

N° Réf :.....

Centre Universitaire  
Abdelhafid Boussouf Mila

Institut des Sciences et Technologie  
Département de Mathématiques et Informatique

## Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de Master

En : Informatique

Spécialité: Sciences et Technologies de l'Information et de la  
Communication (STIC)

### La simulation du processus d'évacuation dans les catastrophes

Préparé par :

- Benamara Mahfoud
- Fouil Soufiane

Soutenue devant le jury

- Dr. Aissa BOULMERKA.
- M.Mourad GUETTICHE.
- M.Abdelghafour BAZNIARE.

|     |                            |            |
|-----|----------------------------|------------|
| MCB | C.U.Abd Elhafidid Boussouf | Président  |
| MAA | C.U.Abd Elhafidid Boussouf | Rapporteur |
| MAA | C.U.Abd Elhafidid Boussouf | Examineur  |

Année Universitaire : 2016/2017

---

**Résumé :**

Selon le rapport annuel de la croix rouge et du croissant rouge pour ces dernières années, le nombre de catastrophes, d'origine naturelle et humaine, a augmenté dans des proportions importantes. Ces catastrophes engendrent souvent un nombre de victimes important nécessitant des interventions urgentes représenté dans une opération d'évacuation. Une planification efficace de la capacité hospitalière peut améliorer considérablement la capacité et l'efficacité du traitement pour les patients en urgence résultant d'une catastrophe. Ces informations peuvent être utilisées pour le routage des patients / ambulanciers, la planification des ressources et la gestion des opérations d'urgence.

Notre travail vise à minimiser les dégâts humains d'une catastrophe, en introduisant un modèle de simulation basé sur l'ITS (Intelligent transport system), qui nous permettons d'optimiser l'affectation des victimes aux différents hôpitaux de zone de catastrophe ainsi que la minimisation de temps de transports de chaque patient, de site de catastrophe à l'hôpital désigné.

**Mot clé :** Catastrophe, Évacuation, Capacité hospitalière, Simulation, ITS.

---

---

**Abstract:**

According to the annual report of the Red Cross and Red Crescent in recent years, the number of disasters, both natural and human, has increased significantly. These disasters often result in a large number of casualties requiring urgent interventions in an evacuation operation. Effective planning of hospital capacity can dramatically improve the capacity and the effectiveness of treatment for emergency patients resulting from a disaster. This information can be used for patient / ambulance routing, resource planning and emergency management.

Our work aims to minimize the human damage caused by a disaster by introducing a simulation model based on the Intelligent Transport System (ITS), which allows us to optimize the allocation of the victims to the different hospitals in the disaster zone as well as the minimization of transport time of each patient, from disaster site to the designated hospital.

**Keywords:** Disaster, Evacuation, Hospital capacity, Simulation, ITS.

---



## Remerciment



بسم الله الرحمن الرحيم

« وما توفيتني إلا بالله عليه توكلت و به استعين »

*Avant tout nous remercions Allah le tout puissant qui nous a donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude, et nous a donné la force et la constance pour qu'on puisse accomplir ce modeste travail.*

*Un grand remerciement à les plus respectueux et anticipes vont à notre encadreur **M. Guettiche Mourad** pour ses suivis, sa patience, ses précieuses orientations et ses conseils judicieux qui nous a dirigé et qui a été à la hauteur de sa noble tâche.*

*Nos sincères remerciements s'étendent également à tous les professeurs et à tous nos enseignants qui nous ont enseigné pendant cinq ans et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.*

*Nos vifs remerciements et nos profondes reconnaissances vont aussi à nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.*

*Enfin, nos remerciements s'étendent toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Merci à toutes et à tous*

# Table des matières

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Introduction générale</b>                                                            | 2  |
| <b>Chapitre 1 : Etat de l'art sur l'estimation de temps d'attente à l'hôpital</b>       |    |
| 1) Introduction                                                                         | 5  |
| 2) La réduction des risques de catastrophes                                             | 6  |
| 3) Organisation des soins                                                               | 7  |
| 3.1. Données primordiales                                                               | 7  |
| 3.2. Déclenchement                                                                      | 7  |
| 3.3. Mise en place d'une cellule de crise                                               | 8  |
| 3.3.1 Cellule d'action                                                                  | 8  |
| 3.3.2 Cellule logistique                                                                | 8  |
| 3.3.3 Cellule de renseignement                                                          | 8  |
| 3.3.4 Cellule de communication                                                          | 9  |
| 3.4. Poste de secours ou Poste Médical Avancé                                           | 9  |
| 3.4.1 Triage                                                                            | 9  |
| 3.4.2 Conditionnement primaire                                                          | 9  |
| 3.4.3 Evacuation sanitaire                                                              | 10 |
| 3.5. Hôpital d'accueil                                                                  | 10 |
| 4) Fonctionnement de l'hôpital pendant une catastrophe                                  | 10 |
| 4.1. Estimation des capacités hospitalières                                             | 10 |
| 4.2. Modèles hospitaliers                                                               | 11 |
| 4.2.1 Modèles de simulation d'événements discrets                                       | 11 |
| 4.2.2 Modèles d'estimation des capacités hospitalières                                  | 12 |
| 4.3. Estimations du temps d'attente des patients et de la capacité des hôpitaux         | 14 |
| 4.4. Caractéristiques des hôpitaux pour la modélisation de simulation                   | 14 |
| 4.5. Conception d'expériences de simulation                                             | 14 |
| 4.6. Approche de régression et méta-modèle                                              | 15 |
| 5) Conclusion                                                                           | 16 |
| <b>Chapitre 2 : Les différents modèles de transport dynamique et l'intérêt de l'ITS</b> |    |
| 1) Introduction                                                                         | 18 |
| 2) Le système de transport intelligent (STI)                                            | 18 |
| 2.1. Domaines des STI                                                                   | 19 |
| 2.1.1 Utilisation des données et informations sur les déplacements                      | 19 |
| 2.1.2 Systèmes de gestion du transport en commun                                        | 19 |
| 2.1.3 Systèmes de gestion des incidents                                                 | 19 |
| 2.1.4 Systèmes de gestion des urgences                                                  | 20 |
| 2.1.5 Informations régionales sur les multimodaux et les voyageurs                      | 20 |
| 2.1.6 Systèmes / Gestion de l'information                                               | 20 |
| 2.2. Application des STI                                                                | 21 |
| 2.2.1 Collection électronique de péage                                                  | 21 |
| 2.2.2 Collecte de données routières                                                     | 21 |
| 2.2.3 Systèmes de gestion du trafic                                                     | 21 |
| 2.2.4 Collecte des données du véhicule                                                  | 21 |
| 2.2.5 Priorité du signal de transit                                                     | 22 |
| 2.2.6 Préemption des véhicules d'urgence                                                | 22 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3. Technologies dans les STI                                     | 22 |
| 3) Revue de littérature                                            | 22 |
| 4) Les incidents non récurrents et Dégagement d'incident           | 24 |
| 5) Estimation de délai d'incident                                  | 25 |
| 6) Vue sur les méthodes d'estimation d'incident                    | 26 |
| 7) Routage médical en cas de catastrophe                           | 27 |
| 8) Méthodologie de la modélisation de l'évacuation                 | 28 |
| 8.1. Modèles macroscopiques                                        | 32 |
| 8.2. Modèles microscopiques                                        | 33 |
| 8.3. Modèles d'affectation de trafic                               | 34 |
| 9) Conclusion                                                      | 35 |
| <b>Chapitre 3 : Le modèle mathématique</b>                         |    |
| 1) Introduction                                                    | 37 |
| 2) Le modèle de simulation de temps d'attente au niveau d'hôpital  | 37 |
| 2.1. Le temps d'attente dans la situation ordinaire                | 37 |
| 2.2. Temps d'attente d'équilibre                                   | 38 |
| 2.2.1 Cas de base                                                  | 38 |
| 2.2.2 Cas critique                                                 | 38 |
| 2.2.3 Taux d'arrivé entre cas de base et cas critique              | 38 |
| 2.3. Temps d'attente transitoire                                   | 38 |
| 2.4. Estimation de la capacité                                     | 39 |
| 3) Modèle MDP pour le processus de transport dans les catastrophes | 40 |
| 3.1. Processus de Markov (MDP)                                     | 40 |
| 3.2. Modélisation de la congestion                                 | 41 |
| 3.3. Le modèle de transport dynamique                              | 43 |
| 4) Conclusion                                                      | 44 |
| <b>Chapitre 4 : Simulation &amp; Evaluation des performances</b>   |    |
| 1) Introduction                                                    | 46 |
| 2) Environnement du travail                                        | 46 |
| 3) Outils de développement                                         | 46 |
| 3.1. MATLAB                                                        | 46 |
| 3.2. Microsoft Excel                                               | 47 |
| 4) Description de l'application                                    | 47 |
| 4.1. Fonctions qui gèrent le réseau routier                        | 47 |
| 4.2. Fonctions d'algorithme 'Cost to go'                           | 48 |
| 4.3. Fonction principale                                           | 48 |
| 5) La simulation                                                   | 48 |
| 5.1. Scénario de simulation                                        | 48 |
| 5.2. Temps d'exécution du programme                                | 53 |
| 5.3. Simulation du temps d'attente à l'hôpital                     | 53 |
| 6) Conclusion                                                      | 54 |
| <b>Conclusion générale</b>                                         | 56 |
| Références Bibliographiques                                        | 58 |

## Table des figures

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 1.1 : Facteurs et niveaux de conception expérimentale                                                      | 15 |
| Fig. 2.1 : Sortie d'automates cellulaires selon la règle: 01011010                                              | 34 |
| Fig. 3.1 : Observation partielle de l'état du réseau routier.                                                   | 42 |
| Fig. 4.1 : Le chemin suivi pour le scenario 1                                                                   | 49 |
| Fig. 4.2 : Affectation des patients / Hôpital pour le premier scenario                                          | 50 |
| Fig. 4.3 : Temps d'évacuation / Hôpital pour le premier scenario                                                | 50 |
| Fig. 4.4 : Le chemin suivi pour le scenario 2                                                                   | 50 |
| Fig. 4.5 : Affectation des patients / Hôpital pour le deuxième scenario                                         | 51 |
| Fig. 4.6 : Temps d'évacuation / Hôpital pour le deuxième scenario                                               | 51 |
| Fig. 4.7 : Le chemin suivi pour le scenario 3                                                                   | 52 |
| Fig. 4.8 : Affectation des patients / Hôpital pour le troisième scenario                                        | 52 |
| Fig. 4.9 : Temps d'évacuation / Hôpital pour le troisième scenario                                              | 52 |
| Fig. 4.10 : Relation entre le temps d'attente du patient à l'état d'équilibre et le volume quotidien du patient | 53 |
| Fig. 4.11 : Comportement transitoire du temps d'attente                                                         | 54 |

## Liste des tableaux

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : les catastrophes les plus mortelles au monde                  | 5  |
| Tableau 2 : Les caractéristiques de l'environnement du travail            | 46 |
| Tableau 3 : Fonctions qui gère le réseau routier                          | 47 |
| Tableau 4 : Fonctions d'algorithme 'Cost to go'                           | 48 |
| Tableau 5 : Fonction principale                                           | 48 |
| Tableau 6 : Scénarios de simulation                                       | 49 |
| Tableau 7 : Statistiques pour le scenario 1                               | 49 |
| Tableau 8 : Statistiques pour le scenario 2                               | 50 |
| Tableau 9 : Statistiques pour le scenario 3                               | 51 |
| Tableau 10 : Temps d'exécution pour différentes tailles du réseau routier | 53 |

# Introduction générale



## Introduction générale

Les catastrophes naturelles comme les inondations, les éruptions volcaniques et les séismes ayant des effets dévastateurs interprétés par des dégâts économiques et humains considérables. La manière la plus sûre pour faire face est souvent d'évacuer la zone dangereuse.

L'évacuation est le processus dans lequel les évacués sont déplacés des zones dangereuses vers des zones sûres en utilisant les ressources de transport, elle implique par la suite le mouvement simultané des milliers de personnes évacuant les villes urbaines. Ce mouvement massif de la population dépasse généralement les capacités normales en termes de ressources de transport et nécessite donc une planification précise. Le plus grand risque d'un mauvais plan d'évacuation est que les gens peuvent perdre leurs vies en restant pendant des heures sur la route dans une telle situation tremblée.

Récemment, La planification et la modélisation de l'évacuation ont attiré l'attention des chercheurs et des gouvernements. Il existe, dans la littérature, plusieurs modèles et méthodologies pour la planification de l'évacuation. Ces modèles intègrent diverses disciplines scientifiques, telles que la recherche opérationnelle, la simulation, l'ingénierie du trafic et l'ingénierie des systèmes.

Les modèles de simulation et de la recherche opérationnelle se concentrent sur les modèles et méthodologies analytiques (mathématiques) ; l'objectif principal de ces modèles est de trouver les meilleurs itinéraires d'évacuation. Tandis que L'ingénierie du trafic et la recherche sur le transport intelligent assure une bonne compréhension du processus d'évacuation en fournissant en temps réel l'état de la zone de catastrophe.

Dans ce travail on combine les deux approches présentes précédemment, afin de dégager un bon plan d'évacuation allant de calculer le meilleur itinéraire pour le nombre massif des personnes jusqu'à la distribution optimale de nombre élevé des patients sur les différents hôpitaux de la région. Prenant en considération les caractéristiques dynamiques d'un tel environnement incertain, tous on tire profit des informations en temps réel sur l'état de routes et les différentes destinations (hôpitaux, unité de soins, zones sûres) communiquées par les ITS.

La poursuite de ce projet est organisée comme suit :

Le chapitre 1, explique la réaction à faire en répondant à une catastrophe pour réduire les dégâts humains en détaillant le mode d'organisation de soins à partir du lieu sinistré jusqu'à l'hôpital d'accueil. Nous présentons également le fonctionnement de l'hôpital pendant une catastrophe en citant les différents modèles hospitaliers.

Le chapitre 2, décrit l'état de l'art sur les systèmes de transport intelligent et passe en revue les différents modèles de transport dynamique, de l'estimation d'incidents, ainsi que les différentes méthodologies d'évacuation.

Le chapitre 3, forme le noyau dans notre travail, dans lequel nous présentons notre modèle d'évacuation qui combine le processus de Markov (MDP) pour calculer l'itinéraire et la

simulation de temps d'attente hors ligne pour dégager un modèle générique qui permet d'estimer le comportement transitoire de temps d'attente au niveau de l'hôpital.

Le chapitre 4, évaluer notre modèle en montrant son efficacité à travers la simulation des différents scénarios qui peuvent être rencontré dans les situations critiques qui caractérise les catastrophes.

Enfin, nous concluons notre travail et dressons les perspectives de recherches futures.

# Chapitre 1 :

Etat de l'art sur l'estimation de temps  
d'attente à l'hôpital

## 1) Introduction :

L'histoire des catastrophes est ancienne que la civilisation elle-même. Tout événement attendu ou inattendu entraînant de grands dommages pour l'homme en termes de vie, l'environnement, l'économie ou la qualité de vie présente ou future peut être considérée comme une catastrophe.

Les catastrophes naturelles telles que les tremblements de terre, les éruptions volcaniques, les inondations, les tsunamis, les tempêtes ou les ouragans, et les catastrophes causées par l'homme, telles que les attaques terroristes, les explosions de produits chimiques, les accidents industriels, les effondrements de bâtiments, des actes de guerre, peut entraîner des pertes économiques importantes et des pertes humaines.

Les expériences de l'histoire sur l'étendue de la perte suggèrent qu'une préparation efficace peut aider à réduire l'impact des catastrophes.

Le tableau ci-dessous montre les cinq catastrophes les plus mortelles au monde depuis la civilisation jusqu'à maintenant :

| Type                 | nombre de morts (moyenne) | Événement                       | Lieu                                      | Date                                                                                                                                                               |
|----------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Épidémies            | 300 000 000               | Varirole                        | Monde entier                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• XXe siècle, 1900 ? jusqu'au dernier malade en 1977 [1]</li> <li>• Maladie déclarée éradiquée le 8 mai 1980 [2]</li> </ul> |
| Famines              | 29 000 000                | Grande famine en Chine          | Chine                                     | 1958–1961                                                                                                                                                          |
| Inondation           | 2 072 500                 | Inondations de 1931 en Chine    | Chine                                     | 1931                                                                                                                                                               |
| Tremblement de terre | 830 000                   | Tremblement de terre de Shaanxi | Chine                                     | 23 janvier 1556                                                                                                                                                    |
| Cyclone              | 362 000                   | Cyclone de Bhola                | Pakistan oriental (maintenant Bangladesh) | novembre 1970                                                                                                                                                      |

Tableau 1 : les catastrophes les plus mortelles au monde

De toute façon, les pertes économiques sont récupérables alors que les pertes humaines ne sont pas. Il est donc essentiel pour la gestion des urgences de catastrophes de localiser les blessés et de les déplacer rapidement vers les installations médicales les plus proches pour un traitement

en temps opportun. Le fonctionnement efficace d'un établissement médical est donc essentiel dans tout effort visant à sauver des vies dans un scénario de catastrophe.

Dans un premier temps, nous présentons les problèmes résultant des catastrophes, ainsi le plan de réduction des risques des catastrophes et son importance, Ensuite, nous décrivons la chaîne d'organisation des soins pour la prise en charge des victimes. Enfin, nous situons les différents modèles de simulations.

## **2) La réduction des risques de catastrophes:**

Les catastrophes, quelles que soient leur nature, sont caractérisées par divers éléments qui suscitent des problèmes particuliers [3] :

- Le caractère soudain nécessitant une action rapide ;
- L'insuffisance des moyens médicaux prévus pour les situations normales ;
- Le grand nombre de victimes demandant une adéquation des moyens disponibles pour sauver le maximum de vies humaines ;
- Les dégâts matériels ou les conditions météorologiques défavorables rendant l'accès aux victimes difficile et/ou dangereux ;
- L'environnement perturbé sur le plan sanitaire par la pollution et les risques d'épidémie.

Pour pouvoir anticiper ces problèmes et faire face aux conséquences dues à une catastrophe, un plan de réduction et d'organisation des soins doit être mis en place.

Le but du Plan de réduction est de reconfigurer rapidement l'établissement dans une seule direction : la prise en charge de victimes en grand nombre provenant d'un même événement catastrophique.

D'un côté, La protection du développement contre les risques de catastrophes est l'un des investissements les plus rentables en termes de réduction de la pauvreté qu'un pays puisse être amené à réaliser. Une fois de plus, les pauvres sont les principales victimes des inondations, des séismes et autres aléas naturels : ils y perdent la vie ou assistent, impuissants, à la destruction de leurs écoles, de leurs hôpitaux, de leurs habitations et de leurs moyens de subsistance. Pourtant, tous ces reculs sur le front du développement pourraient être évités [4].

Les investissements en matière de réduction des risques de catastrophes peuvent protéger largement la population et le trésor public contre de telles pertes.

L'importance de la réduction des risques de catastrophes représentés dans :

- Les coûts directs des dégâts occasionnés par les catastrophes sont passés de 75,5 milliards de dollars des EU (Union européenne) dans les années 1960 à près d'un billion de dollars durant les dix dernières années (Munich Reinsurance Company 2002, CRED 2009).
- 85 % des personnes exposées aux séismes, aux cyclones, aux inondations et aux sécheresses vivent dans des pays en développement. Le coût massif des catastrophes fait peser une menace considérable sur la réalisation des objectifs du développement.
- Les catastrophes menacent la sécurité alimentaire des plus pauvres sur terre. La réduction des risques de catastrophes est vitale pour garantir le plus essentiel des droits de l'homme et des libertés fondamentales, à savoir, le droit à l'alimentation [5].

### **3) Organisation des soins :**

Les catastrophes engendrent un nombre important de victimes de gravité variable. Face à de telles situations, les acteurs hospitaliers sont appelés à mettre en œuvre, dans les plus brefs délais, les moyens indispensables permettant une prise en charge d'un afflux massif de victimes. L'efficacité du système de gestion de soins est ainsi conditionnée par de multiples facteurs dont l'anticipation, la réactivité, la disponibilité des moyens et la coordination entre les différents acteurs.

L'organisation des soins en cas de catastrophe commence par le ramassage des victimes sur le lieu du sinistre jusqu'à leur prise en charge définitive dans une infrastructure hospitalière.

