusion et aux suites à mener.

## 2 REVUE DE LITTÉRATURE

### 2.1 Les chaînes d'approvisionnement humanitaire

Au fil des ans, le nombre et la complexité des catastrophes n'ont cessé d'augmenter et cette tendance devrait se poursuivre à l'avenir (Cuzzolino, 2012). Les dommages causés privent ou rendent difficile l'accès aux populations à leurs biens et à leurs ressources et peuvent même mettre leurs vies en danger. Quand cela arrive, les populations peuvent compter sur l'aide des organisations humanitaires pour restaurer leurs dignités et les aider à retrouver des conditions de vie proches de l'avant incident (Kovacs and Spens, 2007). Pour répondre à cette demande, les OHs s'appuient sur leur logistique, qui pèse pour environ 80 % de l'ensemble des efforts à fournir (Van Wassenhove, 2006). Étant donné que des vies sont en jeu, les organisations doivent s'assurer de la complétion de leurs activités, et ce, de la manière la plus efficace possible. Bien qu'évident, cela est beaucoup plus complexe en pratique. En effet, le contexte particulier et les nombreux défis auxquels elles ont à faire face compromettent le bon déroulement des opérations. Pour en approfondir le sujet, les sections suivantes développent la manière dont les OHs gèrent aujourd'hui les catastrophes et les défis rencontrés lors de leurs activités.

#### 2.1.1 La gestion des catastrophes

La gestion des catastrophes concentre un ensemble d'activités qui varient selon la phase de l'urgence (Kovacs and Spens, 2012). Tout d'abord, bien avant que la catastrophe ne se produise, on se trouve dans la phase de prévention où des actions peuvent être entreprises pour limiter les potentiels dommages humains et matériels. Toujours en amont de l'événement, mais avec une certaine certitude de son occurrence, c'est la phase de préparation. Elle consiste en la mise en place de mesures stratégiques pour faciliter par anticipation le secours. La phase de réponse débute lorsque la catastrophe survient. Elle concentre, en premier lieu, des activités d'assistance aux victimes comme l'accès à des soins, des aides psychologiques ou encore la remise en service des réseaux de communication qui requièrent l'organisation de la venue d'experts et de volontaires sur place. Dans un deuxième temps et en parallèle, l'assistance se fait au travers de l'apport de produits suivant les besoins comme des médicaments, de la nourriture, du matériel ou des produits de première nécessité de type couverture ou kit d'hygiène par exemple (Blecken, 2010). Enfin, la phase de réparation, dont le démarrage dépend de la fin de la situation d'urgence, comprend des actions visant à aider la population à se remettre de l'événement et à retrouver un cours proche de la normale (Kusumastuti et al., 2010). La section suivante détaille le processus d'approvisionnement humanitaire tel qu'il est généralement déployé lors de la phase de réponse.

#### 2.1.2 Défis rencontrés & gestion des chaînes d'approvisionnement humanitaires

Lorsqu'une catastrophe se produit, le gouvernement ainsi que des OHs présentes sur le territoire prennent des mesures rapides pour assister les populations touchées. Lorsque l'ampleur des dégâts est trop importante, les instances locales peuvent faire appel à un soutien international (Weiss, 2016). En conséquence, le nombre d'acteurs peut rapidement être important et poser des problèmes de coordination (Van Wassenhove, 2006). De plus, chaque catastrophe requiert la formation d'un nouveau réseau d'acteurs (Salaun, 2017) où différents types de flux s'entrecroisent : matériel, information, finance. Tout d'abord, pour déplacer les articles de première nécessité aux zones touchées, le flux physique peut être amené à transiter par des

entrepôts (Pishvae et al., 2009) par le biais de divers moyens de transport. De nombreux échanges d'information ont également lieu dans pareille situation pour s'informer et prendre des décisions adéquates. Cependant, la grande incertitude quant à la survenue des catastrophes et quant à l'estimation de leurs impacts limite les OHs dans leurs possibilités d'anticiper la demande et de se préparer comme ils le souhaiteraient (Kovacs and Spens, 2007). Enfin, en ce qui concerne le flux financier, il provient généralement de donateurs souhaitant soutenir les organisations dans leur mission. Les dons peuvent être restreints dans leur utilisation par les contributeurs (Abdoulkadre et al., 2014), ce qui peut limiter le nombre de ressources disponibles. Également, la présence des médias a un véritable impact sur les conditions des opérations de secours. En effet, l'exposition médiatique tend à multiplier les dons qui s'avèrent souvent inappropriés entravant la livraison des marchandises véritablement utiles (Charles et al., 2010).

### 2.2 Vers une chaîne d'approvisionnement humanitaire hyperconnectée

Compte tenu des nombreux défis auxquels sont confrontées les OHs dans la poursuite leur mission et les difficultés rencontrées lors des opérations de secours après certains événements majeurs (Thomas and Kopczak, 2005) certains questionnements sur un plan organisationnel s'avèrent légitimes. À ce stade, a priori, deux pistes sont envisageables : soit optimiser l'existant et tenter de se rapprocher des niveaux de maturité des chaînes d'approvisionnement classique en avance de phase par rapport aux humanitaires ou bien accepter de remettre en cause certains fondamentaux.