#### **3.1. Données primordiales :**

Certaines données nécessaires doivent être disponibles avant la survenue d'une éventuelle catastrophe :

- La liste des personnels hospitaliers avec leurs coordonnées précises.
- Le tableau de garde du personnel médical (médecins, chirurgiens, infirmiers, etc.) composé des heures d'arrivées de chaque intervenant à la structure hospitalière où il est affecté.
- La liste de tous les intervenants (personnels hospitaliers, SAMU<sup>1</sup>, SMUR<sup>2</sup>, protection civile, ...) avec leurs fonctions.
- Des consignes précises, afin d'informer à l'avance les intervenants de la conduite à tenir en cas de mobilisation.
- La constitution de l'équipe qui va intervenir au niveau du poste de secours et le matériel nécessaire.
- La capacité maximale d'accueil des établissements selon le type d'urgence.
- La liste des matériels mobilisables et leur localisation (matériel fonctionnel et en réserve). Les Postes Sanitaires Mobiles (PSM) peuvent éventuellement renforcer les structures hospitalières en situation d'exception. On distingue deux types de PSM : le poste sanitaire mobile de premier niveau (PSM1) (capacité de traitement de 25 blessés) et le poste sanitaire mobile de deuxième niveau (PSM2) (capacité de traitement de 500 blessés).
- Les plans explicatifs d'aménagement des locaux pour assurer une installation rapide [6].

#### **3.2. Déclenchement :**

Suite à une catastrophe, une cellule de crise est créée. Cette cellule est mise en place autour du directeur de l'hôpital de référence : établissement de santé qui est « capable » de faire face à une situation exceptionnelle, afin d'organiser la coordination des services techniques et médicaux, et de mettre en œuvre les différents moyens répondant aux besoins qu'elle aura évalués.

---

<sup>1</sup> Service d'Aide Médicale Urgente (SAMU) est un service hospitalier qui organise le traitement des urgences en dehors de l'hôpital (dans la rue, à domicile, etc).

<sup>2</sup> Service Mobile d'Urgence et de Réanimation (SMUR) est composé d'une équipe médicale, d'un véhicule et de matériel chargé d'intervenir à la demande du SAMU.

### **3.3. Mise en place d'une cellule de crise :**

La cellule de crise est composée généralement du préfet, du directeur de l'établissement hospitalier et d'un médecin hospitalier rompu aux situations de catastrophes. Cette cellule est un poste de commandement et de décisions où toutes les informations sont centralisées et les ordres donnés en conséquence. La cellule de crise est organisée en sous cellules fonctionnelles permettant la gestion globale des opérations.

#### **3.3.1 Cellule d'action :**

La cellule d'action a comme missions de :

- Appeler les services concernés pour les informer du déclenchement du plan d'urgence.
- Donner le niveau d'exécution des consignes propres à chaque service.
- Analyser les données qui émanent des sapeurs-pompiers ou de toute autre personne présente sur le lieu.
- Anticiper les besoins.
- Recevoir les demandes des services de soins, techniques et administratifs.
- Répartir le personnel et le matériel en fonctions des besoins.
- Donner les ordres correspondants aux décisions prises.
- Contrôler l'exécution des ordres donnés.
- Réguler l'orientation des patients au sein de l'hôpital d'accueil.

Un directeur, un responsable médical et un cadre paramédical supérieur forment cette sous cellule.

#### **3.3.2 Cellule logistique :**

Cette cellule a pour rôle de :

- Recenser en temps réel la capacité disponible à savoir les personnels présents, les lits d'hospitalisation, les blocs opératoires, les salles de réanimation, etc.
- Vérifier l'organisation des personnels des services désignés par la cellule d'action.
- Assurer la disponibilité de tout matériel demandé par la cellule d'action, exemple : les bouteilles d'oxygène, respirateurs artificiels, brancards, lits, médicaments, etc.
- Prévoir les moyens « hôteliers » pour les patients (blanchisserie, restauration, etc.).

#### **3.3.3 Cellule de renseignement :**

Elle permet de :

- Recueillir les informations données par les personnes qui sont sur le lieu de la catastrophe (exemple : SAMU).
- Recueillir les informations concernant les victimes admises aux centres hospitaliers.
- Suivre l'orientation des victimes.
- Suivre la trajectoire des victimes : transfert d'un service à l'autre, la sortie, etc.
- Identifier les patients admis aux urgences mais ne faisant pas partie de la catastrophe.

Une équipe habituée à la gestion des entrées et sorties des patients dirige cette sous cellule.

Elle peut comprendre les responsables des bureaux des entrées ou d'accueil sous la direction d'un cadre hospitalier.

### **3.3.4 Cellule de communication :**

Elle assure la communication avec les familles des victimes et les autorités. C'est donc pour cette raison que la cellule doit assurer une communication entre les différents services et structures hospitaliers afin d'éviter les rumeurs et la désinformation.

### **3.4. Poste de secours ou Poste Médical Avancé :**

Le poste de secours ou le Poste Médical Avancé (PMA) est un maillon essentiel dans l'organisation des soins en cas de catastrophe.

Le PMA assure l'accueil et l'abri des victimes, le triage des victimes en urgences absolues et urgences relatives, l'enregistrement des victimes par l'élaboration d'une « fiche médicale de l'avant », le conditionnement des victimes par la transformation du degré d'urgence permettant ainsi d'allonger le délai d'action, le convoyage et l'assistance des urgences, et enfin l'organisation des évacuations en fonction des priorités et des disponibilités hospitalières.

#### **3.4.1 Triage :**

La décision du triage est un acte important qui peut engager le sort d'une victime et où toute erreur peut avoir des conséquences graves. Il s'agit d'un acte médical de diagnostic qui permet de catégoriser chaque victime, selon son degré d'urgence. Celui-ci se traduit par un délai de prise en charge médicale au-delà duquel la victime peut voir son état s'aggraver [7].

On distingue :

#### **1) Les urgences absolues :**

- **Extrême urgence** dont le pronostic vital des victimes est mise en jeu dans l'immédiat.
- **Urgence premier** degré dont le pronostic vital des victimes est mise en jeu au bout de 6 heures.

**2) Les urgences relatives** regroupent les victimes de deuxième et troisième degré nécessitant respectivement une prise en charge dans un délai de 18 heures et de 36 heures.

**3) Les urgences dépassées**, ce sont les victimes dont l'espoir de survie est extrêmement faible.

**4) Les impliqués**, ce sont les victimes qui ne présentent aucune lésion organique mais qui présente des signes de choc psycho-affectif.

#### **3.4.2 Conditionnement primaire :**

Le conditionnement primaire est assuré par l'équipe médicale du PMA permettant ainsi d'allonger le délai de prise en charge à l'hôpital. Le conditionnement primaire concerne les premiers soins d'urgence qui garantissent une évacuation sanitaire dans de bonnes conditions.



### **3.4.3 Evacuation sanitaire :**

L'évacuation sanitaire assure l'arrivée des victimes dans les infrastructures hospitalières afin qu'elles bénéficient d'un traitement médical. Cette évacuation exige des choix judicieux du vecteur de transport et une parfaite coordination avec l'infrastructure d'accueil présumée avant et durant tout le trajet. La moindre faille dans le fonctionnement de ce maillon de la chaîne médicale risque de compromettre le résultat de tous les efforts consentis par l'équipe médicale du poste de secours.

Dans le cas de grandes catastrophes, les hôpitaux peuvent être détruits ou inutilisables. De même quand l'ampleur du sinistre, par le nombre de victimes, déborde très largement l'accueil local ou, quand les évacuations doivent se faire à grandes distances (le lieu de la catastrophe est très loin par rapport aux infrastructures hospitalières), un Centre Médical d'Evacuation (CME) est mis en place. Il représente une structure de soins, intermédiaire entre le PMA et les hôpitaux situés en zone arrière.

### **3.5. Hôpital d'accueil :**

Lors d'un accident impliquant un grand nombre de victimes, l'infrastructure hospitalière doit être en mesure d'accueillir les sinistrés. Ainsi l'hôpital doit disposer d'un plan d'urgence appelé plan blanc qui lui permet en cas de catastrophe d'organiser ses ressources et ses moyens, pour faire face aux situations d'urgences.

Le plan blanc est un ensemble de procédures qui garantissent que les établissements de santé ont des capacités mobilisables à tout moment, une réactivité de la chaîne de commandement, et une coordination tant des moyens que des structures de soins entre elles [8].

## **4) Fonctionnement de l'hôpital pendant une catastrophe :**

Après une catastrophe, une salle d'urgence d'hôpital peut s'attendre à une poussée soudaine de patients blessés (parfois, jusqu'à trois à cinq fois l'effectif normal du patient), qui peut facilement submerger les ressources de l'hôpital [9]. En tant que ressources vitales de la société, les hôpitaux devraient donc être préparés aux besoins suivants en raison d'une catastrophe:

- Avoir suffisamment de personnel, Comme nous l'avons indiqué dans le paragraphe 3.1, l'hôpital doit posséder la liste des personnels hospitaliers, permanents et en réserves, avec leurs coordonnées précises et le tableau de garde des personnels médical (médecins, chirurgiens, infirmiers,..) pour répondre aux besoins de soins d'urgence qui en résultent.
- Répondre à la poussée soudaine des patients en urgence avec une capacité supplémentaire temporaire.
- Réaliser la planification et la coordination des ressources entre le centre d'intervention d'urgence (normalement mis en place et géré par les organismes fédéraux, étatiques et locaux de gestion des urgences) et les hôpitaux de la zone sinistrée.
- Traiter continuellement les patients qui étaient déjà sous soins avant la catastrophe.

### **4.1. Estimation des capacités hospitalières :**

Bien que nous ne puissions prévoir une catastrophe avec une certitude appréciable, la préparation aux situations d'urgence est essentielle pour minimiser, ou du moins réduire, les

pertes potentielles, en particulier pour les hôpitaux [10]. Si les dommages peuvent être estimés immédiatement après la catastrophe, le centre d'intervention d'urgence peut planifier et mettre en œuvre des efforts de secours.

Dans le cas des tremblements de terre, des outils logiciels tels que HAZUS [11], sont utiles pour prédire l'étendue des pertes/dommages en fonction de l'emplacement géographique et de la gravité de l'événement.

Un autre effort qui pourrait grandement aider le centre d'intervention d'urgence est la planification de la capacité des hôpitaux [12]. En évaluant la capacité disponible de l'hôpital, le centre d'intervention d'urgence serait en mesure de prendre des décisions éclairées sur le nombre de patients à envoyer et où. Ces décisions sont fondées sur la proximité des hôpitaux donnés sur le lieu de la catastrophe.

Les estimations de la capacité sont également utiles pour l'envoi de véhicules d'ambulance et de sauvetage, le déploiement de personnel médical et l'obtention d'une assistance et d'un équipement externes pour les hôpitaux concernés.

## **4.2. Modèles hospitaliers:**

Nous considérons deux éléments principaux, qui sont pertinents à cet effort de recherche. Nous commençons par discuter des modèles de simulation d'événements discrets dans les soins de santé. La deuxième partie porte sur la recherche antérieure dans les méthodes d'estimation des capacités hospitalières.

### **4.2.1 Modèles de simulation d'événements discrets :**

L'utilisation de la simulation dans les soins de santé a généralement porté sur les flux de patients et l'allocation des ressources [13]. Ces phénomènes ont un impact significatif sur l'utilisation des médecins, le temps d'attente des patients et le débit.

Swisher et al [14] ont rapporté la simulation d'une clinique familiale. Les résultats ont montré que les environnements cliniques sont très sensibles aux petits changements dans le mélange des patients et les règles d'ordonnancement des patients. Les conceptions factorielles utilisées en combinaison avec la simulation d'événements discrets ont permis de mieux comprendre les opérations hospitalières.

Weng et Houshmand [15] ont maximisé le débit du patient tout en minimisant le temps et le coût du flux du patient. Harper [16] a également mis au point une simulation pour l'évaluation de divers scénarios d'affectation des ressources hospitalières en termes de niveaux de dotation.

Cote [17] a simulé l'influence de la capacité de la salle d'examen et du flux du patient. Il a constaté que le débit n'est affecté que par le taux d'arrivée. Ainsi, l'utilisation accrue des ressources n'implique pas nécessairement des files d'attente plus longues ou des temps d'écoulement des patients.

Lowery [18] a simulé une unité de soins critiques et a montré qu'il est possible de modéliser une classe d'hôpitaux par simulation, de sorte qu'il puisse représenter un large éventail de

configurations en spécifiant les caractéristiques d'un hôpital telles que le nombre de lits, le niveau de dotation, etc.

La plupart des travaux antérieurs de simulation se concentrent sur la capacité de l'hôpital dans des circonstances normales, alors que peu répondent aux besoins pendant ou après les catastrophes. Ce problème est encore compliqué par le fait que les hôpitaux doivent faire face à l'arrivée dynamique de patients, qui évolue rapidement après la catastrophe, ainsi que les ressources nécessaires pour traiter chaque type de blessure. Bien que la plupart des études de simulation susmentionnées soient spécifiques aux cas et non axées sur les catastrophes [19], il est possible de créer un modèle de simulation général pour étudier la science sous-jacente des opérations hospitalières [18]. Il est également possible de combiner la simulation avec la conception expérimentale [14] pour obtenir un aperçu supplémentaire de ces opérations, inestimable, en particulier, pour modéliser les opérations de catastrophe.

#### **4.2.2 Modèles d'estimation des capacités hospitalières :**

Bailey [20] a projeté des besoins en lits d'hôpitaux en utilisant des données de patients cohérentes selon l'âge. Trye et al [21] ont construit un modèle mathématique pour estimer la demande future de lits sur la base de deux années de données hospitalières. Mouza [22] a projeté le même sur la base des prévisions de taux d'admission par sexe et âge.

Boer et al [23] définit la capacité de traitement hospitalier comme le nombre de victimes pouvant être traitées en une heure, selon le nombre de chirurgiens disponibles, d'anesthésiologistes, de lits, etc.

Kanter et Moran [24] ont mené une étude empirique pour déterminer la capacité de survie de l'hôpital dans l'État de New York. L'occupation quotidienne pour chaque hôpital a été calculée en fonction de la date d'admission du patient et de la durée du séjour. L'occupation a été exprimée en nombre de lits occupés, tandis que la capacité maximale des hôpitaux était définie comme la plus grande occupation du 95ème percentile dans chaque établissement. En comparant ce résultat à la capacité totale, la capacité disponible peut être estimée.

Ballard et Kuhl [25] ont développé un modèle de simulation d'événements discrets pour déterminer la capacité maximale au sein d'une suite chirurgicale. La capacité disponible a été maximisée après avoir réduit tout le temps perdu en raison de tâches sans valeur ajoutée.

Kim et al. [26] proposent une méthode permettant de minimiser l'annulation d'interventions programmées en raison de l'indisponibilité de lits dans l'unité de soins intensifs. La simulation est utilisée afin de déterminer l'impact de cinq stratégies d'allocation flexible de lits dans les unités de soins intensifs. Malgré la difficulté inhérente à ce problème (les nouvelles demandes pour les soins intensifs apparaissent de manière stochastique), il apparaît qu'une réservation exclusive d'un nombre de lits pour les interventions programmées réduit significativement le nombre d'interventions annulées. L'allocation flexible des ressources notamment est très utile, et n'engendre pas de coûts supplémentaires.

Miller et al. [27] sont également concentrés sur le problème de l'organisation matérielle d'un service d'urgence (nombre de lits dans le service lui-même, nombre de chambres, amélioration du processus de prise en charge) ; ceux-ci décrivent une démarche standard utilisant le logiciel

de simulation EDSim afin d'arriver à une configuration du service d'urgence optimale. L'expérimentation a permis de fixer les contraintes concernant successivement : les patients (nombre de lits requis, et durée de séjour dans le service) et le service lui-même (effectifs du personnel, nombre de lits d'urgence). Plusieurs améliorations du service peuvent alors être proposées dans différents secteurs, tels que l'affectation de lits, l'enregistrement administratif, le temps opératoire de procédures classiques, les dates de sortie des patients et l'élimination des temps morts.

Wiinamaki et Dronzek [28] ont traité un problème très similaire afin de déterminer les équipements requis en nombre de lits d'une extension d'un service d'urgence constitué de deux centres de soins, l'un pour les patients gravement atteints, l'autre pour les soins bénins. Le flux des patients a été déterminé et le modèle a été construit. Plusieurs scénarios clés ont été testés (augmentation du volume de patients, heures de fermeture, équipements requis en salle de radiologie, etc.) et ont permis de prédire la capacité future requise pour le service de soins d'urgence. De plus, les auteurs insistent sur le fait que le modèle est parfaitement réutilisable, et pourra servir au personnel d'outil d'aide à la décision.

Devant la constante augmentation de l'âge de la population, les services de gériatrie doivent faire face à une demande de plus en plus forte. El-Darzi et al. [29] ont utilisé un modèle de simulation basé sur des files d'attente afin de démontrer que les lits constituent la ressource goulot d'un tel service. Une mauvaise affectation des lits disponibles peut entraîner un blocage, par exemple lorsqu'un patient nécessitant des soins de réhabilitation est bloqué dans le service de soins intensifs suite à une erreur. Les patients arrivent avec ou sans rendez-vous, le processus d'arrivée suit ainsi une loi de Poisson<sup>3</sup>. La règle choisie pour chaque file d'attente est FIFO (premier entré premier sorti) malgré le fait qu'elle n'est pas toujours adaptée à la réalité (facteur de gravité). Les files d'attente sont utilisées afin de mesurer le taux d'étranglement au niveau des lits entre les services de soins intensifs et de réhabilitation, et entre les services de réhabilitation et de séjour prolongé.

Dans une autre étude récente, Paul et Hariharan [30] ont développé un modèle de simulation générique pour l'estimation des capacités hospitalières en temps réel lors d'une attaque bio-terroriste. Alors que le traitement des patients infectés par le bio-agent nécessite l'utilisation d'unités de soins intensifs plus que les services chirurgicaux, le cas des tremblements de terre et des ouragans, les salles d'opération jouent un rôle plus critique.

Bien que des recherches considérables aient été effectuées dans le domaine de l'estimation de la capacité des hôpitaux, elles sont en retard par rapport aux méthodes suivantes :

- Tout d'abord, presque toutes ces recherches ont porté uniquement sur la capacité des lits.
- Deuxièmement, il ne semble pas y avoir une compréhension suffisante de l'impact, sur les opérations hospitalières, de l'augmentation soudaine des arrivées de patients et de la gamme correspondante de besoins cliniques, en particulier pendant une catastrophe. L'implication est donc que l'estimation en temps réel de la capacité de l'hôpital n'a pas été suffisamment étudiée pour fournir un soutien décisionnel à la gestion des catastrophes.

---

<sup>3</sup> La loi de Poisson est une loi de probabilité discrète qui décrit le comportement du nombre d'événements se produisant dans un laps de temps fixé.

- Enfin, la recherche antérieure méconnaît l'importance de la modélisation et de l'estimation des capacités de tous les hôpitaux de la zone sinistrée. C'est très important car la simulation des hôpitaux prendrait beaucoup de temps alors qu'une gestion efficace des catastrophes exige des décisions rapides.

#### **4.3. Estimations du temps d'attente des patients et de la capacité des hôpitaux :**

La connaissance de la situation est essentielle dans le domaine de la gestion du système médical. Il fournit aux décideurs une «image en temps réel» des ressources permettant une meilleure planification des ressources et une gestion des opérations d'urgence telles que la surveillance des ressources médicales et l'acheminement des ambulances des patients [31].

Les approches de modélisation hospitalière sont destinées à des opérations normales ou à des situations de catastrophe. Dans le premier cas, généralement, le but de la modélisation est d'améliorer les performances. En ce qui concerne la seconde, elle vise à fournir des estimations de la capacité des hôpitaux en temps quasi réel utilisées principalement pour aider le centre des opérations d'urgence à coordonner efficacement les opérations de secours en cas de catastrophe [32]. Un paramètre critique résultant de la capacité de l'hôpital est le temps d'attente du patient.

Les principaux facteurs qui influent sur le temps d'attente des patients sont la capacité des lits des hôpitaux, le taux d'arrivée du patient, le nombre de patients traités par temps (qui dépend du nombre des salles d'opération, des médecins, etc.). Le temps d'attente est directement affecté par le flux d'arrivée des patients. Ce dernier varie avec le temps et en particulier dans une situation désastreuse, alors qu'il peut être 3 à 5 fois plus important que les situations normales [33].

#### **4.4. Caractéristiques des hôpitaux pour la modélisation de simulation:**

Les hôpitaux intéressés par un tremblement de terre seraient ceux qui traitent tous les types généraux de blessures, et ont à la fois des salles d'urgence et des salles d'opération... Les hôpitaux spécialisés, tels que les instituts de lutte contre le cancer, les centres psychiatriques, etc., ne sont pas considérés comme des contributeurs significatifs au traitement des blessures liées à des tremblements de terre. Seuls les hôpitaux non spécialisés seront donc inclus dans la présente étude.

Nous devons classer les hôpitaux en fonction de leurs caractéristiques. Les trois principaux paramètres de l'hôpital utilisés dans la recherche actuelle sont :

- Nombre de lits
- Nombre de salles d'opération
- Efficacité de la salle d'opération

#### **4.5. Conception d'expériences de simulation :**

Les trois facteurs cités ci-dessus, ont été introduits dans une conception factorielle qui a généré un ensemble de résultats expérimentaux pour la régression. En particulier, les trois niveaux de chaque facteur ont été utilisés pour construire un  $3 \times 3 \times 3$  conceptions factorielles (27 combinaisons). Cependant, certaines de ces combinaisons n'étaient pas réalisables. Par exemple, un hôpital de 100 lits (petit) ne pourrait pas avoir 15 salles d'opération. En outre, il serait irréaliste pour un hôpital de 500 lits (grand) d'avoir seulement cinq salles d'opération simplement d'un

point de vue économique. Nous avons donc éliminé tous ces cas irréalistes, laissant un total de 21 combinaisons dans une conception factorielle partielle, comme le montre la Fig.1.1.

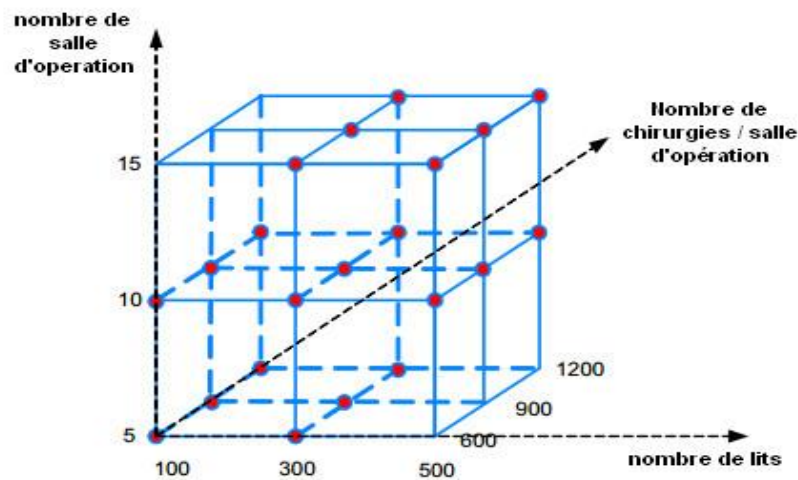


Fig. 1.1 : Facteurs et niveaux de conception expérimentale (les points indiquent les 21 combinaisons envisageables dans l'étude).

#### 4.6. Approche de régression et méta-modèle :

D'après les discussions précédentes, il est désormais évident que, pour modéliser une opération hospitalière en cas de catastrophe, un modèle de simulation doit être capable de répondre aux exigences suivantes:

- La nature dynamique des arrivées en urgence en raison d'une augmentation soudaine du volume des patients.
- Estimations de la capacité en temps quasi-réel qui sont utiles pour les secours en cas de catastrophe, avec des mises à jour fréquentes.
- Estimations de la capacité de nombreux hôpitaux de la région sinistrée.

En raison de ces exigences, l'exécution d'une simulation en temps réel prend trop de temps pour prendre des décisions en temps opportun pour la gestion des urgences. Par conséquent, l'utilisation d'une simulation hors ligne, dans laquelle on trouve le résumé des résultats de simulation des modèles empiriques qui peuvent fonctionner en temps réel, est la plus recommandée. Le «modèle de modèles» résultant, c'est-à-dire un méta-modèle, est en fait une régression paramétrique des résultats de nombreuses simulations antérieures.

En supposant un taux constant d'arrivée des patients avant la catastrophe / tremblement de terre, le système se stabilise à un état stable. Cependant, l'augmentation des taux d'arrivée après l'événement entraînera soit un état stationnaire après un certain état transitoire, soit une perte d'équilibre du système lorsqu'un débit de patient élevé dépasse les capacités de l'installation.

En combinant les équations de régression en régime permanent résultantes et les modèles transitoires, on peut déterminer le temps d'attente d'un patient à n'importe quel moment pour un hôpital et pour un taux d'arrivée donné. La capacité disponible est donc donnée par la différence

entre le temps d'attente maximal admissible, c'est-à-dire la survie, et le temps d'attente actuel. C'est-à-dire que si le temps d'attente dépasse celui de la capacité de survie, l'hôpital n'a pas la capacité nécessaire pour traiter le ou les patients en urgences. Puisque le taux d'arrivée change pendant un tremblement de terre ou un événement, l'estimation de la capacité doit être mise à jour en conséquence, c'est-à-dire que le système doit être entièrement dynamique.

## **5) Conclusion :**

La particularité du système hospitalier en situation d'exception est qu'il repose d'une part sur le caractère soudain nécessitant des décisions et des actions rapides, et d'autre part, sur le grand nombre de victimes avec des degrés d'urgence variés et pour lesquelles une adéquation des ressources est nécessaire. Ainsi, il est important de développer pour répondre avec le maximum d'efficacité à de telles situations des outils de gestion et d'aide à la décision.

Dans la littérature, plusieurs travaux traitent des problèmes d'organisation et d'optimisation des systèmes hospitaliers. Bien que le contexte hospitalier en situation normale et en situation d'exception n'est pas le même, il est utile de passer en revue les travaux qui traitent des problèmes d'optimisation en milieu hospitalier. Un grand nombre de ces travaux traitent du problème de la capacité et le temps d'attente.

Dans le chapitre 2 nous présentons les différents modèles de transport dynamique et l'intérêt de l'ITS.

# Chapitre 2 :

Les différentes modèles de transport  
dynamique et l'intérêt de l'ITS



## 1) Introduction :

Le secteur de transports est une source légale pour prendre ou transporter des choses d'un endroit à autre. Au fil du temps, le transport fait face aux nombreux problèmes tels que le taux élevé d'accidents, la congestion du trafic, les émissions de carbone, la pollution atmosphérique, etc. Dans certains cas, Le secteur de transports a réussi à atténuer la brutalité des blessures liées aux accidents.

En raison de ces problèmes, les chercheurs intègrent les technologies virtuelles avec le transport appelé système de transport intelligent. L'idée de l'intégration des technologies virtuelles est une nouvelle dans le domaine des transports, elle joue un rôle essentiel pour surmonter les problèmes dans le monde, et commence également à fournir des informations en temps réel concernant les incidents de trafic et leur gravité.

Les technologies de communication dans le véhicule, comme les systèmes de navigation par satellite, permettent également aux conducteurs d'accéder à ces informations en route. Dans notre travail, nous proposons un modèle dynamique de routage de véhicules qui exploite des informations STI en temps réel, Nous limitons la portée du routage d'un véhicule à partir d'un point d'origine (par exemple, lieu d'incident,) vers un point de destination. (Par exemple, les hôpitaux).

Dans ce chapitre, nous présentons le système de transport intelligent (STI), ses domaines, ses applications et ses technologies, une revue de la littérature sur les différents modèles de transport dynamique, l'estimation de délai d'incident et la méthodologie de la modélisation d'évacuation.

## 2) Le système de transport intelligent (STI) :

Les systèmes de transports intelligents - ou ITS pour Intelligent Transportation Systems - peuvent être définis comme l'application des technologies de l'information et de la communication pour l'amélioration des opérations du système de transport. Cette définition comporte trois composantes :

- Les technologies de l'information comprennent le matériel informatique, les logiciels ainsi que les systèmes de télécommunication.
- Le système de transport recouvre l'infrastructure, les véhicules ainsi que les personnes et les biens en déplacement.
- L'amélioration des opérations du système de transport inclus l'amélioration de l'efficacité, de la capacité, de la sécurité et des impacts environnementaux et peut s'étendre à la planification et à la maintenance.

Cette définition met en relief l'enjeu majeur propre à tous les projets STI. La réussite de ces derniers dépend en effet de la façon dont l'interaction s'établie entre deux types de réseaux de communication distincts [34]: d'un côté les réseaux de transports qui permettent la circulation des personnes et des marchandises et, d'un autre côté, les réseaux de télécommunications qui véhiculent l'information nécessaire à la réalisation des échanges.

Le STI n'est pas limité au trafic routier, il fournit également des services et implémentation dans le système de navigation, le système de transport aérien, le système de transport par eau et les systèmes ferroviaires [35].

### **2.1. Domaines des STI :**

Cette revue de la littérature comprend également une brève discussion sur quelques domaines de STI.

#### **2.1.1 Utilisation des données et informations sur les déplacements:**

La direction des infrastructures de transport (DIT) met des données d'information routière à la disposition des médias et des opérateurs qui élaborent des services STI à valeur ajoutée. Ces informations numérisées d'information routière sont constituées de données sur les événements routiers (accidents, états des routes, mesures d'exploitation, etc.), de données mesurées ou élaborées sur le trafic (débits, vitesses, état du trafic, etc.) et de documents électroniques (bulletins, dépêches, etc.) [36].

#### **2.1.2 Systèmes de gestion du transport en commun :**

Le système de gestion du transport en commun fournit des informations précises sur la sûreté et la sécurité des voyageurs. Il augmente l'efficacité opérationnelle, la fiabilité du service, et la réponse aux perturbations du service.

Le passager ou l'utilisateur peut avoir le droit d'utiliser l'information à la maison, au travail, au centre de transport, aux arrêts de route, à bord du véhicule ou à travers diverses technologies en voyage. Cette information contient des informations générales, des cartes, des informations sur l'horaire et des informations opérationnelles.

Dans le cas d'une agence de transport en commun, les clients peuvent obtenir des informations sur les heures d'arrivée et de départ. Un exemple de système de gestion de transit est la technologie d'emplacement de véhicule automatique (AVL) qui donne les bases pour le suivi des véhicules. AVL fournit des informations concernant la position en temps réel d'un véhicule pour offrir aux voyageurs des informations relatives à l'emplacement des véhicules en transit [37].

#### **2.1.3 Systèmes de gestion des incidents :**

Le système de gestion des incidents est un domaine très important dans le système de transport intelligent. Il est constructif lorsque différents types d'incidents se produisent, comme l'épidémie de SARS, le tremblement de terre de Sichuan 2008, l'attaque du 11 septembre, etc.

Selon les données de l'Organisation mondiale de la santé, les blessures et les accidents sont un problème majeur de santé publique en Europe et le taux de mortalité est d'environ 31 000 par 4 ans. Plus de 1,2 million de citoyens meurent sur les routes du monde [38].

L'expansion technologique dans les domaines de la gestion des incidents tels que la collecte de données, le stockage, le calcul et la reconnaissance de prototypes ont permis une plus grande efficacité pour la collecte, le traitement et l'exploration d'informations sur les incidents [39].

Le système de gestion des incidents comporte de nombreux sous-systèmes tels que la gestion des incidents routiers, Détection d'incident et la gestion du trafic.

#### **2.1.4 Systèmes de gestion des urgences :**

La gestion d'urgence [40], en particulier en cas d'accident de la route, utilise au maximum des systèmes automatisés de recueil de l'information et des transmissions performantes. Les principaux enjeux sont la rapidité d'intervention, l'évitement d'accidents en chaîne et le rétablissement de la circulation.

Quelques exemples de STI aidant en cas de situation d'urgence sont :

- La Détection Automatique d'Incidents (DAI) par les capteurs routiers installés sur l'infrastructure et qui préviennent l'exploitant du réseau.
- Les services d'assistance à l'automobiliste (ex : appel automatique des secours en cas de collision, envoi automatique de la localisation précise du lieu d'accident) qui ne sont pas encore bien démocratisés.

Dans les situations d'urgence, il est impératif de surveiller le système et les services de transport, d'approvisionner ou de transférer l'humain à une destination sûre, c'est une priorité.

#### **2.1.5 Informations régionales sur les multimodaux et les voyageurs :**

Le système régional d'information multimodale et voyageuse est le point central pour la collecte des données routières et de transit. Ce système comprend tous les types d'autoroutes, de routes, de transports en commun et couvrant toutes les régions comme les villes et les pays voisins. Le système améliore la qualité globale de la collecte de données en temps réel, l'information et l'accessibilité pour les voyageurs. Il est également utilisé dans la planification de voyage, le transport en temps réel, les horaires des transits, la circulation et le stationnement.

Dans le système régional d'information multimodal et voyageurs, il est facile et avantageux pour les voyageurs d'obtenir les informations d'une seule plate-forme en mode temps réel [41]. Le système régional d'information multimodale et voyageuse fonctionne avec l'intégration des technologies sans fil et web. Un exemple de ce système est ENOSIS en Grèce, les résultats et les performances de ce système sont rentables [42].

#### **2.1.6 Systèmes / Gestion de l'information :**

Management du système d'information (MSI) joue un rôle vital dans le monde [43]. Le système fonctionne sur les informations actuelles et précédentes dans la période appropriée pour aider les décideurs. Il est également utilisé à des fins opérationnelles et stratégiques. La définition de MSI est «une méthode organisationnelle pour fournir des informations passées, présentes et projetées liées aux opérations internes et à l'intelligence externe. Elle prend en charge les fonctions de planification, de contrôle et d'exploitation d'une organisation en fournissant des informations uniformes dans le bon délai pour assister la prise de décision» [44].

Le système de gestion de l'information fournit une efficacité dans la planification et la conception des transports, la modélisation, l'analyse, la gestion et empêche les retards.

## **2.2. Application des STI :**

Les applications du système de transport intelligent sont utilisées pour les services aux utilisateurs, l'efficacité et la sécurité des transports [45].

### **2.2.1 Collection électronique de péage :**

La collecte de péage électronique est l'une des applications les plus populaires du système de transport intelligent, ce qui élimine le retard et améliore le mécanisme de collecte de péage par voie électronique dans le secteur des transports.

### **2.2.2 Collecte de données routières :**

La technologie de collecte de données routières fournit l'acquisition de données sur le trafic routier dans un système de transport intelligent. Les systèmes de positionnement et de communication (GPS, GSM et GPRS) fonctionnent à l'aide de capteurs sur le réseau routier et fournissent des données de base au centre de contrôle de la circulation afin de calculer, d'analyser et d'identifier la congestion du trafic et le temps de trajet [46].

Un autre rôle important des applications de la collecte de données routières est la collecte de données sur la vitesse du vent, les intempéries, les terrains complexes, à partir des stations météorologiques pour une sécurité des véhicules [47].

### **2.2.3 Systèmes de gestion du trafic :**

Le système de gestion du trafic joue un rôle central dans le système de transport, il augmente l'efficacité globale du transport, comme le flux, Améliore la sécurité, une meilleure mobilité, une productivité économique pour un marché des STI.

Le système de gestion du trafic recueille les informations en temps réel provenant de différents composants matériels comme les caméras, les capteurs de vitesse, etc., et s'écoule dans le Centre de gestion des transports où il est traité et analysé.

Le système de gestion du trafic est utilisé dans le trafic ferroviaire, la circulation routière et la gestion du trafic aérien [48].

### **2.2.4 Collecte des données du véhicule :**

Les systèmes de collecte de données de véhicules collectent les données relatives aux véhicules liés à la performance et à la qualité des véhicules pour l'analyse, le traitement et le contrôle à distance. Le système s'appuie sur la passerelle du véhicule, le cadre du logiciel serveur, les bases de données et les interfaces Web.

L'application du système fournit un support aux essais militaires, d'ingénierie, de durabilité du sol, de suivi des véhicules et de maintenance prédictive.

### **2.2.5 Priorité du signal de transit :**

Le système de priorité du signal de transit rend les services de transport en commun plus rapides, fiables, rentables et peu coûteux. L'objectif principal du système comprend l'observation efficace du calendrier, le temps de déplacement et le mouvement du trafic en contrôlant les intersections du trafic.

### **2.2.6 Prémption des véhicules d'urgence :**

Le système de prémption des véhicules d'urgence conçu pour les mouvements de transport d'urgence pour un passage sûr pour les sauvetages et la stabilisation des scènes. Les transports d'urgence comme les ambulances et les pompiers sont nécessaires pour atteindre à temps et éviter les conditions de trafic encombrées [49].

La prémption des véhicules d'urgence réduit le taux de collision, favorise les stratégies d'entraide, minimise le temps de réponse et maximise la sécurité. Ce système fonctionne avec l'aide de technologies GPS, de systèmes infrarouges et de communication radio pour fournir des résultats sûrs et compétents.

### **2.3. Technologies dans les STI :**

Le système de transport intelligent intègre les technologies de communication actuelles. En raison de l'émergence de nombreuses technologies, le système de transport est capable d'améliorer la sécurité, les services, et les conditions de transport.

Parmi les technologies utilisées :

- Communications sans fil (WIFI, LTE, etc.).
- Technologies informatiques (Le matériel informatique, les logiciels, etc.).
- Technologies de calcul (microprocesseur).
- Technologies de localisation (GPS, Téléphonie mobile, etc).
- Techniques de détection (capteurs).
- Détection du Bluetooth.

### **3) Revue de littérature :**

Dans le problème classique déterministe du chemin le plus court, le coût de traverser un arc est déterministe et indépendant sur le temps d'arrivée à l'arc. Le problème stochastique du chemin le plus court est une extension directe de cette contrepartie déterministe où les coûts d'arc suivent une distribution de probabilité connue. Dans le chemin stochastique le plus court, il existe de multiples objectifs potentiels et les deux plus courants sont la minimisation du coût total attendu, et la maximisation de la probabilité d'être le coût le plus bas [50].

Pour trouver le chemin avec un coût global total minimum, Frank [51] a suggéré de remplacer les coûts de l'arc par leurs valeurs attendues et de résoudre ultérieurement comme un chemin plus court déterministe. Loui [52] a montré que cette approche pourrait conduire à des chemins sous-optimaux et proposer l'utilisation de fonctions d'utilité au lieu des coûts d'arc

attendus. Eiger et al. [53] a montré que l'algorithme de Dijkstra [54] peut être utilisé lorsque les fonctions de l'utilité sont linéaires ou exponentielles.

Les problèmes stochastiques de chemin d'accès le plus court sont attribuées des problèmes stochastiques basés sur les temps les plus courts lorsque les coûts d'arc sont temporaires. Hall [55] a d'abord étudié les problèmes stochastiques basés sur le temps plus court et il a montré que la solution optimale doit être une «politique de décision adaptative» (PDA) plutôt qu'un seul chemin. Dans une PDA, le nœud à visiter suivant dépend du nœud et de l'heure d'arrivée de ce nœud, Et donc les algorithmes standards de chemin d'accès moins courants ne peuvent pas être utilisés. Hall [55] a utilisé l'approche de la programmation dynamique (PD) pour dériver la politique optimale. Bertsekas et Tsitsiklis [56] ont prouvé l'existence de politiques optimales pour le plus court chemin dépendant du temps Stochastiques.

Plus tard, Fu et Rilett [57] ont modifié la méthode de Hall [55] pour des problèmes où les coûts d'arc sont des variables aléatoires continues. Ils ont montré la difficulté de calcul du problème en fonction de la relation moyenne-variance entre le temps de déplacement d'un chemin donné et les temps de déplacement dynamiques et stochastiques des arcs individuels. Ils ont également proposé une heuristique en reconnaissance de cette intransigeance.

Bander et White [58] ont modélisé un algorithme de recherche heuristique AO \* pour le problème et ont démontré des avantages significatifs par rapport à la PD lorsqu'il existe des limites inférieures fortes connues sur le coût de déplacement total attendu entre n'importe quel nœud et le nœud de destination.