L'idée de s'inspirer des chaînes d'approvisionnement plus traditionnelles ou commerciales a été explorée ces dernières années par le monde académique (Behl and Dutta, 2018). Il est reconnu que les deux types de chaînes ont des éléments en commun notamment au niveau des activités logistiques (gestion des achats, transport...), de la structure incluant les types de flux transitant (financier, information & physique), les installations et infrastructures (entrepôts, fournisseurs, moyens de transport...) ou encore les besoins (agilité, adaptabilité, flexibilité...). Cependant, elles se distinguent aussi sur de nombreux points (Beamon and Balcik, 2008). Notons d'abord les nuances existantes en matière d'objectifs. Là où les chaînes commerciales recherchent le profit et la satisfaction du client, les humanitaires se concentrent sur des services aux bénéficiaires permettant de sauver des vies, quel qu'en soit le prix. Ensuite, la demande est plus volatile et difficile à anticiper, car il est compliqué d'estimer où et quand une catastrophe va survenir et quels dégâts elle est supposée engendrer (Kovacs and Spens, 2007). La notion de temps est également différente puisque des vies en dépendent, il faut livrer rapidement dans un contexte humanitaire alors que les clients d'une chaîne commerciale peuvent se permettre un certain temps d'attente. Enfin et c'est probablement le plus important, la différence en matière de variété et du nombre d'acteurs à prendre part dans une chaîne. Dans un contexte commercial, les acteurs sont relativement connus et stables. Dans un contexte humanitaire, les acteurs sont variés (OHs, donateurs, associations, instances gouvernementales, etc.) et ont des objectifs différents, ce qui peut créer des conflits d'intérêts et représente un véritable défi (Beamon and Balcik, 2008). De plus, chaque catastrophe étant unique en raison du lieu, du moment et des dégâts générés ce qui induit la mise en place nouvelle chaîne d'acteurs à chaque fois (Tomasini and Wassenhove, 2009).

Récemment, il a été démontré que les recherches effectuées sur différentes thématiques concernant l'amélioration des CAHs

n'avaient pas produit d'impacts significatifs et n'avaient conduit qu'à peu de mises en pratique par les praticiens faute de réelle prise en compte des réalités terrains (Kunz et al., 2017). Sur cette base, nous avons choisi d'explorer une nouvelle piste dans cette optique d'amélioration qui se trouve être en rupture des schémas classiques et qui semble pouvoir répondre aux enjeux actuels.

### 2.2.1 Les intérêts de l'Internet Physique pour le secteur humanitaire

L'IP est un concept récent et innovant de réseaux logistiques interconnectés capitalisant sur la possibilité de partager les ressources et l'information (Montreuil et al., 2012). La définition de l'IP est la suivante : « L'Internet Physique est un système logistique global construit à partir de l'interconnexion des réseaux logistiques par un ensemble standardisé de protocoles de collaboration, de conteneurs modulaires et d'interfaces intelligentes pour une efficacité et une durabilité accrue » (Ballot, 2014). Comme mis en avant dans cette définition, l'IP propose une refonte des bases de la logistique. Le terme « interconnexion » fait ainsi référence à l'étroite et intensive connexion entre les acteurs et les composants du réseau. Le deuxième aspect clé de l'IP réside dans la volonté d'ouvrir les réseaux logistiques et de partager les actifs. Aujourd'hui, les entreprises forment des réseaux privés et relativement stables qui possèdent leurs propres entrepôts et véhicules en général. L'IP est en rupture avec cette logique et suppose que les actifs devraient être partagés entre tous les utilisateurs de ce nouveau réseau et utilisés en fonction des besoins. De plus, l'IP en tant que « réseau de réseaux » cherche à augmenter la visibilité et la possibilité de nouvelles connexions entre les acteurs.

Ce concept d'IP est né afin de satisfaire les exigences croissantes en matière d'environnement et de performance des services. En effet, le système logistique actuel présente des dysfonctionnements néfastes pour l'environnement et qui tendent à compromettre les objectifs des accords de Paris (Ballot, 2014). Avant qu'il ne soit trop tard, l'IP a été conçu afin d'offrir une chance aux services logistiques de se montrer plus résistants, efficaces, durables et plus adaptables pour ses utilisateurs en changeant la façon dont les objets physiques transitent à travers le réseau (Montreuil et al., 2012).

Il est à noter qu'un tel changement de paradigme de la logistique, comme suggéré par l'IP, requiert des transformations importantes, et ce, à divers niveaux. Tout d'abord, il sera nécessaire de développer des systèmes d'information adaptés et utilisant des technologies avancées pour permettre l'hyperconnexion des acteurs, un partage accru et standardisé de l'information et le stockage massif de données. Les impacts n'auront pas seulement lieu au niveau du fonctionnement logistique, mais également sur la manière dont les objets vont être conçus, produits et livrés (Montreuil et al., 2010). Ensuite, il conviendra de faire accepter aux acteurs d'évoluer vers ce nouveau mode de fonctionnement et d'engager des efforts dans ce sens. Les investissements attendus seront principalement d'ordre financier et de temps (Grest et al., 2019) et demanderont également une bonne organisation à différentes échelles. À ce sujet, le groupement ALICE (Alliance for Logistics Innovation through Collaboration in Europe) a d'ailleurs, récemment publié une feuille de route formulant les étapes importantes et les prérequis associés pour la mise en œuvre de l'Internet Physique d'ici à 2030 (ALICE-ETP, 2020). L'IP se met doucement en place, mais il demande à être plus largement connu et surtout convaincant pour être plus largement adopté, notamment au niveau humanitaire où il n'a pas encore

été réellement étudié. C'est donc tout l'enjeu de cet article que de montrer ou non les intérêts de l'IP pour le secteur humanitaire.

### 2.2.2 Définition d'une chaîne d'approvisionnement hyperconnectée

Cette section vise à présenter dans les grandes lignes de ce que présage une chaîne d'approvisionnement hyperconnectée. En d'autres termes ce à quoi ressemblerait une CAH où des concepts d'IP ont été appliqués dans le but de parvenir à un système plus efficace, efficient et durable. Compte tenu des défis à relever par les acteurs humanitaires, il y a en effet plusieurs domaines où l'IP pourrait être bénéfique. Premièrement, l'opportunité de partager les moyens permettrait d'optimiser les capacités de stockage et de transport utilisées et permettre certaines économies d'échelle. De plus, la mutualisation des stocks, c'est-à-dire permettre le stockage de produits appartenant à différentes organisations dans un même entrepôt, permettrait d'augmenter la couverture de chaque acteur et donc, sa capacité à porter assistance aux victimes et ainsi réduire les délais de livraison (Grest et al., 2019). La consolidation des transports (c'est-à-dire le remplissage des camions avec des colis provenant de différents expéditeurs) engendrerait une augmentation des taux d'utilisation tout en diminuant le nombre de camions mobilisés et donc, réduire principalement les coûts et les émissions de CO<sub>2</sub> (Grest et al., 2019). Un autre aspect clé où l'IP peut faire une différence se situe au niveau de la connexion des acteurs. En effet, en augmentant les possibilités de liaisons entre les différents acteurs humanitaires, la communication serait plus aisée ce qui favoriserait la collaboration. De plus, le développement d'un système centralisé, comme le suggèrent Abdoukkadre et al., permettrait de résoudre les problèmes d'inefficacité et de redondance des opérations. En effet, en centralisant et en partageant en temps réel les rapports de situation et les actions en cours à tous les acteurs, on peut s'attendre à voir s'améliorer la qualité des décisions prises (Abdoukkadre et al., 2014). La performance serait également suivie non plus à l'échelle d'une organisation, mais à celui de l'opération de manière plus globale. Par conséquent, la coordination et la collaboration entre les acteurs se verraient également être améliorées. Une telle plate-forme pourrait aussi aider à la gestion des dons ce qui augmenterait la disponibilité et l'adéquation des ressources. Constatez ici un début d'aperçu de formalisations des caractéristiques d'une CAH hyperconnectée. En effet, ce sujet est récent et il reste encore de nombreux aspects à examiner pour proprement définir un tel concept dont les possibilités sont larges.

### 2.3 L'ingénierie des systèmes

Sur un autre sujet, aujourd'hui, le nombre de systèmes complexes est en nette augmentation, et ce, au travers de différents domaines en lien avec le vivant (écosystèmes, systèmes vivants, climat...) jusqu'à des domaines plus « artificiels » comme les systèmes sociaux ou économiques, les villes ou encore Internet par exemple. La complexité s'explique par une demande croissante des utilisateurs pour des systèmes plus fiables et stables sur le plan de la performance et qui se doivent également d'être capables d'interagir avec une riche variété d'autres systèmes, eux aussi complexes. Par conséquent, ces systèmes sont plus compliqués à développer puisqu'ils nécessitent la coordination d'un grand nombre de participants issus de divers univers disciplinaires (Ramos et al., 2012). De là, force est de constater qu'il faille être attentif à la définition des besoins et à la conception de tels systèmes en amont. En effet, ces dernières sont des étapes cruciales, ayant un impact

sur les activités suivantes, et qui bien menées peuvent être source de certaines économies d'argent et de temps (Boehm, 1976). Dans cette perspective, le domaine de l'Ingénierie des Systèmes (IS) a vu le jour aux alentours de 1970 et est de plus en plus apprécié des chercheurs (Ramos et al., 2012) comme des ingénieurs (Cloutier, 2020). Destinée à accompagner le développement de systèmes complexes et interdisciplinaires pour assurer leur succès (Ramos et al., 2012), l'IS est basée sur une approche holistique (c'est-à-dire qu'elle considère le système dans son ensemble et ses interactions avec son environnement). Elle permet également de décrire le système de manière complète par le biais de différents angles de vue de modélisation (Ramos et al., 2012). En outre, elle présente les avantages d'améliorer la communication entre les parties prenantes en fournissant une base de langage commune et propose une méthodologie basée sur les processus (Cloutier, 2020). En effet, chaque étape du cycle de vie du système (c'est-à-dire de la définition des besoins jusqu'à la remise en main du système à son utilisateur) est décrite par un processus selon la norme ISO/IEC/IEEE15288:2015 (ISO et al., 2015). Enfin, l'IS intègre de nombreuses étapes de validation et de vérification visibles à chaque étape du cycle de vie du produit. Les étapes de validation d'un côté garantissent que le système serait en mesure répondre aux attentes et besoins des parties prenantes, et ce, dans le l'environnement opérationnel prévu. De l'autre, les étapes de vérification permettent de comparer le système par rapport au comportement attendu (ISO et al., 2015). Ces la combinaison de ces deux types d'interventions qui garantissent la conformité du système avec son cahier des charges.