Fu [59] a discuté du routage des véhicules en temps réel en fonction de l'estimation des temps de déplacement immédiats de l'arc et proposé un algorithme de correction d'étiquette comme traitement des relations récursives dans la PD.

Waller et Ziliaskopoulos [60] ont suggéré des algorithmes polynomiaux pour trouver des politiques optimales pour les problèmes de chemin stochastiques plus courts avec un arc en une étape et des dépendances temporelles limitées. Gao et Chabini [61] ont conçu un algorithme PDA et ont proposé des approximations efficaces des réseaux stochastiques dépendants du temps et de l'arc. Une solution de routage alternative à PDA est un chemin unique satisfaisant un critère d'optimalité. Pour identifier les chemins avec le temps de déplacement le moins attendu, Miller-Hooks et Mahmassani [62] ont proposé un algorithme de correction d'étiquette modifié. Miller-Hooks et Mahmassani [63] étendent [62] en proposant des algorithmes qui trouvent la limite inférieure attendue des chemins avec le temps de déplacement le moins attendu.

Toutes les études sur les problèmes stochastiques basés sur le temps les plus courts assument de la dépendance temporelle déterministe des coûts de l'arc, à l'exception de Waller et Ziliaskopoulos [60] et Gao et Chabini [61]. Dans la plupart des réseaux de transport urbain, cependant, la variation du coût d'un dépassement d'arc est stochastique et il y a beaucoup d'études sur ce problème. La plupart de ces études modélisent cette dépendance temporelle stochastique à travers la modélisation de la chaîne de Markov et proposent d'utiliser l'information en temps réel disponible par les STI pour observer les états de Markov. En outre,

toutes ces études supposent que des actions de recours sont possibles de sorte que le chemin du véhicule puisse être réajusté en fonction des informations d'encombrement nouvellement acquises. En conséquence, ils identifient les politiques de décision adaptatives optimales.

Psaraftis et Tsitsiklis [64] est la première étude à considérer la dépendance temporelle stochastique des coûts de l'arc et à suggérer l'utilisation de l'information en ligne en route. Ils ont considéré un réseau acyclique où le coût des arcs sortants d'un nœud est une fonction de l'état de l'environnement de ce nœud et l'état change selon un processus markovien. Ils ont supposé que l'état de l'arc n'est appris que lorsque le véhicule arrive au nœud source et que l'état des nœuds est indépendant. Ils ont également proposé une procédure de programmation dynamique pour résoudre le problème.

Polychronopoulos et Tsitsiklis [65] considèrent un problème lorsque le recours est possible dans un réseau avec des arcs dépendants non dirigés et les coûts d'arc sont indépendants du temps. Ils ont proposé un algorithme de programmation dynamique pour résoudre le problème et discuté de certaines heuristiques non optimales mais facilement calculables. Azaron et Kianfar [66] ont étendu [64] en évoluant les états du nœud actuel ainsi que ses nœuds avancés avec des processus semi-Markov indépendant en temps continu pour le problème du routage du navire dans un réseau stochastique mais invariant dans le temps.

Kim et al. [67] ont étudié un problème similaire à celui de [64] sauf que l'information de tous les arcs est disponible en temps réel. Ils ont proposé une formulation de programmation dynamique où l'espace d'état comprend les états de tous les arcs, le temps et le nœud actuel. Ils ont déclaré que l'espace d'état de la formulation proposée devient assez important rendant le problème insoluble. Ils ont signalé d'importantes économies de coûts à partir d'une étude de calcul basée sur le réseau routier du Sud-Est du Michigan. Pour remédier le problème de l'espace d'état intraitable, Kim et al. [68] propose des méthodes de réduction de l'espace d'état. Une limitation de Kim et al. [68], est la modélisation et le partage des vitesses de déplacement pour la détermination des états de congestion de l'arc. Ils supposent que la distribution conjointe des vitesses de deux périodes consécutives suit une seule distribution gaussienne unique, qui ne peut pas représenter de manière adéquate les vitesses de déplacement de l'arc pour les arcs qui connaissent régulièrement plusieurs états de congestion. En outre, ils utilisent également un seuil de vitesse fixe (50 mi / h) pour tous les arcs et pour tous les temps en répartissant la distribution gaussienne pour l'estimation des probabilités de transition d'état (c'est-à-dire des transitions entre états encombrés et non encombrés). En conséquence, la valeur des informations en temps réel est compromise, ce qui rend la perte de performance de la politique de routage dynamique.

#### **4) Les incidents non récurrents et Dégagement d'incident :**

Toutes les études de le plus court chemin examinées ci-dessus tiennent compte des coûts d'arc stochastiques qui sont principalement attribuables à la congestion récurrente. Cependant, plus de 50% de la congestion du trafic est attribuable à des incidents non récurrents et doit être considérée comme un routage dynamique. Les modèles d'estimation du temps de retard induits par l'incident sont largement étudiés dans la littérature de transport. Ces modèles peuvent être classés en trois groupes en fonction de leurs approches: la théorie des ondes de choc [69-71], la

théorie des files d'attente [72-77] et les modèles statistiques (régression) [78-80]. Toutes ces approches de modélisation comportent certaines exigences telles que les données du capteur de boucle ou les hypothèses concernant le comportement du trafic / véhicule. Par exemple, les modèles basés sur la théorie des ondes de choc nécessitent des données de détection de boucle étendues pour un positionnement et une progression précises de l'onde de choc. Les modèles basés sur la théorie des ondes de choc et de la chaîne de choc nécessitent des hypothèses concernant le processus d'arrivée du véhicule. Les modèles de régression, en tant que méthodes empiriques, ne peuvent pas gérer les données manquantes sans compromettre la précision.

Dans toutes ces trois méthodes de modélisation, le retard dû à l'incident est une fonction de la durée de l'incident. Ainsi, l'estimation correcte de la durée de l'incident est fondamentale et il existe diverses distributions suggérées. Gaver [81] dérive des distributions de probabilité de retard pendant l'arrêt du flux. La durée de l'incident impliquée dans les camions est étudiée par Golob et al. [82] et emploie une distribution log-normale. L'analyse de la variance est examinée par Giuliano [83] et un modèle de régression tronquée pour estimer la durée de l'incident est proposé par Khattak et al. [84] pour les durées d'incident dans la région de Chicago.

Gamma et les distributions exponentielles sont également suggérés comme bonnes représentations de la distribution de la durée de l'incident [85]. Étant donné que la probabilité de mettre fin à un incident est liée à combien de temps cela a duré, les modèles basés sur les dangers sont également largement suggérés. Un aperçu des applications des modèles de durée est présenté par Hensher et Mannering [86].

Nam et Mannering [87] ont appliqué des modèles de durée aléatoirement à la distribution du modèle de détection / rapport, répond et clarifie les durées d'incidents. En utilisant les données empiriques de deux ans de l'état de Washington, ils ont montré que les temps de détection / rapport et de réponse sont distribués par Weibull et que la durée de l'autorisation est distribuée par log-logistique.

La modélisation du retard d'incident en conjonction avec le routage du véhicule est dans sa naissance. Ferris et Ruszczyński [88] présentent un problème dans lequel les arcs avec des incidents échouent et deviennent permanents indisponibles. Ils modèlent le problème en tant que processus de décision Markov de l'horizon infini. Thomas et White [89] considèrent le processus de dégagement des incidents et adoptent les modèles de Kim et al. [67] pour le routage sous une congestion non récurrente. Ils modèlent le retard de l'incident en utilisant un modèle multiplicatif et le temps d'élimination des incidents en tant que chaîne de Markov non stationnaire, avec des probabilités de transition suite à une distribution de Weibull avec un taux de clairance instantané croissant. Pour modéliser le retard induit par les incidents, ils multiplient le coût de l'arc incident par un scalaire invariant constant et temporel. Cependant, ils ne tiennent pas compte de la congestion récurrente et supposent que les coûts de l'arc sont invariables dans le temps et déterministes.

## **5) Estimation de délai d'incident :**

L'estimation et la prévision des temps de déplacement des liaisons dans un réseau de circulation routière sont essentielles pour de nombreuses applications de systèmes de transport



intelligents (STI) telles que les systèmes de guidage d'itinéraires et les systèmes de gestion du trafic autoroutier.

L'objectif commun de ces systèmes est de fournir des informations nécessaires pour aider les conducteurs individuels à identifier des itinéraires optimaux basés sur des informations en temps réel sur les conditions actuelles du trafic. Pour identifier ces itinéraires optimaux, les temps de déplacement sur les liens pour les périodes futures où le véhicule devrait parcourir le lien sont obligatoires. Dans un environnement de circulation urbaine, ces temps de parcours doivent être modélisés comme étant dynamiques et stochastiques, en particulier lors des conditions d'incident.

Traditionnellement, le retard de trafic dû à des incidents, est estimé à l'aide d'un modèle de file d'attente déterministe qui suppose que le taux d'arrivée du trafic, la réduction de la capacité et la durée de l'incident peuvent être identifiés exactement. Cette approche peut être adéquate pour l'évaluation après incident, pour laquelle des informations sur le volume de trafic et la situation d'incident sont facilement accessibles ; Cependant, il est inapproprié de prédire le retard d'incident dans les applications en temps réel car la seule information habituellement disponible est le moment où un incident se produit (ou est détecté), l'état actuel de l'incident (supprimé ou non, réduit Capacité) et le volume de la demande de lien. En temps réel, la durée de l'incident est inconnue. Par conséquent, le délai d'incident est le mieux modelé par une variable aléatoire qui représente les caractéristiques stochastiques associées à l'incident plutôt que par l'utilisation d'une valeur déterministe. Un autre inconvénient potentiel à l'utilisation d'un modèle déterministe de durée d'incident dans des situations en temps réel est que la variance du retard d'incident est ignorée, bien qu'elle soit clairement significative pour de nombreuses applications STI [90].

## **6) Vue sur les méthodes d'estimation d'incident :**

La plupart des méthodes d'estimation du délai d'incident existantes se concentrent sur le retard total de l'incident causé par des incidents, par exemple, les méthodes de Chow [91], le Manuel de la capacité routière [92], Wirasinghe [93], Morales [94] et Al-Deek Et al. [95]. Ces méthodes sont uniquement destinées à l'évaluation après incident et, par conséquent, les informations sur le volume de trafic et la situation d'incident sont supposées connues.

Messer et al. [96] a développé une méthode pour prévoir le temps de déplacement nécessaire pour traverser un segment de voie libre qui connaît une congestion incidente. Le modèle a été développé sur la base de la théorie des ondes de choc pour l'utilisation dans l'opération et le contrôle des panneaux de messages variables. Dans leur recherche, ils ont supposées que tous les entrées étaient connues a priori et, par conséquent, les modèles peuvent être considérés comme déterministes.

Le développement rapide du domaine des STI au cours de la dernière décennie a stimulé la recherche dans ce domaine avec diverses méthodes d'estimation et de prévision du temps de déplacement et des prévisions qui ont été proposées pour la démonstration des projets STI et les études de simulation. Hoffman et Janko [97] ont développé une méthode d'estimation et de prédiction du temps de déplacement du lien qui a été utilisée dans le système ALI-SCOUT.

Dans leur approche, le temps de déplacement du lien est prédit par la mise à l'échelle du temps de déplacement historique sur la base du temps de déplacement actuel détecté. Koutsopoulos et Xu [98] ont présenté une approche basée sur la théorie de l'actualisation de l'information en tant que tentative d'amélioration de l'approche de Hoffman.

Il est important de noter que toutes ces méthodes sont fondamentalement heuristiques dans la mesure où elles ont tendance à ignorer les modèles qui se développent lors de la congestion incidente. Par exemple, le retard d'incident tend à avoir une période d'accumulation et une période de déclin. Par conséquent, les techniques qui utilisent simplement un facteur de mise à l'échelle peuvent entraîner une surestimation ou une sous-estimation du temps réel de déplacement du lien et, par conséquent, les systèmes de guidage d'itinéraire correspondants peuvent fournir des routes sous-optimales à leurs véhicules guidés pendant la période de l'incident.

À l'inverse, de nombreuses études de simulation ont été menées pour évaluer les avantages potentiels des systèmes de guidage d'itinéraire. L'un des composants les plus essentiels de ces modèles de simulation est le modèle du temps de déplacement du lien, qui sert à estimer le temps de déplacement du lien pour l'utilisation dans le calcul de l'itinéraire.

Koutsopoulos et Yablonski [99] ont présenté un modèle théorique d'estimation du temps de déplacement dans lequel le retard d'incident est estimé par un modèle déterministe. Bien que dans leur étude, l'incident et ses attributs (capacité réduite et durée de l'incident) soient générés au hasard, cette information est supposée connue et utilisée directement pour le routage.

Al-Deek et Kanafani [100] ont évalué les avantages d'un système de guidage d'itinéraires spécifiquement en cas de congestion incidente. Dans leur modèle, la situation de l'incident est supposée être déterministe, et un modèle de file d'attente déterministe est ensuite utilisé pour estimer le délai de mise en file d'attente.

Toutes ces applications de simulation prennent une connaissance approfondie de la situation de l'incident et guident les véhicules sur la base de ces informations. Cependant, dans une situation opérationnelle en temps réel, l'évolution d'une situation d'incident ne peut pas être prédite exactement et l'utilisation de ces informations supplémentaires peut entraîner une surestimation des avantages d'un système de guidage d'itinéraire.

## **7) Routage médical en cas de catastrophe:**

Le problème du transport médical pendant la catastrophe est couvert dans de nombreux travaux et sous plusieurs formes.

Par exemple, Kuwata et al. [101] A proposé une méthode d'évaluation des risques pour la fiabilité fonctionnelle d'un système de transport immédiatement après un tremblement de terre. Ils présentent une simulation de système dynamique pour le transport des blessés en tenant compte des informations sur les réseaux routiers et la disponibilité des hôpitaux.

Jotshi et al. [102] ont proposé une méthodologie basée sur la fusion de données provenant de différentes sources (accidents, routes, conditions de circulation, etc.) dans un environnement

post-sinistre, pour expédier et acheminer les véhicules d'urgence vers les lieux de prélèvement suite à la livraison dans les hôpitaux appropriés.

En 2012, Nat et al. [103] a proposé un modèle de programmation en nombre entier mixte avec un algorithme de cheminement dynamique plus court afin d'optimiser l'acheminement des différentes classes de véhicules d'urgence entre les zones de rassemblement et les hôpitaux en cas de catastrophe.

Récemment, Nadjafi et al. [104] a introduit une approche dynamique pour l'envoi et l'acheminement des véhicules chargés du transport des blessés vers les hôpitaux après un tremblement de terre. Ils ont utilisé un modèle entier multiple, multi-objectif, multi-commodité et modèle multi-modèles pour minimiser le temps d'attente total des blessés. Les auteurs ont également proposé de considérer la nature stochastique des paramètres et des données dans les travaux futurs.

Enfin, Salman et al. [105] a mis en place un modèle multi-période de programmation multiple mixte (MIP) pour minimiser le temps total de déplacement et d'attente des pertes pendant la période de recherche et de sauvetage.

Presque tous ces travaux proposaient des méthodes pour traiter le transport médical, peu d'entre eux considéraient son processus comme un problème global qui devrait être résolu par rapport à ses principaux composants (temps de déplacement et temps d'attente du patient). En outre, la nature stochastique de ce problème n'a pas été clairement mise en évidence dans ces travaux.

Un tel modèle peut être formulé conjointement avec les processus de décision de Markov (MDP) et la théorie des files d'attente. Le composant de routage joue un rôle clé dans la performance des systèmes déployés.

## **8) Méthodologie de la modélisation de l'évacuation :**

L'évacuation urbaine peut être considérée comme un processus dans lequel les évacués sont déplacés de zones dangereuses vers des zones sûres en utilisant des ressources de transport. Ce mouvement massif de résidents dépasse habituellement les exigences normales en matière de transport et nécessite donc une planification et une optimisation précises. Le plus grand risque d'un mauvais plan d'évacuation est que les gens peuvent perdre leur vie s'ils n'ont pas la chance d'évacuer à temps. Une autre conséquence moins grave est un nombre massif de personnes piégées pendant des heures sur la route.

La perte catastrophique de vies humaines après l'ouragan Katrina et le «cauchemar» d'évacuation massive avant l'ouragan Rita en 2005 ont également suscité plusieurs efforts de recherche pour l'élaboration de stratégies et de techniques de planification d'évacuation. Ces efforts de recherche utilisent les dernières réalisations dans un certain nombre de disciplines diverses, telles que la recherche opérationnelle, la simulation, le trafic et le génie civil, le contrôle des processus, la psychologie, l'architecture, la physique et bien d'autres. En général, les méthodes utilisées pour la planification de l'évacuation sont les suivantes:

- Modèles analytiques pour exprimer le choix de l'itinéraire et la propagation du trafic à l'aide d'équations mathématiques.
- Modèles basés sur la simulation pour décrire les conditions de trafic et les modèles en fonction d'un ensemble de règles.

La planification de l'évacuation implique un processus itératif pour identifier les meilleurs itinéraires et pour estimer le temps requis pour évacuer les zones à risque. Les étapes communes de cette méthodologie sont les suivantes:

1. Identifiez la région à évacuer. Les régions sont définies comme des sous-ensembles de la zone entière à risque et en fonction de l'emplacement et de la direction des menaces en mouvement.
2. Identifiez la demande (dans les véhicules) sur chaque région à évacuer. Exiger que la population soit subdivisée en résidents permanents, les employés qui travaillent dans la zone à risque et les transitoires qui traversent la région ou restent temporairement dans la région. Cette demande est distribuée aux barycentres zonaux, qui décrivent les changements de la densité de population dans la région.
3. Identifiez les limites sécurisées des régions ou les abris.
4. Identifiez la topologie du réseau de transport (approvisionnement).
5. Évaluer les capacités de liaison des routes en fonction des observations de l'enquête de terrain et des conditions météorologiques basées sur les scénarios.
6. Définissez les destinations candidates à la périphérie de la région pour chaque centre d'origine. Ces destinations représentent les points où les liens réseau traversent les limites extérieures de la région.
7. Calculez le routage optimal des voyages d'évacuation hors de la région via les nœuds de destination spécifiés.
8. Un modèle de simulation de trafic est ensuite appliqué pour simuler le mouvement des véhicules au cours de l'évacuation. Le modèle devrait expliquer clairement les conditions de trafic dans le régime de débit saturé pour tenir compte des effets de congestion.
9. Examinez les résultats de la simulation pour déterminer le besoin de gestion du trafic pour soutenir les mouvements d'évacuation.

Le but ultime de tout effort de planification d'évacuation est de minimiser le nombre de pertes contre toute menace possible. Un facteur important conduisant à minimiser le nombre de causalités est le temps d'évacuation total, c'est-à-dire le temps entre le début de l'évacuation et le moment où le dernier évacué atteint la sécurité (temps d'effacement du réseau). De toute évidence, la minimisation du temps total d'évacuation peut aider à éliminer le risque d'exposition aux menaces et à minimiser les difficultés endurées dans le processus d'évacuation. D'autres objectifs peuvent également être recherchés lors de la planification de l'évacuation, notamment en minimisant le temps d'évacuation moyen par évacuation, en minimisant la distance d'évacuation parcourue et en maximisant le nombre d'évacués atteignant la sécurité.

L'évacuation d'une grande population due à des situations d'urgence naturelles ou humaines est une tâche compliquée et coûteuse. Au fil des années, de nombreux chercheurs ont développé des modèles de planification et d'évacuation d'urgence. Ceux-ci incluent la simulation du trafic

et la planification de l'itinéraire, mais aucun sous une forme intégrée. L'importance est mise sur le développement d'un modèle qui trouve des itinéraires et des horaires optimum pour les évacués afin de minimiser le temps total d'évacuation. On peut appeler le problème d'évacuation qui est généralement indiqué comme suit: Compte tenu d'un ensemble de régions dangereuses, des régions de sécurité (représentées par leurs barycentre) et du nombre d'évacués situés dans des zones dangereuses, quelles sont les routes et les horaires optimum pour que ces évacués atteignent la sécurité de telle sorte que le temps total d'évacuation soit réduit au minimum ? Le routage d'évacuation appartient à une classe de problèmes d'optimisation de réseau qui est le routage dynamique.