### 3 PROPOSITIONS

#### 3.1 Méthode expérimentale

Dans la perspective d'évaluer l'impact de l'IP appliqué au domaine des CAHs et tirer des conclusions fiables, et ce, avant même d'entreprendre toute expérience, nous devons nous assurer de la validité, crédibilité et la pertinence de l'expérience et de la simulation associée pour répondre à l'objectif.

En ce qui concerne la crédibilité, selon Law, elle vient de l'approbation du client quant à la conformation du comportement du système face à ses attentes. Cependant, le fait d'être crédible ne garantit pas que le modèle est valide tandis que la validité, elle, est nécessaire à établir de la crédibilité (Law, 2014). En ce sens, l'IS est un bon outil du fait de son approche holistique et des nombreuses étapes de validation qui assurent la conformité du système vis-à-vis de son commanditaire (ISO et al., 2015).

D'un autre côté, le sujet à observer, ici les CAHs, est reconnu comme un système complexe si l'on se base sur les critères suivants, développés par (Sheard and Mostashari, 2011). En premier lieu, les CAHs sont complexes par leur structure. En effet, elles concentrent une multitude d'acteurs différents, d'actifs associés (comme les entrepôts, véhicules...) et échanges pour subvenir aux personnes dans le besoin. Deuxièmement, la complexité provient de la dynamique du système. De nombreuses activités logistiques sont menées et doivent régulièrement s'adapter aux contraintes de l'environnement (par exemple, une route détruite entraînant un changement d'itinéraire...). Enfin, la présence des médias, des donateurs et des gouvernements génère de la complexité sociopolitique additionnelle au système (Tomasini and Wassenhove, 2009).

Par conséquent, sur la base de (i) la complexité des CAHs (ii) des attendus de recherche concernant la fiabilité de l'expérience à mener et (iii) les propriétés de l'IS permettant de traiter avec un système complexe et pluridisciplinaire tout en assurant la

vérification et la validation du système tout au long de son cycle de vie, l'IS semble une approche pertinente pour définir une méthode expérimentale fiable et développer la simulation associée pour réaliser notre étude.

À partir de ce constat, nous avons formalisé la méthode expérimentale reprenant une partie des étapes du processus de définition d'un système en IS (voir figure 1). Nous avons également tenu à conserver une des particularités de l'IS à savoir, la présence d'actions de validité à chaque étape. Cette méthode comprend donc trois étapes : la mission du système, l'architecture du système et la conception du système. La première étape vise à définir le problème traité et son contexte et ainsi, justifier de l'intérêt du système. L'étape d'architecture décrit les composants du système et leurs interactions entre eux. La dernière étape donne des indications quant aux prérequis et tâches à réaliser pour mener les expériences via la simulation.

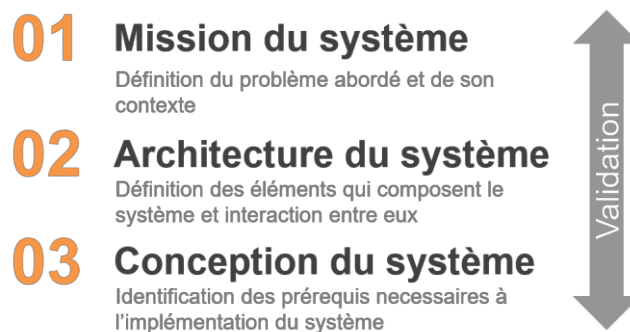


Figure 1 Méthode expérimentale en trois étapes

#### 3.2 Simulation

##### 3.2.1 Mission de la simulation

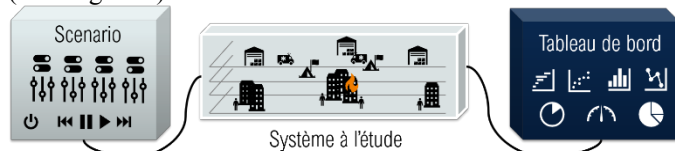
Pour repositionner l'expérience dans son contexte ; il a été reproché aux organisations humanitaires, par le passé, d'un manque d'impact positif sur les sociétés recevant de l'aide ainsi qu'un manque d'efficacité (Haavisto and Goentzel, 2015). À cela, s'ajoutent des difficultés à se coordonner et cela a été principalement mis en avant lors de la gestion de la catastrophe qui a touché Haïti en 2010 (Noyer, 2010). La question qui se pose aujourd'hui est : comment améliorer la performance et les impacts lors des opérations de secours ? Jusqu'à peu, la recherche se concentrait principalement sur l'optimisation des ressources déjà présentes et cherchait à transférer certaines pratiques des chaînes d'approvisionnement classiques dans une optique d'amélioration (Kunz et al., 2017). Cet article propose une alternative de réorganisation plus en profondeur tirant inspiration de l'IP. L'hypothèse de l'étude est : une transformation des CAHs vers une organisation plus hyperconnectée impacterait positivement les résultats de performance des opérations menées par les OHs. L'objectif réside désormais dans la capacité de l'étude à prouver ou non que cette hypothèse est valide. Pour cela, nous faisons le choix de conduire une expérimentation quantitative afin d'observer la relation cause et effet de la réorganisation au travers d'indicateurs de performance. Les données utilisées seront issues de la littérature et du terrain afin de permettre de représenter au mieux la réalité et de fournir des résultats tangibles. Ces choix introduisent le besoin de concevoir une simulation permettant la mise en œuvre pratique des expériences.

##### 3.2.2 Architecture de la simulation

Pour répondre à l'objectif énoncé précédemment, nous envisageons une expérimentation capable de comparer, au moyen d'indicateurs de performance, le comportement d'une

chaîne d'approvisionnement de référence (inspirée des pratiques actuelles) avec une chaîne de test, à savoir jumelle dans ses fondements, mais intégrant des concepts de l'IP. Afin d'étudier le comportement dans des contextes variés, comme c'est le cas à chaque fois qu'une catastrophe se produit, nous souhaitons soumettre les modèles à différents scénarios et ainsi observer leur réponse.

L'architecture de la simulation est donc composée de trois systèmes clés : le scénario, le système à l'étude (suivant le paramétrage pourra représenter la chaîne test ou bien de référence) et le tableau de suivi des indicateurs de performance (voir Figure 2).



**Figure 2** Éléments composants l'architecture de la simulation

### Le scénario

Le scénario fournit au système à étudier des indications quant au contexte de l'expérience. En effet, il définit le périmètre géographique (une région, un pays...) ainsi que la période considérée (semaine, mois, année...). Ces indications servent à l'initialisation de l'environnement du système. Le paramétrage intervient également au niveau du système lui-même concernant certaines hypothèses fixes (ex. : la vitesse des camions), mais aussi des choix d'options de variables à tester. Par exemple, on peut chercher à observer les conséquences d'un transport classique versus un transport consolidé. Cela demandera dans les deux cas de configurer le même environnement et hypothèses, mais de sélectionner une option de variable (par exemple, « classique »), lancer la simulation, récupérer les résultats puis avec ce même contexte, sélectionner l'autre option (par exemple, « consolidé ») afin de récupérer les données associées pour réaliser la comparaison.

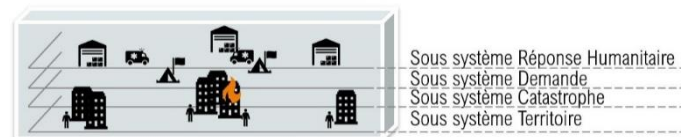
### Le système à l'étude

Selon l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), un système est une combinaison d'éléments en interaction organisés pour atteindre un ou plusieurs objectifs définis (ISO et al., 2015). Un élément est un composant d'un système voire d'un sous-système. Le terme « interaction » désigne la manière dont les éléments s'influencent mutuellement. Enfin, l'élément « objectif » de la définition réfère au fait de répondre à un besoin.

Pour commencer à définir le système à l'étude, nous pouvons nous appuyer sur l'une des définitions les plus citées relatives aux CAHs. En effet, comme la logistique représente 80% des activités lors des opérations de secours (Van Wassenhove, 2006), nous allons limiter le périmètre du modèle à ce niveau. Ensuite, selon Kovacs et Spens 2012, la logistique humanitaire englobe la planification et la gestion de toutes les activités en lien avec les flux physiques, d'informations et financiers. Il est important de noter que cela comprend également la coordination et la collaboration des membres de la chaîne, les prestataires de services et les organisations humanitaires (Kovacs and Spens, 2012). Sur cette base, on distingue que : (i) les éléments du système à l'étude se composent des activités logistiques et des différents acteurs (ii) les interactions sont représentées au travers des trois types de flux issus lors des efforts de coordination et de collaboration et tandis que (iii) l'objectif est, et c'est ce qu'ont en commun les différentes organisations, sauver des vies et soulager la souffrance (Haavisto and Goentzel, 2015).

Ensuite, comme le suggère l'approche holistique, la description de l'environnement et de son influence doivent être pris en compte. À cette fin, selon l'article de Kovacs et Spens (2009) relatif à l'identification des défis liés à la logistique humanitaire, il est mis en avant que les véritables défis rencontrés lors des catastrophes dépendent de leur type et de la région dans laquelle la catastrophe se produit (Kovacs and Spens, 2009). Les auteurs ont également souligné que les différentes phases de gestion de la crise ont un impact sur les activités logistiques. Enfin, les deux derniers défis identifiés précédemment (c'est-à-dire la variété des organisations et la coordination des acteurs) se doivent d'être pris en compte dans l'environnement du système.