Un problème de routage, en général, concerne la recherche du "meilleur" chemin (s) d'une source à une destination qui satisfait un objectif spécifié. D'autres domaines impliquant un routage dynamique incluent la logistique et la distribution, les communications et la planification du trafic urbain. Tous ces domaines, en plus de la planification de l'évacuation, font face à un problème commun consistant à trouver le meilleur chemin pour une marchandise de flux dans un réseau entre la source et la destination. La définition du meilleur chemin dépend de l'application. Dans la zone d'évacuation, c'est le (s) chemin (s) qui entraînent un temps d'évacuation minimum. La plupart des travaux d'analyse antérieurs sur le routage dynamique en général et la planification de l'évacuation en particulier présentent une lacune majeure: il suppose que le temps de déplacement est constant.

Même si cette hypothèse simplifie les calculs et facilite l'utilisation de méthodologies de solution efficaces, elle peut produire des résultats peu pratiques et inefficaces. Presque tout le monde a connu une congestion sur les autoroutes et a remarqué la différence de temps de trajet entre une route encombrée et une route vide. Par conséquent, il est plus réaliste de supposer que le temps de déplacement dépend du débit. Les travaux récents sur le problème de l'évacuation suivent principalement deux approches: les modèles analytiques et la simulation [108, 109]. Les modèles analytiques reposent principalement sur l'optimisation dynamique du réseau, et les modèles de simulation utilisent principalement les principes d'automates cellulaires. Les deux approches présentent des avantages et des défauts, et le but de la méthodologie est d'améliorer certaines de ces lacunes.

Le principal avantage de la plupart des modèles analytiques est la capacité de trouver les «meilleurs» itinéraires à évacuer, alors que le principal inconvénient est qu'ils assument un temps de déplacement constant (vitesse).

Plusieurs problèmes d'optimisation de réseau apparaissent dans la littérature qui peut correspondre à la planification d'évacuation selon leur objectif:

- ✓ Un objectif typique d'évacuation est de minimiser le temps total d'évacuation (temps d'effacement du réseau). Cet objectif est connu dans la littérature d'optimisation du réseau en tant que problème de flux le plus rapide, et il se pose lorsque le nombre d'évacués à effacer peut être estimé.
- ✓ Lorsque le nombre d'occupants du réseau initial est inconnu, l'objectif est de déplacer autant d'évacués que possible dans un horizon temporel spécifié. Cet objectif équivaut à un problème de flux dynamique maximal, où la solution est obtenue en envoyant

autant d'écoulement que possible des zones dangereuses aux zones de sécurité dans l'horizon temporel.

- ✓ Un objectif plus conservateur est de maximiser le nombre d'évacués qui atteignent la sécurité non seulement dans l'horizon global mais dans chaque période de temps plus petite à l'horizon.

Les modèles de simulation peuvent prédire le temps de déplacement en fonction du débit, mais ils agissent simplement comme un outil d'évaluation de différents scénarios et d'élaboration de recommandations. Le principal inconvénient des modèles de simulation est qu'ils n'ont pas la capacité d'identifier les «meilleurs» itinéraires (optimisation). Cette observation, en fait, a déclenché l'idée suivante. Si nous sommes en mesure de construire un modèle qui intègre une routine d'optimisation et de simulation en un algorithme, des améliorations significatives au routage d'évacuation peuvent être obtenues. L'objectif est de minimiser le temps total d'évacuation tout en considérant les théories du voyage, principalement les temps de déplacement dépendant de la charge. L'idée principale est d'utiliser une routine de simulation pour propager le flux le long des arcs. Une fois qu'ils atteignent le nœud tête, une routine d'optimisation sélectionne les meilleures voies pour diriger l'écoulement hors du nœud principal. Le cadre général est le suivant [110]:

- Développer un modèle de simulation de trafic. La recherche repose sur la littérature civile et de génie du trafic existante pour construire ce modèle.
- Développer un modèle d'optimisation. Un modèle d'optimisation est développé pour minimiser le temps total d'évacuation. Il repose sur des formulations et des principes d'optimisation du réseau.
- Intégrer les deux modèles en un seul algorithme. L'idée principale est de discrétiser l'espace temporel et de résoudre les deux routines à chaque pas de temps. Le défi reste comme la façon de lier une instance du problème à l'instant  $T$  à l'instance  $T + 1$ , et comment maintenir un problème équivalent du réseau d'origine à chaque étape temporelle.
- Évaluation du modèle.

La recherche d'évacuation a été étudiée par des chercheurs dans différentes disciplines. Ces disciplines scientifiques comprennent le génie civil, l'ingénierie industrielle, la physique et même la psychologie et les sciences sociales. Un objectif principal dans la planification de l'évacuation est de minimiser le temps total d'évacuation. Plusieurs modèles, cependant, existent dans la littérature de recherche opérationnelle pour cet objectif en fonction du niveau d'abstraction souhaité et, par conséquent, du niveau de complexité. Différentes classifications peuvent également être établies pour ces modèles en fonction de la méthodologie de la solution, de la portée et des paramètres d'entrée. Trois classifications distinctes peuvent être identifiées dans la recherche de modélisation d'évacuation: modèles analytiques macroscopiques, modèles de simulation microscopiques et modèles d'affectation de trafic.

Les modèles d'évacuation peuvent être classés en modèles macroscopiques et microscopiques. Certains problèmes d'évacuation considèrent le mouvement des évacués comme un flux homogène. Ces modèles sont appelés modèles macroscopiques où les

interactions entre les évacués individuels sont ignorées. En profitant de cette simplification, la plupart des modèles macroscopiques sont résolus à l'aide de techniques mathématiques ou analytiques. Les modèles analytiques reposent principalement sur des formulations d'optimisation réseau et sur quelques modèles de programmation entière. Cependant, ces modèles souffrent d'une certaine perte de précision car le comportement individuel peut influencer sur le temps total d'évacuation.

D'autres modèles d'évacuation, appelés modèles microscopiques, considèrent le comportement individuel et les interactions entre les évacués. Le niveau de complexité qui en résulte, cependant, décourage l'utilisation de techniques analytiques pour résoudre le problème. Ces problèmes sont modélisés et résolus principalement en utilisant une approche de simulation. Les modèles de simulation sont de plus en plus basés sur des automates cellulaires.

Les modèles d'affectation de trafic se trouvent dans la littérature en génie civil. Ils visent à évaluer les performances du réseau de transport par rapport à la demande de trafic projetée entre les paires d'origine et de destination spécifiées. La principale différence entre ces modèles et la plupart des modèles d'évacuation analytique est qu'ils permettent au temps de déplacement d'être fonction de l'écoulement et de la densité de la route. Le débit peut être défini comme véhicule par unité de temps et densité comme véhicule par unité de distance. La plupart des modèles analytiques basés sur des modèles d'optimisation de réseau ignorent simplement cette caractéristique du trafic et assurent un temps de déplacement constant. Même si cette simplification permet d'utiliser des algorithmes d'optimisation de réseau efficaces, elle manque de précision et de faible fiabilité de la solution.

### **8.1. Modèles macroscopiques :**

Les modèles d'évacuation macroscopique ignorent le comportement individuel des évacués et considèrent le mouvement d'évacuation comme un flux homogène. La théorie derrière la résolution de ces problèmes provient principalement de la recherche d'optimisation de réseau.

Les travaux antérieurs sur la modélisation de l'évacuation mathématique (macroscopique) peuvent généralement être divisés en fonction de l'utilisation de formulations de réseau statiques ou dynamiques. Les problèmes classiques d'optimisation du réseau comprennent un problème de cheminement le plus court, un problème de débit maximal et un problème de débit de coût minimal. Ces problèmes sont considérés comme statiques car ils n'incluent pas de dimension temporelle, c'est-à-dire qu'une solution au problème n'est pas fonction du temps. En considérant la dimension temporelle, les problèmes de réseau sont classés comme dynamiques. Les problèmes dynamiques associés incluent le problème de flux dynamique maximal, le problème de flux le plus rapide et le problème de l'arrivée le plus.

Yamada [106] a utilisé une approche de flux de réseau pour l'évacuation d'urgence d'une ville. Dans cette approche, les zones résidentielles et les lieux de refuge sont modélisés comme des nœuds et des routes intermédiaires sous forme d'arcs. Le modèle utilise deux méthodes d'évacuation. La première méthode attribue chaque zone résidentielle aux endroits les plus proches des refuges en calculant le chemin le plus court vers un nœud artificiel. Ce nœud artificiel est relié à chaque lieu de refuge avec des arcs de distance nulle et le chemin le plus

court est calculé à partir de ce nœud dans chaque zone résidentielle. Cette méthode minimise la distance totale et individuelle pour évacuer. La deuxième méthode résout un problème de coût minime pour affecter des zones résidentielles aux lieux de refuges tout en considérant les limites de capacité sur ces lieux de refuges. Les nœuds qui représentent les zones de résidents auront une demande qui doit être satisfaite et le refuge permet aux nœuds d'avoir des capacités à respecter.

Cova et Johnson ont proposé un programme linéaire mixte entier pour un routage d'évacuation optimal [107]. Le modèle est une extension à un problème de flux de coûts minime où la contrainte est ajoutée aux variables binaires. L'objectif principal est de faire circuler des véhicules jusqu'à leur zone d'évacuation la plus proche. Un objectif secondaire (contrainte) est de minimiser le nombre de conflits de fusion et de croisement entre intersections.

## **8.2. Modèles microscopiques :**

Dans une modélisation microscopique, les interactions entre évacués peuvent être envisagées. La complexité qui en résulte, cependant, interdit l'utilisation de modèles analytiques pour résoudre efficacement le problème. Par conséquent, des solutions optimales ne sont pas généralement recherchées dans la modélisation microscopique. Au lieu de cela, une approche de simulation peut être utilisée pour évaluer les performances actuelles et pour prédire les performances futures dans plusieurs scénarios proposés. Récemment, les modèles de simulation pour la planification de l'évacuation sont de plus en plus basés sur les automates cellulaires qui sont des abstractions mathématiques de certains systèmes physiques. Ces systèmes sont caractérisés par un temps et un espace discrets et dans lesquels les quantités physiques prennent un ensemble fini de valeurs discrètes [108].

Dans sa forme la plus simple, un automate cellulaire se compose d'un réseau unidimensionnel de cellules ou de sites. L'état de l'automate cellulaire est complètement spécifié par les valeurs des variables à chaque cellule. Un automate cellulaire évolue dans des étapes temporelles discrètes avec la valeur d'une variable dans une cellule affectée par sa cellule "voisine" à l'étape de temps précédente. Les automates cellulaires ont été initialement introduits en 1963 par Von Neuman et Ulm comme modèle de l'autoproduction biologique. Depuis lors, ils ont été appliqués au modèle de systèmes complexes en physique, en mathématiques, en informatique, et en biologie.

Un avantage majeur des automates cellulaires est que, malgré la simplicité de leur structure, les automates cellulaires peuvent produire des comportements de systèmes complexes. Par exemple, considérez un automate cellulaire qui consiste en un ensemble de cellules unidimensionnel. Chaque cellule peut avoir une valeur de 0 ou 1 en fonction de la valeur des cellules voisines immédiates à l'étape précédente selon la règle suivante qui couvre les huit possibilités d'une cellule et ses deux voisins:  $111 = 0$ ,  $110 = 1$ ,  $101 = 0$ ,  $100 = 1$ ,  $011 = 1$ ,  $010 = 0$ ,  $001 = 1$ ,  $000 = 0$ , par exemple, si une cellule a une valeur de 1 et ses deux voisins sont également 1, l'étape suivante la valeur de la cellule est 0. L'évolution de cette simple règle au fil du temps produit le modèle suivant (en commençant par 1 à l'instant 0) (figure 2.1).



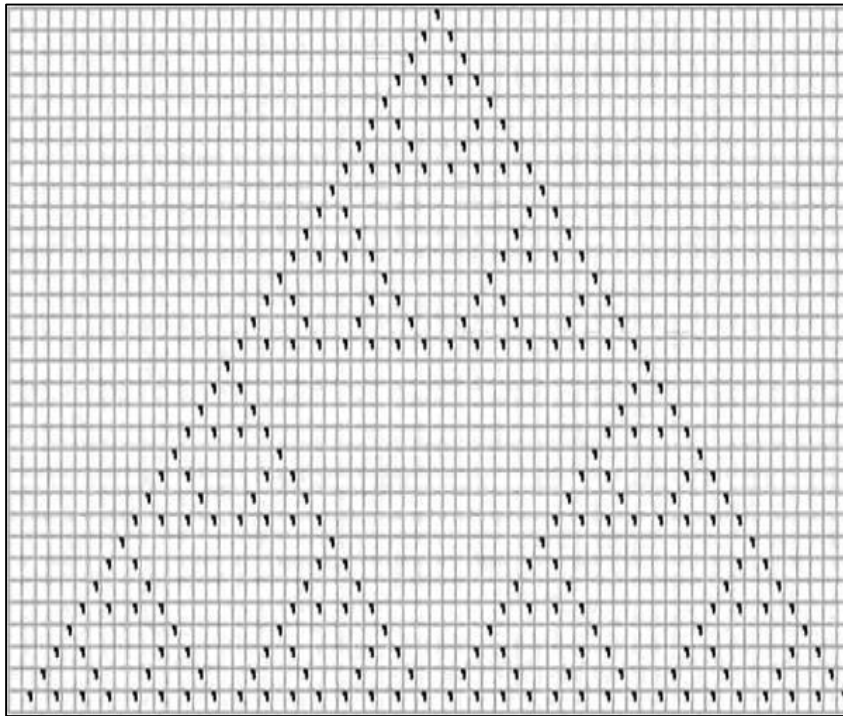


Fig. 2.1 : Sortie d'automates cellulaires selon la règle: 01011010

Farahmand [109] a proposé un modèle de simulation utilisant le logiciel WITNESS<sup>1</sup> pour l'évacuation d'urgence. Les variables d'intrants du modèle comprennent: la population, les capacités routières locales, le nombre de voitures enregistrées, la population touristique estimée et la précision de l'avertissement en fonction des dernières prévisions. Le modèle fournit des temps d'évacuation théoriques, le temps réel qui considère les retards et le temps prévu si le flux de trafic unidirectionnel est suivi de la tempête. Doheny et Fraser [110] ont proposé un modèle de logiciel pour l'évacuation du personnel proche du littoral. Ce modèle tient compte de la décision humaine lors du processus d'évacuation.

### 8.3. Modèles d'affectation de trafic :

L'objectif de l'assignation de trafic est de modéliser le choix de l'itinéraire et la congestion dans les zones urbaines principalement pendant les périodes de pointe, ce qui facilite l'évaluation des performances des infrastructures de transport [111]. Dans ces modèles, la demande entre chaque origine et destination dans un réseau est estimée et attribuée aux arcs du réseau. Les modèles de la théorie du flux de trafic sont utilisés ici pour déterminer le temps de déplacement et le coût des arcs. L'importance de ces modèles est qu'ils permettent au temps de déplacement d'être fonction de l'écoulement (ou de la densité).

Les demandes de trafic sont attribuées de manière séquentielle et itérative au réseau. Une paire destination est sélectionnée et sa demande est généralement attribuée au chemin le plus court entre l'origine et la destination jusqu'à la capacité disponible. Ensuite, les capacités du

<sup>1</sup> Witness est un outil de simulation pour la simulation de processus dynamiques de fabrication et de processus métier dans les modèles 2D ou 3D. Avec ces modèles, les processus réels peuvent être imités déjà dans la phase de planification et utilisés pour des expériences.

réseau sont mises à jour et les temps de déplacement sont recalculés jusqu'à ce que la demande de trafic soit satisfaite.

Lu et al. A proposé une heuristique pour le routage d'évacuation qui prend l'idée de l'assignation de trafic même si elle suppose que le temps de déplacement n'est pas fonction du flux [112]. Leur modèle, appelé planificateur de route à capacité limitée, trouve des itinéraires d'évacuation et des horaires qui minimisent le temps d'évacuation total tout en permettant des capacités de nœud et d'arc dépendant du temps. L'heuristique alloue itérativement les évacués aux itinéraires avec l'heure d'arrivée la plus rapprochée jusqu'à la sécurité à partir de n'importe quel nœud source. Dans chaque itération, l'algorithme recherche la première route d'arrivée vers la sécurité, alloue les évacués aux itinéraires, la capacité de mise à jour et les évacués restants. L'heuristique contredit jusqu'à ce que tous les évacués atteignent la sécurité.

## **9) Conclusion :**

Le système de transport intelligent est un domaine large qui couvre de nombreuses technologies et joue un rôle important dans l'ère de la technologie. Les déploiements des STI peuvent proposer les avantages suivants: amélioration de la sécurité, de l'efficacité, de la mobilité, de l'accessibilité et des connexions intermodales. Grâce au système de transport intelligent, de nombreux domaines prennent des avantages. Les zones des bénéficiaires sont l'artère, l'autoroute, le fret, le transit, l'incident, l'urgence, la collecte de données, la collecte des péages, l'environnement, l'information des voyageurs et la gestion de l'information archivée.

Dans la littérature, plusieurs travaux proposent des modèles pratiques de routage dynamique qui peuvent exploiter efficacement l'information sur le trafic en temps réel à partir des Systèmes de transport intelligents (STI) concernant la congestion non récurrente résultant d'incidents. Bien que la congestion non récurrente soit connue pour être responsable d'une partie majeure de la congestion du réseau, la littérature existante ignore surtout cela en proposant des algorithmes de routage dynamique.

Dans le prochaine chapitre, nous présentons le model mathématique que l'on suivi.

# Chapitre 3 :

Le modèle mathématique

## 1) Introduction :

Dans ce chapitre, nous introduisons le modèle mathématique de processus de transport durant les catastrophes. Un tel modèle combine le processus de décision de Markov (MDP) et celui de Pengfei et *al.* [33] pour fournir le temps optimal de transport entre le site de catastrophe et l'hôpital approprié.

Le MDP est utilisé pour sa capacité à modéliser tous les paramètres qui caractérisent le processus de transport durant les catastrophes tel que la congestion, les incidents, les coupures des routes, tandis que le modèle de Pengfei et *al.* permet de simuler le temps d'attente de plusieurs hôpitaux à la fois avec un taux d'arrivée dynamique ce qui convient mieux à notre cas.

## 2) Le modèle de simulation de temps d'attente au niveau d'hôpital :

La majorité des travaux de la littérature qui modélisent le temps d'attente au niveau de l'hôpital se base sur la théorie des files d'attente [113, 114, 115]. Néanmoins, ces études ne prennent pas en considération la capacité de l'hôpital en temps réel, étant donné qu'une propriété clé qui caractérise les catastrophes est l'augmentation inattendue de nombre de patient dans une courte période. Pengfei et *al.*, répond à cette question en proposant un modèle générique qui estime la capacité de l'hôpital en nombre de patient qui peut être accepté et traité à chaque période de temps donnée d'une manière efficace, c'est-à-dire, sans provoquer un temps d'attente non raisonnable, ce qui est très important dans le guidage des ambulances, en temps réel, vers les différents hôpitaux durant le processus d'évacuation.

Dans ce qui suit, nous expliquons le modèle de Pengfei et *al.*, sur lequel nous nous basons pour estimer le temps d'attente au niveau de l'hôpital approprié. Notons que ce modèle constitue la première partie de notre système.

### 2.1. Le temps d'attente dans la situation ordinaire :

Le modèle en premier lieu estime le temps d'attente de chaque hôpital dans la situation normale, en se basant sur la capacité de l'hôpital en fonction de nombre de lit (B), nombre de blocs opératoires (O) et l'indice d'efficacité (E), qui est supposé maximal dans les catastrophes. Basant Sur l'hypothèse de taux d'arrivée fixe, le modèle fournit la relation empirique pour l'estimation de temps d'attente :

$$WT = C_0 + C_1 \times B + C_2 \times O + C_3 \times E + C_4 \times B \times O + C_5 \times B \times E + C_6 \times O \times E \quad (1)$$

Tel que :

- WT = Temps d'attente à l'état d'équilibre dans la situation ordinaire,
- B = Nombre de lits à l'hôpital,
- O = Nombre de salles d'opération,
- E = Indice d'efficacité,
- $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$  et  $C_6$  sont des constantes.