À partir de cette enquête autour des éléments clés des CAHs, nous avons développé une illustration résumant les éléments composant le système à l'étude pour l'expérimentation (voir Figure 3). On y retrouve donc un sous-système dénommé « réponse humanitaire » et en interaction avec ce dernier, le sous-système de demande. À eux deux, ils forment un système d'intérêt qui va être central pour les observations. Ensuite, autour de ce dernier, se distinguent les sous-systèmes dits « territoire » et « catastrophe » qui sont considérés comme des systèmes externes faisant partie de l'environnement et qui influencent le comportement du système d'intérêt (Cloutier, 2020).



**Figure 3** Système à l'étude et ses sous-systèmes clés dans un contexte de chaînes d'approvisionnement humanitaires

### Le tableau de suivi de performance

Le tableau de suivi de performance concentre l'ensemble des indicateurs à consulter et est un élément clé pour statuer sur l'hypothèse définie précédemment et répondre à l'objectif fixé. En effet, chercher à améliorer la performance sous-entend de savoir au préalable ce qu'est la performance et qui plus est, dans un contexte humanitaire. La performance se définit au travers d'une mesure de résultats et d'objectifs fixés. Si les résultats sont en deçà de l'objectif, on peut parler de « contre-performance » alors qu'il y aura performance si les résultats dépassent les attentes. Maintenant, dans un contexte humanitaire qu'est-ce que cela signifie de manière plus précise ? Si l'on prend la définition de (Ramalingam et al., 2009), on retient que la performance dans un cadre humanitaire s'articule autour du fait de sauver des vies, soulager des souffrances et maintenir la dignité humaine, et ce, sans différenciation possible. Cet objectif s'applique à tout type d'organisation humanitaire, et ce, quelle que soit la phase. Il est également mis en avant que l'aide apportée doit être efficace et bien gérer l'utilisation des ressources (Ramalingam et al., 2009). De plus, il est généralement admis que les organisations qui suivent leur performance surpassent celles qui ne le font pas puisque cela permet entre autres de s'améliorer (Abidi et al., 2014). D'autres aspects sont également mis en avant comme le fait que la réponse doit être « agile » (Tomasini and Wassenhove, 2009), « flexible » (Kabra and Ramesh, 2016), ou encore « durable » (Salvadó and Lauras, 2017). De telles contraintes doivent être mesurées afin de s'assurer que le comportement est celui attendu.

Au niveau de la dynamique autour des éléments de l'architecture, les trois systèmes (scénario, système d'étude et

performance) s'influencent en séquence. Le scénario contraint le système en fournissant le contexte, les hypothèses et le paramétrage de certaines variables du système à l'étude. Le comportement du système observé fournit, durant la période définie par le scénario, des résultats de performance qui pourront ensuite être analysés à la fin de l'expérimentation.

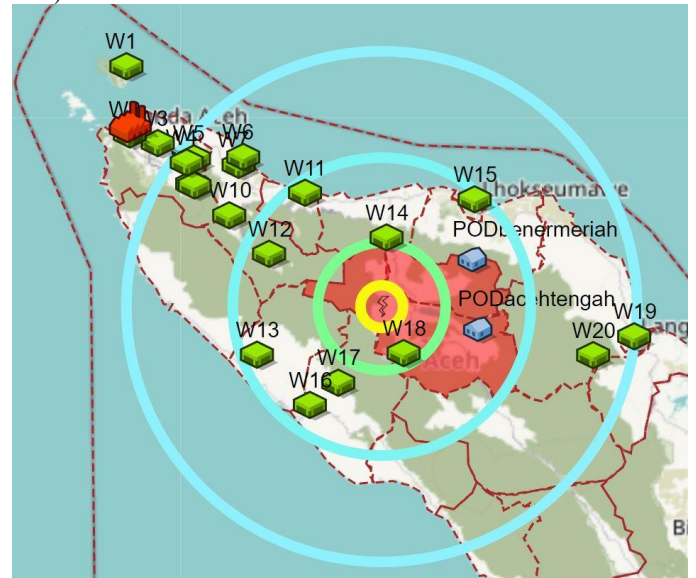
### 3.2.3 Conception et prérequis à la simulation

Pour mettre en œuvre l'expérience imaginée, un certain nombre d'étapes ont été planifiées. Tout d'abord, et afin d'éviter tout biais dans l'expérience, il est nécessaire de définir en premier les indicateurs de performance pour comparer les résultats de comportements du système à l'étude. Il s'agira de les sélectionner de manière pertinente par rapport à l'objectif fixé et de définir la manière de les mesurer. Dans notre cas, les premières expérimentations seront évaluées au travers d'indicateurs tels que l'OTIF (On Time Delivery In Full) pour l'évaluation en termes d'efficacité, les coûts de transport et la valeur du stock pour la partie efficacité et les émissions de CO2 générées par les transports pour la partie durabilité.