## 2.2. Temps d'attente d'équilibre :

Le temps d'attente d'équilibre signifie le temps d'attente correspond à un taux d'arrivé connu et supposé constant, et selon ce dernier on peut distinguer entre les trois cas suivant :

### 2.2.1 Cas de base :

Ce cas correspond au temps juste après la catastrophe, lorsque aucun patient de la catastrophe n'a pas encore arrivé, le volume régulier donc des patients en salle d'urgence est forme le cas de base hypothétique et le temps d'attente de base, par la suite, sera calculé en utilisant la relation (1). Lorsqu'une catastrophe survient, le volume de patients entrants sera supérieur ou égal à ce cas de base.

### 2.2.2 Cas critique :

Par définition, le cas critique correspond au taux d'arrivé maximal dont n'importe quel autre taux supérieur entre le système en cas de déséquilibre qui correspondant à un temps d'attente inacceptable. Le taux d'arrivé et le temps d'attente correspond à ce cas sont définis sur l'expérimentation pour chaque hôpital, en dehors de catastrophe.

### 2.2.3 Taux d'arrivé entre cas de base et cas critique :

Basant sur la simulation toujours, Pengfei et *al.*, est arrivé à dégager la relation qui relie le taux d'arrivé et le temps d'attente pour chaque cas entre le cas de base et le cas critique. [33] a mis en évidence l'existence d'une relation log-linéaire entre le taux d'arrivé des patients et le temps d'attente comme suite :

$$\text{Log}(\text{WT}_c) = \alpha + \beta * \lambda_c \quad (2)$$

Où :  $\alpha$  et  $\beta$  sont des constantes,  $\text{WT}_c$  = Temps d'attente entre cas de base et cas critique, et  $\lambda$  = taux d'arrivée des patients correspond.

Pour un hôpital donné, l'équation (2) correspond à une ligne droite dans un espace bidimensionnel de Log (temps d'attente) et le taux d'arrivée du patient. Par conséquent, les constantes  $\alpha$  et  $\beta$  peuvent être déterminées par deux points connus pour se trouver sur la ligne. Ces points correspondent au cas de base et au cas critique.

Il est important de noter que  $\alpha$  et  $\beta$  dépendent uniquement sur les trois facteurs hospitaliers de base qui sont nombre de lits (O), nombre de blocs opératoires (B) et l'indice d'efficacité (E). Ce qui renforce la généralité de notre modèle en permettant de calculer la relation (2) pour chaque un des hôpitaux de la région de la catastrophe.

## 2.3. Temps d'attente transitoire :

Le comportement transitoire de l'hôpital correspond au taux d'arrivé dynamique, c'est-à-dire, taux d'arrivé entre deux cas d'équilibre et le temps d'attente correspondant peut être considéré comme la somme pondérée de deux fonctions exponentielles est donné par la fonction suivante :

$$Y(t) = T_i + (T_f - T_i) \left[ (1 - \varepsilon) \left( 1 - e^{-\frac{(t_{ca} - t)}{\varepsilon_1}} \right) + \varepsilon \left( 1 - e^{-\frac{(t_{ca} - t)}{\varepsilon_2}} \right) \right] \quad (3)$$

Tel que :

- $Y(t)$  = La fonction qui donne le temps d'attente transitoire à l'instant  $t$ ,
- $T_i$  = Le temps d'attente avant la catastrophe (cas de base),
- $T_f$  = Le temps d'attente après la catastrophe,
- $T_{ca}$  = Le temps de simulation est mesuré en minute.

Si les temps d'attentes dans  $t_1, t_2$  sont  $T_1, T_2$ , respectivement, avec le temps d'arrivée fixe dans l'intervalle  $]T_1, T_2]$ , On peut généraliser la relation (3) de sorte qu'elle nous permettra de calculer le temps d'attente transitoire entre  $T_1$  et  $T_2$  comme suite :

$$Y(t) = T_1 + (T_2 - T_1) \left[ (1 - \varepsilon) \left( 1 - e^{-\frac{(t_{ca} - t)}{\varepsilon_1}} \right) + \varepsilon \left( 1 - e^{-\frac{(t_{ca} - t)}{\varepsilon_2}} \right) \right] \quad (4)$$

Avec  $t \in ]T_1, T_2]$  et  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  sont deux temps constant correspondants aux cas de base et critique, respectivement, tandis que  $\varepsilon$  est une constante entre 0 et 1.

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  Sont obtenu pour chaque hôpital, en simulant le cas de base et le cas critique, et elles sont liées aux trois facteurs B, O, E.

$\varepsilon$  : est obtenu aussi en fonction de  $\lambda$ , basant toujours sur la simulation comme suite :

$$\text{Log}(\varepsilon) = c + d * \lambda \quad (5)$$

Avec  $c, d$  sont deux constante et  $\lambda$  est le taux d'arrivée. Pour le cas de base, nous avons,  $\varepsilon = 0$ ,  $\lambda$  = taux d'arrivée correspond au cas de base, pour le cas de critique, nous avons,  $\varepsilon = 1$ ,  $\lambda$  = taux d'arrivée correspond au cas de critique. On peut calculer donc  $c$  et  $d$  pour chaque hôpital. Notons que pour  $\varepsilon = 0$ ,  $\text{Log}(\varepsilon)$  n'existe pas, comme approximation, on peut prendre  $\text{Log}(0) = -3,2$ .

#### 2.4. Estimation de la capacité :

Puisque notre objectif ultime est d'estimer la capacité de l'hôpital, c'est-à-dire le nombre de patients qu'un hôpital peut accepter et traité dans un temps raisonnable (ne dépassant pas le temps de survie), il fallut convertir le temps d'attente en capacité.

En supposant que le temps d'attente maximal admissible est  $T_m$ , ce temps d'attente correspond au taux d'arrivée maximal des patients ( $\lambda_m$ ) qui est donné selon l'équation (2) par :

$$\lambda_m = (\ln(T_m) - a)/b \quad (6)$$

Où : a et b sont des constantes, Supposons que le temps d'attente actuel  $T_r(t)$ , temps d'attente transitoire trouve par l'équation (4), correspond à un certain taux d'arrivée, ce taux d'arrivée ( $\lambda_s$ ) peut être calculé comme :

$$\lambda_s = \ln(T_r(t) - a)/b \quad (7)$$

Enfin, la capacité disponible serait égale à la différence entre la capacité maximale et la capacité utilisée.

$$C = (\lambda_m - \lambda_s) \cdot \Delta t \quad (8)$$

Où  $\Delta t$  = durée de temps, C = capacité disponible.

Si la durée est d'une heure, la capacité horaire disponible ( $C_h$ ) est :

$$C_h = \lambda_m - \lambda_s \quad (9)$$

Tant que les informations délivrées sont mis-à-jour en temps réel, il paraît que la formulation de temps d'attente avec le comportement transitoire est l'approche la plus appropriée dans les catastrophes, étant donné, comme nous avons mentionnée auparavant, qu'une propriété inhérente des catastrophes est l'augmentation soudaine de nombre de patient dans une courte durée.

Concernant la modélisation du temps de transport, nous optons pour le processus de Markov (MDP) qui fournit les outils nécessaires pour modéliser tous les paramètres qui caractérisent le processus de transport durant les catastrophes comme la congestion, les incidents, les coupures de routes, ... etc.

### 3) Modèle MDP pour le processus de transport dans les catastrophes :

L'objectif de processus de transport est de minimiser le temps moyen de transport du point de départ (site de la catastrophe) au point d'arrivée (l'hôpital) en se basant sur les informations en temps réel fournies par les STIs.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons au routage des véhicules dans un environnement incertain et dynamique issue de la congestion des trafics, y compris les coupures totales des routes, comme dans les inondations et les séismes.

Pour cela nous adoptons une approche stochastique et dynamique en se basant sur le MDP.

Avant d'entamer la modélisation des composantes d'un tel processus, il est nécessaire d'introduire les concepts de base relatifs au processus de Markov (MDP).

#### 3.1. Processus de Markov (MDP) :

Un MDP est un quadruplet  $\{S, A, P, R\}$  définissant:

- L'espace d'états **S** : c'est l'ensemble des états de processus, par exemple on peut considérer les nœuds du réseau comme les états de notre processus.

- L'ensemble d'actions **A** : c'est l'ensemble des actions, particulièrement  $A_s$  est l'ensemble des actions qu'on peut prendre lorsqu'on est à l'état  $s$ .
- La fonction de transition **P** :  $S \times A \times S \rightarrow [0,1]$ , définit la distribution des probabilités des actions sur l'espace d'états, par exemple  $P(S_1, a_1, S_2)$  donne la probabilité que le processus passe de l'état  $S_1$  à l'état  $S_2$  en appliquant l'action ( $a_1$ ).
- La fonction de récompense **R** : elle définit la récompense (positive ou négative) de l'application des différentes actions sur l'espace d'états,  $P(S_1, a_1, S_2)$  donne la récompense obtenue en passant de l'état  $S_1$  à  $S_2$  à travers l'action ( $a_1$ ).

Le problème dans les MDPs est de trouver la succession des décisions qui maximise la récompense s'il est positif ou le minimiser le cas contraire. Le problème se ramène à la définition de la politique  $\pi$ , qui est une fonction qui retourne pour chaque état l'action à prendre afin d'optimiser la récompense global.

### 3.2 Modélisation de la congestion :

Considérant les notations suivantes :

**G** = (N, A) : le graphe qui représente le réseau routier dans la zone de la catastrophe avec :

**N** : L'ensemble des nœuds du réseau routier, il contient à la fois les intersections et les destinations (les hôpitaux) et les segments qui relient les différentes intersections entre eux avec les différents hôpitaux de la région. **A** : L'ensemble des arcs. Un arc (i, j) relie deux nœuds i et j dans le graphe tel que  $i, j \in N$ .

Le problème de routage dynamique peut être formulé par le quintuple (G,  $n_0$ , H, f, C) où :

**$n_0$**  : Le nœud de départ du processus d'évacuation (le site de la catastrophe).

**H** = { $h_1, \dots, h_Q$ } : L'ensemble des hôpitaux qui fournissent la spécialité demandée. L'hôpital choisis peut être mis-à-jour à la future et mesurer avec les éventuels changements qui peuvent affecter le réseau routier et/ou le temps d'attente au niveau de l'hôpital.

**f** : La fonction objective qui fournit le temps total d'évacuation pour un patient (temps de transport et temps d'attente), cette fonction doit prendre en considération les éventuelles changements dans le réseau pendant le processus d'évacuation.

Afin de calculer le temps total de transport pour un chemin donné :  $\Gamma_k = n_k, n_{k+1}, \dots, h_i$ , nous calculons le temps de passage pour l'arc courant ( $n_k, n_{k+1}$ ) et le temps moyen de transport pour le sous-chemin restant  $\Gamma_{k+1} = n_{k+1}, \dots, h_i$ , prenant en considération les éventuelles contraintes C telle que la congestion et les coupures de route.

Le temps de passage pour l'arc courant est estimé selon son état de congestion en se basant sur les données historiques, tandis que pour un arc futur on doit estimer les états de congestion de cet arc quand nous arrivons à ce dernier, puis on calcule le temps moyen de transport en se basant toujours sur les données historiques. La figure suivante montre l'état partiel d'un réseau de transport à une instant donnée t.



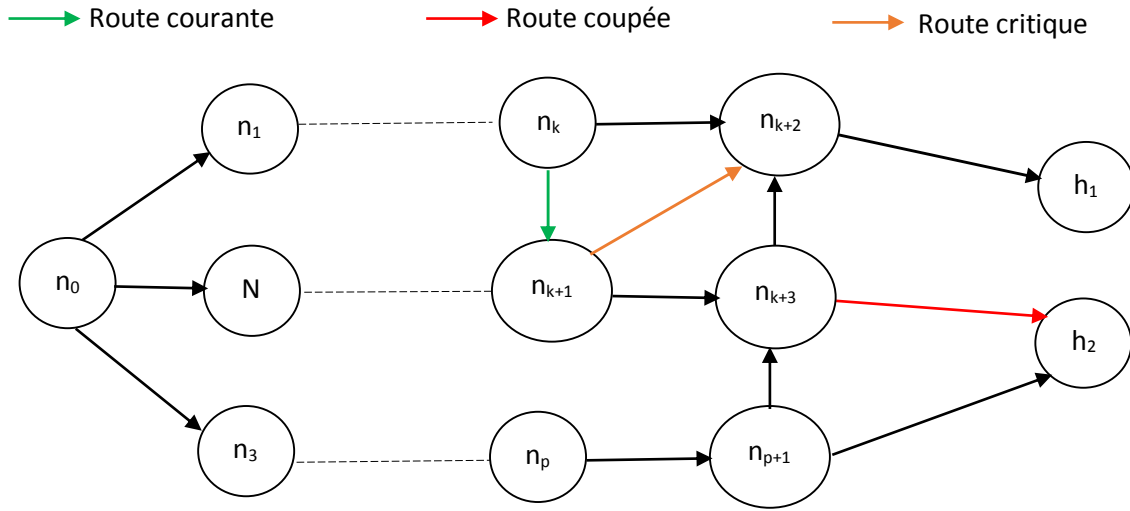


Fig. 3.1. Observation partielle de l'état du réseau routier.

Nous adoptons une approche markovienne pour modéliser la congestion. On considère l'état de congestion du réseau à l'instant  $t$ , noté par  $Z(t)$ , comme suit :

$Z(t) = \{Z^{a1}, Z^{a2}, \dots, Z^{am}\}$  avec  $Z^a$  est l'état de congestion de l'arc  $a$  (congestionner ou non), et  $m$  est le nombre des arcs du réseau.

Nous supposons que, l'état de congestion de chaque arc est géré par une chaîne de Markov non stationnaire et le temps de passage correspond à un état de congestion est régi par une loi normale. Par conséquent, la matrice de transition pour l'arc  $(a)$  entre  $t$ ,  $t+1$  est donnée par :

$$Z^a(t, t+1) = \begin{bmatrix} \alpha & 1 - \alpha \\ 1 - \beta & \beta \end{bmatrix}$$

avec  $\alpha$  est la probabilité que l'arc  $(a)$  qui se trouve congestionné à l'instant  $t$  reste congestionné à l'instant  $t+1$  et  $\beta$  est la probabilité que l'arc  $(a)$  passe de non congestion à l'état de congestion entre  $t$  et  $t+1$ .

La probabilité  $\beta$  que l'arc  $(a)$  passe de l'état de non congestion  $t$  à l'état de congestion  $t+1$  est donnée par :

$$\beta = \frac{P(v^a(t) > sl \cap v^a(t+1) < sl)}{P(v^a(t) > sl)}$$

Où  $v^a(t)$  dénote la vitesse de l'arc  $(a)$  à l'instant  $t$ , et  $sl$  : est une constante représente la coupure de vitesse entre l'état de congestion et non congestion.

La matrice de transition d'un arc donnée entre l'instant  $t$  et  $t+\tau$  est obtenu, en se basant sur l'équation de Kolmogorov [116], en multipliant les matrices de transition  $Z^a(t, t+1)$ ,  $Z^a(t, t+2)$ , ...,  $Z^a(t+\tau-1, t+\tau)$  comme suite :

$$Z^a(t, t+\tau) = Z^a(t, t+1) * Z^a(t, t+2) * \dots * Z^a(t+\tau-1, t+\tau). \quad (10)$$

Soit  $P(z'/t, z, t')$  la probabilité de transition du réseau de l'état de congestion  $z$  à l'instant  $t$  à l'état de congestion  $z'$  à l'instant  $t'$ , nous avons donc :

$$P(z'/t, z, t') = \prod_{i=1}^m P(Z^{ai}(t') = z^{ai'} / Z^{ai}(t) = z^{ai}) \quad (11)$$

Nous supposons aussi que le temps de passage d'un arc dépend de l'état de congestion de réseau dans le temps de départ est suit la loi normale de distribution :

$$\tau(a, t, z) \sim N(\mu(a, t, z), \sigma^2(a, t, z))$$

Avec  $(a, t, z)$  est le temps de passage de l'arc  $(a)$  à l'instant  $t$  sachant que l'état de congestion de réseau est  $(z)$ ,  $\mu(a, t, z), \sigma^2(a, t, z)$  sont la moyenne et l'écart type du temps de passage de l'arc  $(a)$  dans les conditions précédentes.

### 3.3. Le modèle de transport dynamique :

Comme le temps de passage d'un chemin est le cumule des temps de passage des arcs qui le constitue, avec la prise en compte de la congestion, le modèle de routage peut être formulé comme un problème stochastique et dynamique. La réalisation d'un tel modèle nécessite l'observation et la supervision de trafic routier.

Afin d'estimer le temps de passage moyen pour un tel chemin  $\Gamma = a_1, a_2, \dots, a_p$ , prenant en considération les contraintes routières en temps réel, nous considérons chaque nœuds du réseau comme point de décision tel que le sous-chemin  $\Gamma_k = a_k, a_{k+1}, \dots, a_p$  sera décomposé en arc courant et le sous-chemin restant  $\Gamma_{k+1} = a_{k+1}, \dots, a_p$ . Dans ce qui suit, nous formulons le guidage des ambulances comme un MDP.

Pour cela nous décrivons le temps à chaque point de décision  $n_k$  comme suit,  $t_k \in \{1, 2, \dots, T\}$  avec  $T$  doit être assez grand, de sorte qu'on peut traverser n'importe quel arc du réseau. Nous définissons aussi l'ensemble  $\text{Cur}(n_k)$  des arcs sortant d'un nœud  $n_k$  avec :  $\text{Cur}(n_k) = \{a_k, a_k = (n_k, n_{k+1}) \in A\}$  comme l'ensemble des actions possible.

Pour déterminer l'arc à suivre à partir du nœud  $n_k$ , le processus évalue les différents chemins qui mènent à la désignation en choisissent le meilleur.

Considère  $\Omega = (n, T, z)$  l'espace d'état du processus avec  $n \in N, T \in \{0, 1, \dots, T\}$ , et  $z \in \{Z^{ai}, a_i \in A\}$ , le vecteur d'état de congestion du réseau.

Soit  $P(z'/t, z, t')$ , la probabilité de transition de l'état de congestion  $z$  dans le temps  $t$  à l'état  $z'$  dans  $t'$ , et  $P(t'/n, t, z, n')$ , dénote la probabilité que le véhicule arrive au nœud  $n$  au temps  $t'$  sachant qu'il était au nœud  $n'$  dans le temps  $t$ . La probabilité donc que le véhicule atteint le nœud  $n'$  dans  $t'$  avec l'état de congestion  $z'$  sachant qu'il était au nœud  $n$  dans le temps  $t$  avec l'état de congestion  $z$  est :

$$P(t', z'/n, t, z, n') = P(z'/t, z, t') * P(t'/n, t, z, n') \quad (12)$$

Une politique de Markov permet de donner l'arc à suivre à partir de n'importe quel nœud, en fonction de temps et l'état de congestion.

Concernant notre application, nous définissons plusieurs politiques dont chaque une retourne l'arc suivre à partir d'un nœud donné en destination de l'hôpital  $h_i$  comme suit :

$$\pi^i: \Omega \rightarrow A, \text{ donc } \pi^i(\Omega_k) \in \text{Cur}(n_k), \text{ avec } \Omega_k = (n_k, t_k, z_k). \quad (13)$$

Nous définissons maintenant la fonction de récompense  $f$  pour chaque une de politiques comme suit :  $f^{\pi^i}: \Omega * h_i \rightarrow R^+$  tel que :

$$f^{\pi^i}(\Omega_k, h_i) = \sum_{\tau} P(\tau/n_k, t_k, z_k, n_{k+1})(\tau - t_k) + \sum_{\tau, z'} P(\tau, z'/n_k, t_k, z_k, n_{k+1}) f^{\pi^i}(\Omega_{k+1}, h_i). \quad (14)$$

Avec  $\Omega_{k+1} = (n_{k+1}, t_{k+1}, z_{k+1})$  et  $\pi^i(\Omega_k) = a_k = (n_k, a_{k+1})$  et  $t_{k+1} = \tau$ , est définis selon la loi de distribution qui gère le temps d'attente sur l'arc  $a_k$  à l'état de congestion  $z$ . Notons que la condition finale de la fonction est définis par  $f^{\pi^i}(\Omega_p, h_i) = \text{WT}(h_i)$ , le temps d'attente à l'hôpital  $h_i$ , avec  $n_p = h_i$ .