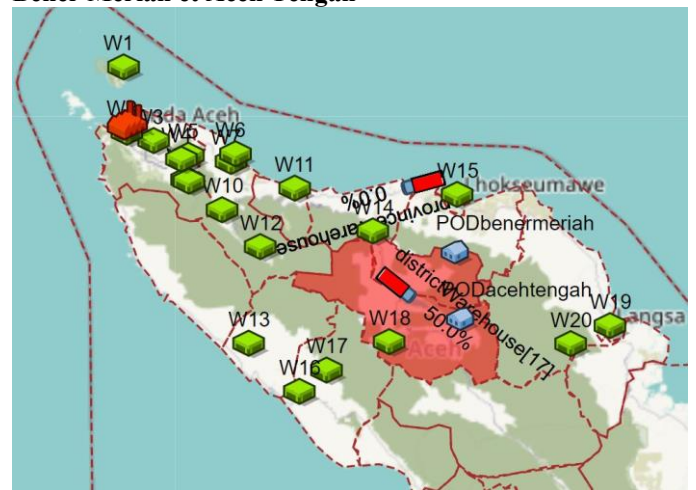
Ensuite, il conviendra de décrire les scénarios que l'on souhaite soumettre au système. Dans un premier temps, il faut définir le contexte. Notre premier cas d'étude se trouve être Aceh, une province d'Indonésie et se concentre sur la période de juillet 2013 où un tremblement de terre de magnitude 6.1 a frappé. Ensuite, il est nécessaire de définir les hypothèses et les options possibles de certains éléments. À titre d'illustration, pour démarrer le développement de la simulation, nous considérons un seul type de camion de type cinq tonnes avec une vitesse constante de 50km/h. Puis, il conviendra de définir le plan d'expérience, c'est-à-dire les leviers clés d'une CAH sur lesquels nous souhaitons tester les effets de l'approche IP. Par exemple, au niveau des entrepôts, on peut envisager de tester la différence entre la version classique (où les bâtiments sont privés) versus la version hyperconnectée (où cette fois les infrastructures sont ouvertes et partagées). Il est donc attendu à en parallèle de cette étape, de lister les composants caractéristiques de chaque « type » de système. À titre d'illustration, sur le cas classique, on considère les infrastructures classiques (entrepôts, dépôt ...) alors que la version IP contiendra en plus des plates-formes de transbordement. Il sera également nécessaire de décrire les processus notamment ceux de la réponse humanitaire afin de décrire le séquençement d'activités qui rythment la gestion de la catastrophe ainsi que les critères pour la prise de décision.

Alors que les étapes précédentes s'intéressaient au développement d'un modèle pour la simulation, il reste désormais à coder l'expérience. Pour rappel, le choix de la simulation est justifié par le fait que c'est une des méthodes privilégiées dans le cas d'expérimentations sur un système complexe (Law, 2014). Pour cette dernière étape, on peut conseiller la rédaction de l'algorithme, au préalable de l'étape de codage, et la mise en place d'un planning de développement par niveau de complexité. Une étape transverse à toutes celles évoquées précédemment sera de s'attacher à ce que l'ensemble des choix et hypothèses faits soient validés par des praticiens dans le but d'assurer la crédibilité de l'expérience et la fiabilité des conclusions qui pourront être tirées.

structurer les étapes nécessaires à la réponse de l'objectif fixé à savoir l'amélioration de la performance lors des opérations humanitaires. Ces phases ont permis de déterminer un ordre d'actions à réaliser au préalable afin de réaliser la simulation nécessaire à l'expérience tout en garantissant la validité des résultats. Celle-ci sera réalisée à l'aide du logiciel AnyLogic qui permet la modélisation, entre autres de chaînes logistiques, selon différents degrés d'abstraction (événement discret, agent, dynamique des systèmes, et même de réaliser des hybrides). Dans un premier temps, la modélisation et programmation se concentreront sur la mise en forme du système de référence et de sa validité et s'en suivra, dans un second temps, la version hyperconnectée. Deux premiers aperçus de la version de référence sous AnyLogic sont visibles ci-dessous (voir Figure 4 & 5).



**Figure 4 Aperçu des entrepôts identifiés sur la région d'Aceh en Indonésie et reconstitution d'un tremblement de terre historique affectant les populations des districts de Bener Meriah et Aceh Tengah**



**Figure 5 Aperçu de la livraison de produits de première nécessité à destination des points de distribution (POD) à la suite d'un tremblement de terre historique**

## 5 REFERENCES

Abdoulkadre, A., Intissar, B.O., Marian, M., and Benoit, M. (2014). Towards Physical Internet Enabled Interconnected Humanitarian Logistics. 1st International Physical Internet Conference 30.

## 4 CONCLUSION & AGENDA DE RECHERCHE

L'ingénierie des systèmes développée, pour les systèmes complexes, multidisciplinaires dans le but de garantir le bon déroulement de conception et l'adéquation du système, est apparue comme une approche adaptée pour aider à la définition de l'expérience. En s'en inspirant, nous avons pu identifier et

- Abidi, H., de Leeuw, S., and Klumpp, M. (2014). Humanitarian supply chain performance management: a systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal* 19, 592–608.
- ALICE-ETP (2020). ALICE Roadmap to Physical Internet. (Shenzhen, China), p.
- Ballot, E. (2014). L'Internet physique: le reseau des reseaux des prestations logistiques (Paris: la Documentation française).
- Beamon, B.M., and Balcik, B. (2008). Performance measurement in humanitarian relief chains. *International Journal of Public Sector Management* 21, 4–25.
- Behl, A., and Dutta, P. (2018). Humanitarian supply chain management: a thematic literature review and future directions of research. *Ann Oper Res*.
- Blecken, A. (2010). Supply chain process modelling for humanitarian organizations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 40, 675–692.
- Boehm, B. (1976). Software Engineering. *IEEE Transactions on Computers* C-25, 1226–1241.
- Charles, A., Lauras, M., and Van Wassenhove, L. (2010). A Model to Define and Assess the Agility of Supply Chains: Building on Humanitarian Experience. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 40, 722–741.
- Chiappetta Jabbour, C.J., Sobreiro, V.A., Lopes de Sousa Jabbour, A.B., de Souza Campos, L.M., Mariano, E.B., and Renwick, D.W.S. (2017). An analysis of the literature on humanitarian logistics and supply chain management: paving the way for future studies. *Ann Oper Res* 283, 289–307.
- Cloutier, R.J. (2020). The Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) (Hoboken, NJ: SEBoK Editorial Board).
- Cozzolino, A. (2012). Humanitarian Logistics: Cross-Sector Cooperation in Disaster Relief Management (Berlin Heidelberg: Springer-Verlag).
- Grest, M., Lauras, M., and Montreuil, B. (2019). Toward Humanitarian Supply Chains Enhancement by using Physical Internet Principles. In 8th International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, p.
- Haavisto, I., and Goentzel, J. (2015). Measuring humanitarian supply chain performance in a multi-goal context. *Jrnl Hum Log and Sup Chn Mnage* 5, 300–324.
- ISO, IEC, and IEEE (2015). ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Ingenierie des systemes et du logiciel - Processus du cycle de vie du systeme.
- Kabra, G., and Ramesh, A. (2016). Information Technology, Mutual Trust, Flexibility, Agility, Adaptability: Understanding Their Linkages and Impact on Humanitarian Supply Chain Management Performance. *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy* 7, 79–103.
- Kovacs, G., and Spens, K. (2009). Identifying challenges in humanitarian logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 39, 506–528.
- Kovacs, G., and Spens, K.M. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 37, 99–114.
- Kovacs, G., and Spens, K.M. (2012). Relief supply chain management for disasters: humanitarian aid and emergency logistics (Hershey, PA: Information Science Reference).
- Kunz, N., Wassenhove, L., Besiou, M., Hambye, C., and Kovács, G. (2017). Relevance of humanitarian logistics research: best practices and way forward. *International Journal of Operations & Production Management* 37, 1585–1599.
- Kusumastuti, R.D., Insanita, R., and Wibowo, S.S. (2010). Relief Logistics Practices in Indonesia: A Survey (Rochester, NY: Social Science Research Network).
- Law, A.M. (2014). Simulation Modeling and Analysis (Dubuque: McGraw-Hill Higher Education).
- Montreuil, B., Meller, R.D., and Ballot, E. (2010). Towards a Physical Internet: the Impact on Logistics Facilities and Material Handling Systems Design and Innovation. (Milwaukee, Wisconsin, USA), p.
- Montreuil, B., Meller, R.D., and Ballot, E. (2012). Physical Internet Foundations. *IFAC Proceedings Volumes* 45, 26–30.
- Noyer, O. (2010). L'urgence d'une logistique humanitaire internationale. *Les Echos*.
- Pishvae, M.S., Jolai, F., and Razmi, J. (2009). A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design. *Journal of Manufacturing Systems* 28, 107–114.
- Ramalingam, B., Mitchell, J., Borton, J., and Smart, K. (2009). Counting what counts: performance and effectiveness in the humanitarian sector | ALNAP (ALNAP).
- Ramos, A.L., Ferreira, J.V., and Barcelo, J. (2012). Model-Based Systems Engineering: An Emerging Approach for Modern Systems. *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. C* 42, 101–111.
- Salaun, V. (2017). Les logistiques temporaires : faire vite en prenant son temps. *Supply Chain Magazine* 80–81.
- Salvadó, L.L., and Lauras, M. (2017). Sustainable Performance Measurement for Humanitarian Supply Chain Operations. 9.
- Sheard, S.A., and Mostashari, A. (2011). Complexity Types: From Science to Systems Engineering. *INCOSE International Symposium* 21, 673–682.
- Thomas, A., and Kopczak, L.R. (2005). From logistics to supply chain management: the path forward in the humanitarian sector.
- Tomasini, R., and Wassenhove, L.V. (2009). Humanitarian Logistics (Springer).



Van Wassenhove, L.N. (2006). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society* 57, 475–489.

Weiss, T.G. (2016). *Humanitarian Intervention* (John Wiley & Sons).