Nous visons une politique optimale  $\pi^{i*} = [\pi_1^{i*}, \pi_2^{i*}, \dots, \pi_p^{i*}]$  avec :

$$f^{\pi^{i*}}(\Omega_0, h_i) \leq f^{\pi^i}(\Omega_0, h_i)$$

Et l'hôpital choisit par la suite est donnée par  $h_i^* = \text{argmin}_{h_1^*, \dots, h_s^*} f^{\pi^{i*}}(\Omega_0, h_i)$ , en plus la politique optimale est donnée par :

$$\pi^* = \text{rgmin } f^{\pi^i}(\Omega_0, h_i^*) \quad (15)$$

Pour déterminer la politique optimale  $\pi^*$ , ainsi que la valeur de  $f^{\pi^*}$  nous utilisons une approche à l'envers basé sur les équations cost-to-go de Bellmen pour trouver  $f^{\pi^*}(\Omega_Q, h_i^*)$ ,  $Q = h_i, p-1, p-2, \dots, 0$ .

Finalement, pour des raisons de performance, nécessité accrue pour les catastrophes, nous suggérons à superviser qu'un sous ensemble des arcs, en l'appelant les arcs critiques, un tel ensemble contient les arcs importants connu par le volume de trafic élevés passe par eux, comme les ponts, les tunnels et les autoroutes. Ce concept, arc critique, constitue le point central de succès de notre processus d'évacuation.

#### 4) Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons détaillé notre modèle d'évacuation pour les catastrophes, un tel modèle est capable i) à simuler le comportement transitoire de temps d'attente au niveau de l'hôpital, qu'est une propriété inhérente des hôpitaux dans une telle situation, et ii) acquérir tous les paramètres qui caractérise la procédure de transport dans les situations critiques y compris les congestions sévères et les coupures de routes.

Dans le prochain chapitre nous montrons l'efficacité de notre modèle à travers la simulation de ses différents scénarios et l'évaluation de ses performances pour des réseaux de tailles assez grands.

# Chapitre 4 :

Simulation & Evaluation des  
performances

## 1) Introduction :

Ce chapitre a pour objectif, d'analyser et d'interpréter les résultats. Il se compose de deux sections, La première section présente l'environnement du travail, les outils de développement de notre model, ainsi que la description des fonctions utilisées. La deuxième section présente les différents scenarios de simulation et l'évaluation des performances du modèle.

## 2) Environnement du travail :

| Sony Vaio Pc           |                                          |
|------------------------|------------------------------------------|
| Système d'exploitation | Windows 10 Professionnel 64 bits         |
| Processeur             | Intel(R) Core(TM) i5-2450M CPU @ 2.50GHz |
| Ram                    | 4 Go                                     |
| Disque dur             | 1 To                                     |

Tableau 2 : Les caractéristiques de l'environnement du travail.

## 3) Outils de développement :

### 3.1. MATLAB :

MATLAB (« matrix laboratory ») est un langage de programmation de quatrième génération émulé par un environnement de développement du même nom ; il est utilisé à des fins de calcul numérique [117]. Développé par la société The MathWorks, MATLAB permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C, C++, Java, et Fortran.

Partout dans le monde, des millions d'ingénieurs et de scientifiques utilisent MATLAB pour analyser et concevoir les systèmes et produits de demain. MATLAB est présent dans des systèmes automobiles de sécurité active, des véhicules spatiaux, des appareils de surveillance médicale, des réseaux électriques intelligents et des réseaux mobiles LTE. Il est utilisé dans les domaines de l'apprentissage automatique, le traitement du signal, la vision par ordinateur, les communications, la finance computationnelle, la conception de contrôleurs, la robotique et bien plus [118].

Nous avons choisi MATLAB car il a plusieurs avantages [119] par rapport aux autres langages. Parmi elles :

- Facile à utiliser : car les données peuvent être facilement saisies, en particulier pour les algorithmes adaptables au format 'tableau'. C'est une caractéristique importante car elle permet aux utilisateurs d'expérimenter de nombreux problèmes numériques dans un court laps de temps.
- Sa vitesse de calcul : Le programme donne une réaction instantanée.

- Sa richesse : l'environnement Matlab comporte une palette d'outils s'adressant à de très nombreux domaines. Par exemple, l'intégration dans un seul environnement homogène de l'ensemble des outils permettant la conception fiable d'un système de contrôle, jusqu'à son prototypage en temps réel, constitue un atout déterminant.
- C'est un standard de fait, enseigné dans la plupart des écoles et utilisé dans la plupart des grandes entreprises, ce qui facilite les échanges entre utilisateurs.
- Les développements sont assurés par une équipe de plusieurs centaines d'informaticiens, qui assurent une évolution permanente du logiciel et la sortie régulière de nouvelles versions comportant chaque fois davantage de fonctionnalités.
- La documentation livrée avec Matlab est complète et professionnelle. La qualité de la documentation est un des points faibles couramment reprochés aux autres langages.
- Les versions de Matlab sont largement testées avant d'être diffusées. Même s'il subsiste toujours quelques problèmes dans les premières versions, elles sont d'un niveau de fiabilité élevé.

### 3.2. Microsoft Excel :

Excel est un tableur d'Office de Microsoft, il facilite la création et la manipulation des tableaux jusqu'à sa visualisation se forme graphique. Pour cela nous choisissons Excel comme moyens d'interaction avec notre simulateur pour entrer les données et afficher les résultats

#### 4) Description de l'application :

##### 4.1. Fonctions qui gèrent le réseau routier :

|                       |                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>create_edges</b>   | Fonction pour la génération du réseau routier. On donne comme paramètre le nombre de nœuds et elle renvoi les deux matrices : (P) matrice des coordonnées des nœuds, (M) matrice des arcs.                          |
| <b>tablesTimesArc</b> | Procédure qui génère aléatoirement l'évolution de l'état de la route avec le temps. On donne comme donnée d'entrer le graphe du réseau et elle retourne les matrices de la probabilité de congestion avec le temps. |
| <b>save_mat</b>       | Fonction de sauvegarde. Elle permet de sauvegarder les deux matrices (M) et (P) dans un fichier Excel, dont le nom est passé comme paramètre.                                                                       |
| <b>Read_file</b>      | Elle permet d'extraire la matrice des coordonnées des nœuds, la matrice d'arc et la matrice des probabilités d'état du réseau avec le temps à partir d'un fichier Excel dont le nom est passé comme paramètre       |

Tableau 3 : Fonctions qui gère le réseau routier.

#### 4.2. Fonctions d'algorithme 'Cost to go':

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CtimeMoy</b>    | Fonction qui compte le temps moyen de passage pour chaque'un des arcs. On donne comme paramètres le temps d'arrivé au nœud final, la matrices d'état du réseau et elle renvoi la matrice du temps moyen pour chaque arc.                                                             |
| <b>findNum</b>     | Fonction de recherche, à partir du graph de réseau, elle donne les arcs incidents à un nœud donné.                                                                                                                                                                                   |
| <b>rowCountArc</b> | Fonction qui retourne le numéro de la ligne à partir du numéro de la colonne et une valeur que l'on passe comme paramètres.                                                                                                                                                          |
| <b>supprimeArc</b> | Fonction de suppression. On donne comme paramètres la matrice des arcs, le numéro de la colonne et une valeur spécifique dans la colonne. Le résultat est une nouvelle matrice privé de la ligne qui contient la valeur spécifiée.                                                   |
| <b>cost_to_go</b>  | Fonction qui établit le meilleur chemin à suivre en temps réel. C'est la fonction centrale de notre simulateur, elle permet de calculer la route à suivre selon l'état de la route et les temps d'attente au niveau des hôpitaux à partir du nœud actuel (où se trouve l'ambulance). |
| <b>Drawpaath</b>   | Fonction qui visualise le meilleur chemin. C'est la fonction qui affiche en temps réel le résultat envoyé par 'cost_to_go'.                                                                                                                                                          |

Tableau 4 : Fonctions d'algorithme 'Cost to go'.

#### 4.3. Fonction principale :

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>main</b> | Fonction qui faite le scenario que l'on veut. On donne comme paramètres la matrice des arcs, la matrice du temps, la matrice de la probabilité, la matrice des coordonnées des nœuds, le nœud de départ, le vecteur des nœuds d'arrivés, la matrice des hôpitaux et le numéro de scenario (par exemple : 1 pour un réseau routier de taille petite, 2 pour un réseau routier de taille moyen...) |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Tableau 5 : Fonction principale.

### 5) La simulation :

Un système qui fonctionne en temps réel est un système qui permet d'acquérir les données, à chaque instant, et retourner les résultats immédiatement [121].

Sur l'hypothèse que, si le système fonctionne bien juste après la catastrophe, il assure le bon fonctionnement par la suite. Nous limitant le temps de simulation de notre processus à une période de deux heures, 10-12, période dans lequel la congestion récurrent atteint sa valeur maximale, tout en divisant de temps en intervalle de 30 min comme compromis permet d'exploiter l'information en temps réel sans affecter les performances du système.

#### 5.1. Scénario de simulation :

Dans ce qui suit nous évaluons notre processus à travers les différent cas d'étude présentés dans le tableau suivant :

|            | congestion | Coupure de route | Temps d'attente |
|------------|------------|------------------|-----------------|
| Scénario 1 | ✓          | X                | X               |
| Scénario 2 | ✓          | X                | ✓               |
| Scénario 3 | ✓          | ✓                | ✓               |

Tableau 6 : Scénarios de simulation.

Afin de réaliser les scénarios mentionnés précédemment, nous considérons l'évacuation de 500 patients dans un réseau de 11 nœuds avec 4 hôpitaux.

- **Scenario 1** : On ne prend pas en considération le temps d'attente aux niveaux des hôpitaux dans l'évacuation.

|           | Nœud choisie | capacité | Temps d'attente | Nombre de Patient évacué | Temps d'évacuation par heure |
|-----------|--------------|----------|-----------------|--------------------------|------------------------------|
| Hôpital 1 | 11           | 200      | 0               | 200                      | 3.25                         |
| Hôpital 2 | 8            | 150      | 0               | 0                        | 0                            |
| Hôpital 3 | 10           | 180      | 0               | 180                      | 2.8500                       |
| Hôpital 4 | 9            | 190      | 0               | 120                      | 3.0042                       |

Tableau 7 : Statistiques pour le scenario 1.

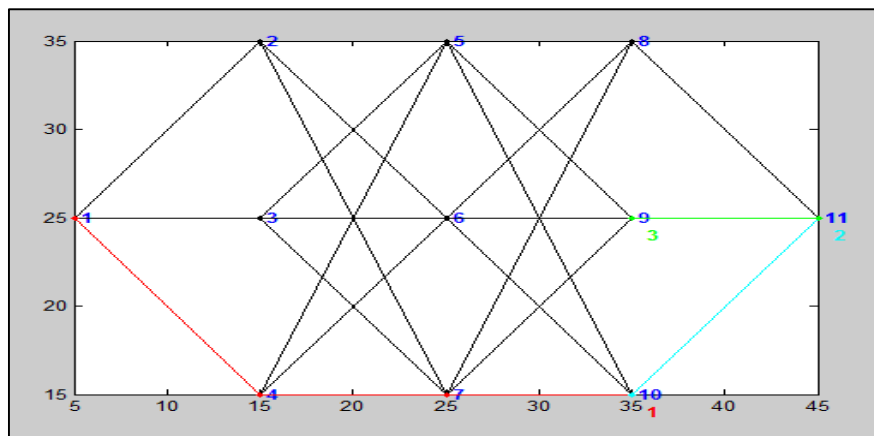


Fig. 4.1 : Le chemin suivi pour le scenario 1

- Temps total d'évacuation = 9.1042 h
- Temps d'évacuation moyen = 2.18 min



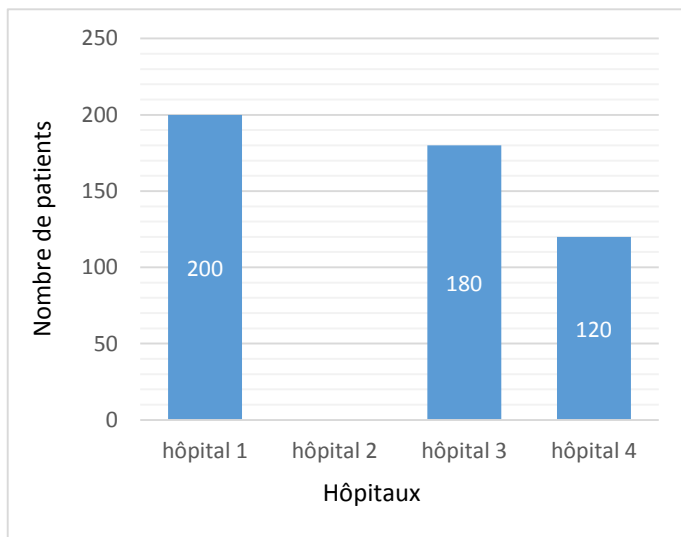


Fig. 4.2 : Affectation des patients / Hôpital pour le premier scenario

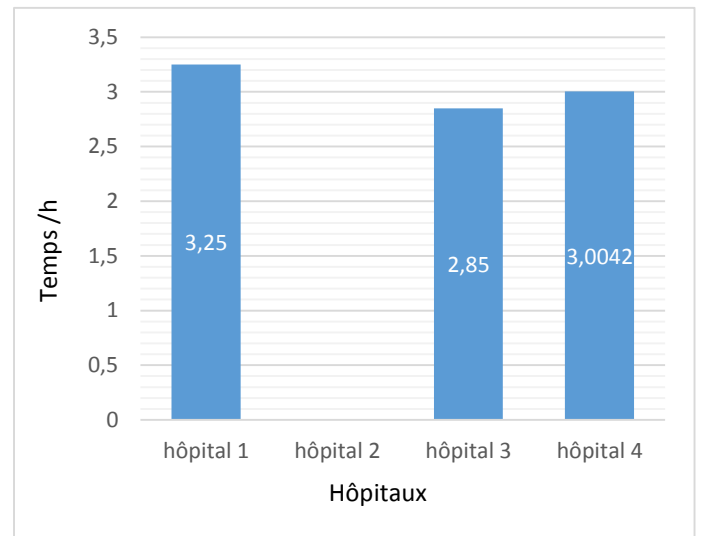


Fig. 4.3 : Temps d'évacuation / Hôpital pour le premier scenario

On voit que pour le premier scenario où nous ne prend pas le temps d'attente de l'hôpital en considération, nous avons obtenus un mauvais résultat représenté dans le temps total d'évacuation qui a une valeur grave et non acceptable par rapport à le temps critique d'évacuation.

- **Scenario 2 :** C'est le même cas que le premier scenario sauf que cette fois ci on prend en considération le temps d'attente au niveau des hôpitaux dans l'évacuation.

|           | Nœud choisie | capacité | Temps d'attente | Nombre de Patient évacué | Temps d'évacuation par heure |
|-----------|--------------|----------|-----------------|--------------------------|------------------------------|
| Hôpital 1 | 11           | 200      | 30              | 0                        | 0                            |
| Hôpital 2 | 8            | 150      | 15              | 130                      | 1.2691                       |
| Hôpital 3 | 10           | 180      | 20              | 180                      | 2.8500                       |
| Hôpital 4 | 9            | 190      | 25              | 190                      | 1.5392                       |

Tableau 8 : Statistiques pour le scenario 2.

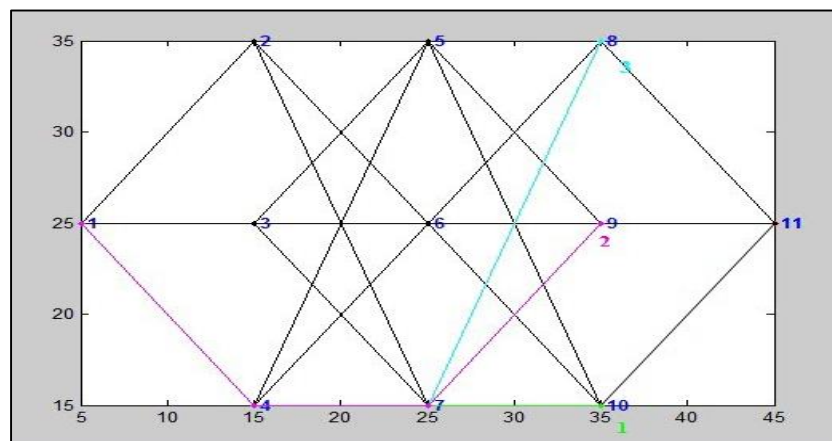


Fig. 4.4 : Le chemin suivi pour le scenario 2

- Temps total d'évacuation = 5.6583 h
- Temps d'évacuation moyen = 1.35 min

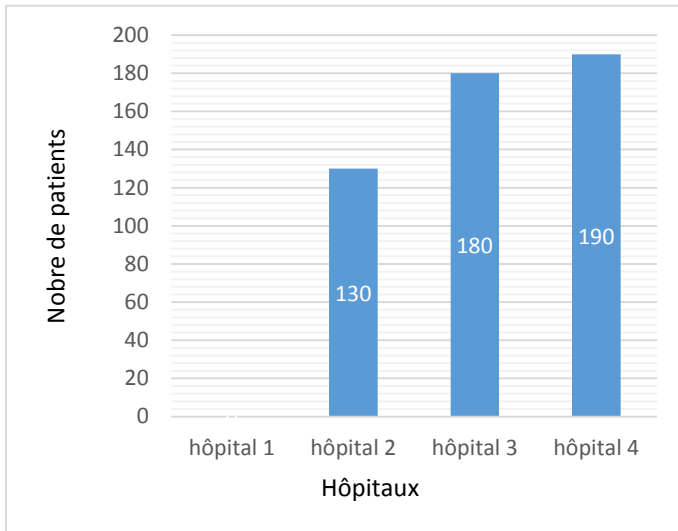


Fig. 4.5 : Affectation des patients / Hôpital pour le deuxième scenario

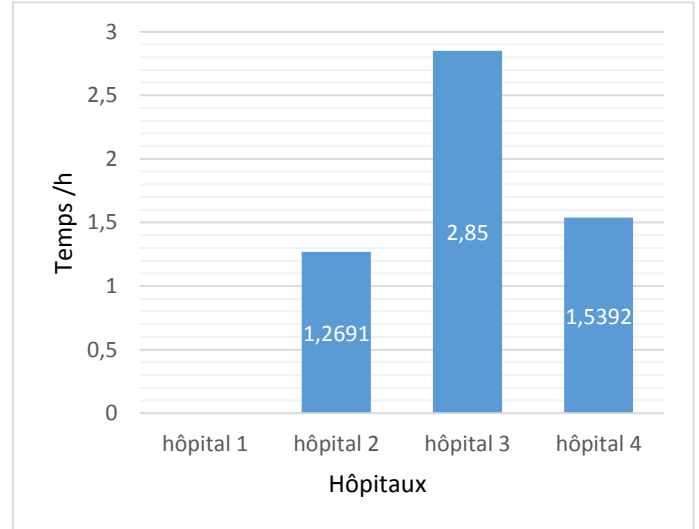


Fig. 4.6 : Temps d'évacuation / Hôpital pour le deuxième scenario

Cette fois, quand on prend le temps d'attente à l'hôpital en considération, nous remarquons une amélioration considérable dans le temps total et moyen avec une meilleure distribution des patients sur les hôpitaux. On peut dire donc que plus l'amélioration de temps d'évacuation de patient, la prise en considération de temps d'attente assure une meilleure répartition des patients sur les hôpitaux ce qui conduit à équilibrer les charges et assure une exploitation optimale des ressources, l'un des objectifs majeurs de notre travail.

- **Scenario 3 :** A travers ce scénario, nous testons le comportement de notre système, en cas où, le meilleur chemin d'évacuation est endommagé.

|           | Nœud choisie | capacité | Temps d'attente | Nombre de Patient évacué | Temps d'évacuation par heure |
|-----------|--------------|----------|-----------------|--------------------------|------------------------------|
| Hôpital 1 | 11           | 200      | 30              | 0                        | 0                            |
| Hôpital 2 | 8            | 150      | 15              | 150                      | 2.3358                       |
| Hôpital 3 | 10           | 180      | 20              | 160                      | 1.8025                       |
| Hôpital 4 | 9            | 190      | 25              | 190                      | 3.0225                       |

Tableau 9 : Statistiques pour le scenario 3.

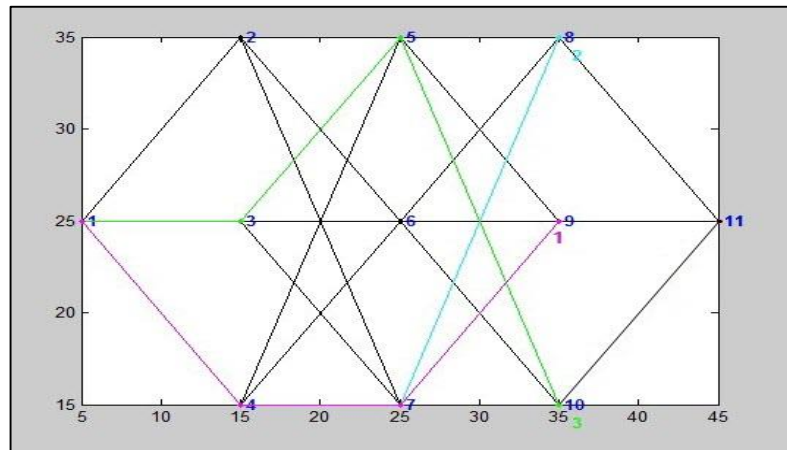


Fig. 4.7 : Le chemin suivi pour le scenario 3

- Temps total d'évacuation = 7.0608 h
- Temps d'évacuation moyen = 1.72 min

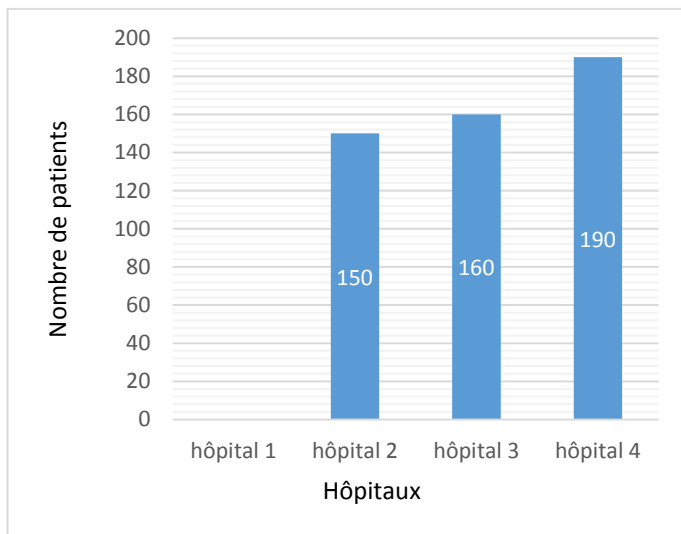


Fig. 4.8 : Affectation des patients / Hôpital pour le troisième scenario

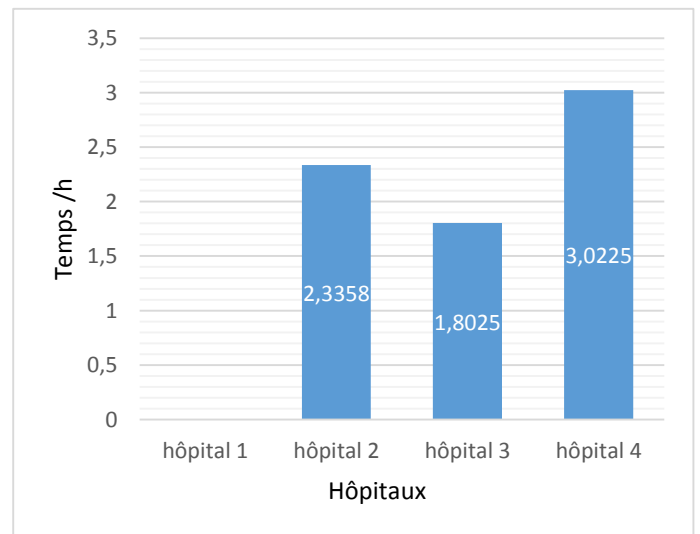


Fig. 4.9 : Temps d'évacuation / Hôpital pour le troisième scenario

On voit dans le troisième scenario lorsque l'un des chemins critique est coupé, le temps d'attente augmente considérablement, il devient presque inacceptable. Face à cette situation, nous suggérons de faire une évacuation aérienne en utilisant les hélicoptères.

## 5.2. Temps d'exécution du programme :

|                       | Nombre de ville | Nombre d'arc | Temps d'exécution/sec   |
|-----------------------|-----------------|--------------|-------------------------|
| <b>Réseau : petit</b> | 20              | 53           | 0.5574                  |
|                       | 30              | 154          | 1.8177                  |
|                       | 40              | 273          | 3.9538                  |
| <b>Réseau : moyen</b> | 50              | 450          | 8.5246                  |
|                       | 70              | 978          | 30.7519                 |
|                       | 80              | 1073         | 37.2587                 |
| <b>Réseau : grand</b> | 100             | 1718         | 113.496 (= 1.8916 min)  |
|                       | 150             | 4110         | 748.848 (= 12.4808 min) |
|                       | 200             | 7550         | 3790.89 (= 1.0530 h)    |

Tableau 10 : Temps d'exécution pour différentes tailles du réseau routier.

La table ci-dessus montre l'efficacité de notre modèle en terme de temps d'exécution dans les petits réseaux et ceux de taille moyenne, tandis que pour des réseaux à l'échelle le modèle nécessite une augmentation des performances que ce soit par l'enlèvement des performances de l'environnement au du modèle lui-même on le décompose par exemple.

## 5.3. Simulation du temps d'attente à l'hôpital :

Basant sur la relation entre le taux d'arrivée des patients et le temps d'attente, nous faisons la simulation de temps d'attente pour les différent cas d'équilibre, nous essayons aussi de déterminer le temps d'attente transitoire correspond aux taux d'arrivé dynamique.

A titre d'exemple, pour un petit hôpital, de 200 lits, 10 salles d'opération avec 1.2 comme indice d'efficacité, les résultats sont présentés dans la Fig. 4.10. L'expérimentation permet d'identifier les valeurs de  $\alpha$  et  $\beta$  qui sont -1.6 et 0.009, respectivement, ainsi nous avons :  $\text{Log}(\text{WT}_c) = -1.6 + 0.009 * \lambda_c$ .

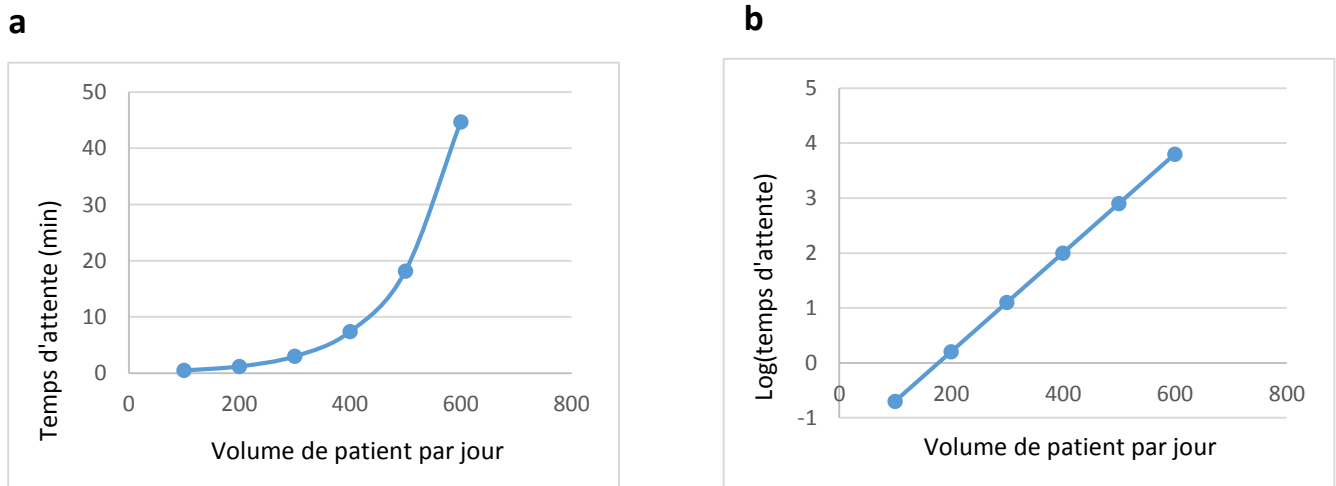


Fig. 4.10 : Relation entre le temps d'attente du patient à l'état d'équilibre et le volume quotidien du patient

Le comportement typique du temps d'attente transitoire entre l'état stationnaire avant le tremblement de terre et l'état stationnaire après le tremblement de terre est montré à la Fig. 4.11 , pour l'hôpital décrit précédemment.

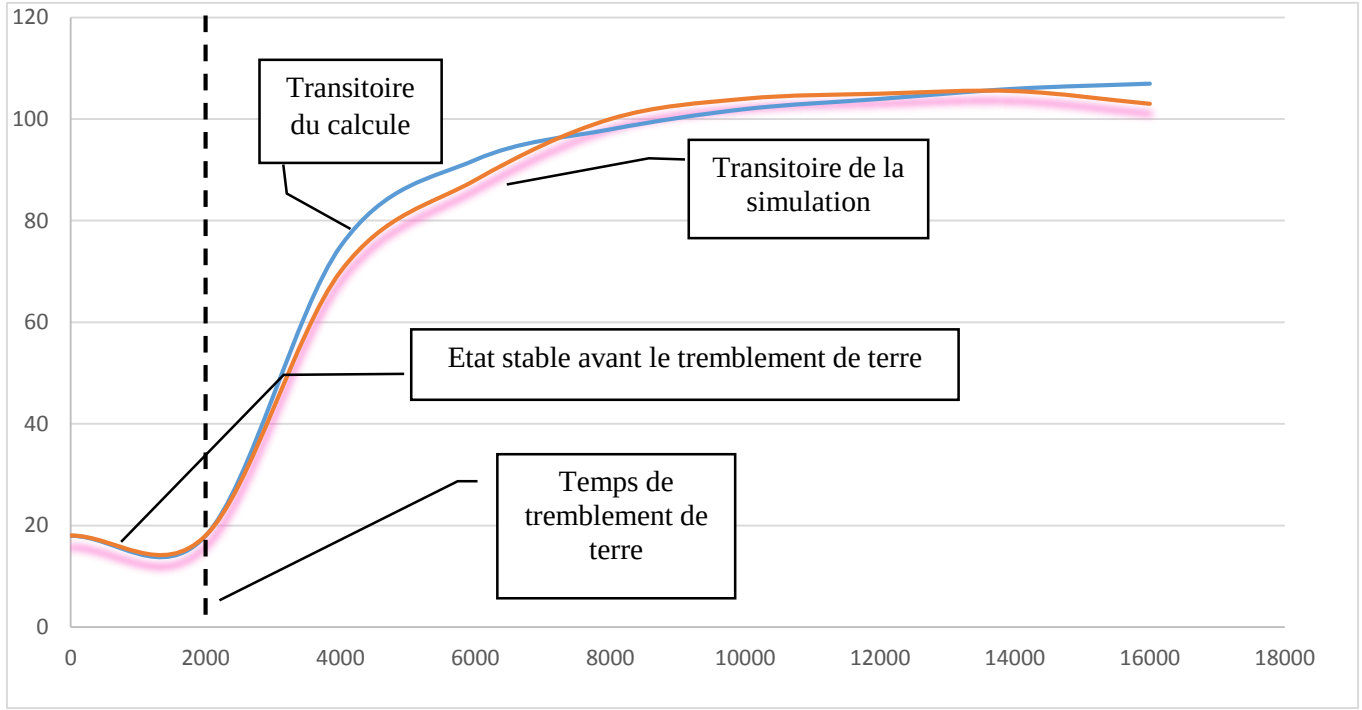


Fig. 4.11 : Comportement transitoire du temps d'attente (tremblement de terre frappe au temps 2000).

## 6) Conclusion :

Les simulations effectuées montrent l'efficacité de notre modèle en terme de processus de transport aussi dans l'équilibrage des charges sur les différents hôpitaux. En plus, notre modèle constitue un outil d'aide à la décision dans l'affectation et le transport des patients dans les conditions des catastrophes.

# Conclusion générale

# Conclusion générale

## 1) Bilan :

Dans le cadre de réformes actuelles du système d'évacuation dans les catastrophes et du système de santé sur les filières d'urgences, les professionnels de santé doivent s'engager dans de nouvelles actions destinées à la modernisation de l'offre de soin. Les exigences de maîtriser les dépenses tout en garantissant une meilleure qualité des soins poussent à adopter de nouvelles approches permettant de résoudre les problématiques liés à l'organisation du processus de prise en charge des patients et au dimensionnement des moyens humains et matériels.

Dans notre travail, on vise à minimiser les dégâts humains d'une catastrophe, en introduisant un modèle, basé sur l'ITS (Intelligent transport system), qui nous permettons d'optimiser l'affectation des victimes aux différents hôpitaux de zone de catastrophe ainsi que la minimisation de temps de transports de chaque patient, de site de catastrophe à l'hôpital désigné.

Nous avons donc commencé dans le chapitre 1 par faire l'étude des différentes solutions existantes, en partant de l'importance de la réduction des risques de catastrophes en passant à l'organisation des soins, puis nous avons poursuivi par l'étude des systèmes hospitaliers en cas de catastrophes en se concentrant sur les modèles d'estimation du temps d'attente à l'hôpital. Ensuite, dans le chapitre 2, nous avons vu un état de l'art sur les différents modèles de transport dynamique et l'intérêt des systèmes de transport intelligent en décrivant les domaines et les applications de ces systèmes et en rappelant une enquête de la littérature sur les différents modèles existantes. Dans le chapitre 3 nous avons montré le modèle de simulation de temps d'attente au niveau d'hôpital aussi que le modèle de prédiction de la capacité et en terminant le chapitre avec le modèle Markovian pour le processus de transport dans les catastrophes. Enfin, dans le chapitre 4, nous avons présenté la partie d'implémentation de notre modèle ainsi que nous évaluons les résultats obtenus par la simulation de différents scénarios.

## 2. Perspective :

En termes de perspectives, ce travail s'ouvre sur des problématiques qui visent à traiter des catastrophes avec un nombre de victimes plus important, et à intégrer d'autres contraintes liées aux différents composants de la chaîne hospitalière en situation d'exception (services hospitaliers, disponibilité des lits, etc.). Ainsi que pour le domaine de transportation, il existe plusieurs extensions prometteuses de cette recherche. L'anticipation et la réponse au comportement du reste du trafic incorporé dans un cadre de routage dynamique sont recommandées pour de nouvelles recherches.

# Références

Bibliographiques



- [1] UC Davis Magazine, Summer 2006: Epidemics on the Horizon (consulté le 29 août 2014)
- [2] Bulletin de l'Organisation mondiale de la santé, vol. 81 no. 10 Geneva October 2003 ISSN 0042-9686
- [3] Issam NOUAOURI. (2010). Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques. Thèse de doctorat : Génie Informatique et Automatique. Université d'Artois. P 4.
- [4] Union interparlementaire. 2010. Réduction des risques de catastrophes : un instrument pour la réalisation des objectifs du Millénaire pour le développement. Publié par l'IPU avec l'UNISDR. Genève, Suisse, septembre 2010. P 3
- [5] Union interparlementaire. 2010. Réduction des risques de catastrophes : un instrument pour la réalisation des objectifs du Millénaire pour le développement. Publié par l'IPU avec l'UNISDR. Genève, Suisse, septembre 2010. P 8
- [6] Issam NOUAOURI. (2010). Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques. Thèse de doctorat : Génie Informatique et Automatique. Université d'Artois. P 5.
- [7] Issam NOUAOURI. (2010). Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques. Thèse de doctorat : Génie Informatique et Automatique. Université d'Artois. P 8.
- [8] Issam NOUAOURI. (2010). Gestion hospitalière en situation d'exception : optimisation des ressources critiques. Thèse de doctorat : Génie Informatique et Automatique. Université d'Artois. P 9.
- [9] Henderson AK, Lillibridge SR, Salinas C, Graves RW, Roth PB, Noji EK. Disaster medical assistance terms: Providing health care to a community struck by hurricane Iniki. *An Emerg Med* 1994; 23:726–30.
- [10] Kaji AH, Koenig KL, Lewis RJ. Current hospital preparedness. *J Am Med Assoc* 2007;298:2188–90
- [11] FEMA. FEMA-366, HAZUS99 estimated annualized earthquake loss for the U.S.  
< [http://www.fema.gov/hazus/dl\\_eqpub.shtm](http://www.fema.gov/hazus/dl_eqpub.shtm); 2001. >.
- [12] Kanter RK, Moran JR. Pediatric hospital and intensive care unit capacity in regional disasters: expanding capacity by altering standards of care. *Pediatrics* 2006;119:94–100.
- [13] Jun JB, Jacobson SH, Swisher JR. Application of discrete-event simulation in health care clinics: a survey. *J Oper Res Soc* 1999;50:109–23.
- [14] Swisher JR, Jacobson SH, Jun JB, Balci O. Modeling and analyzing a physician clinic environment using discrete-event (visual) simulation. *Comput Oper Res* 2001;28:105–25.
- [15] Weng ML, Houshmand AA. Healthcare simulation: a case study at a local clinic. In: *Winter Simulation Conference Proceedings* 1999, Phoenix, AZ.; 1999 2, p. 1577–84.
- [16] Harper PR. A Framework for operational modelling of hospital resources. *Health Care Manag Sci* 2002; 5:165–73.

- [17] Cote MJ. Patient flow and resource utilization in an outpatient clinic. *Socio Econ Plan Sci* 1999;33:231–45
- [18] Lowery JC. Multi-hospital validation of critical care simulation model. In: *Proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference*, Los Angeles, CA, USA; 1993. p. 1207–15.
- [19] Jun JB, Jacobson SH, Swisher JR. Application of discrete-event simulation in health care clinics: a survey. *J Oper Res Soc* 1999; 50:109–23.
- [20] Bailey JC. Long term bed need projections. Indianapolis: Indiana State Department of Health Information Services Commission, Health Planning Division; 1994.
- [21] Trye P, Murray N, Wolstencroft I, Stewart A. Health service capacity modeling. *Aust Health Rev* 2002;25:159–68.
- [22] Mouza AM. Estimation of the total number of hospital admissions and bed requirements for 2011: the case for Greece. *Health Serv Manage Res* 2002;15:186–92.
- [23] de Boer J, Brismar B, Eldar R, Rutherford WH. The medical severity index of disasters. *J Emerg Med* 1989;7:269–73.
- [24] Kanter RK, Moran JR. Hospital emergency surge capacity: an empiric New York statewide study. *Ann Emerg Med* 2007;50:314–9.
- [25] Ballard SM, Kuhl ME. The use of simulation to determine maximum capacity in the surgical suite operating room. *Winter simulation Conference*, Monterey, CA.; 2006. p. 433–8.
- [26] Kim, I. Horowitz, K. K. Young et T. A. Buckley: Flexible bed allocation and performance in the intensive care unit. *Journal of Operations Management*, 18:427–443, 2000.
- [27] Miller, D. M. Ferrin et M. G. Messer : Fixing the emergency department : a transformation journey with edsim. Dans *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, p. 1988–1993, 2004.
- [28] Wiinamaki et R. Dronzek : Using simulation in the architectural concept phase of an emergency department design. Dans *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, p. 1912–1916, 2003.
- [29] El-Darzi, C. Vasilakis, T. Chausalet et P.H. Millard : A simulation modelling approach to evaluating length of stay, occupancy, emptiness and bed blocking in a hospital geriatric department. *Health Care Management Science*, 1:143–149, 1998.
- [30] Paul JA, Hariharan G. Hospital capacity planning for efficient disaster mitigation during a bioterrorist attack. In *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, Washington, D.C. USA; 2007. p. 1139–47.
- [31] Jomon Alias Paul and Govind Hariharan. Hospital capacity planning for efficient disaster mitigation during a bioterrorist attack. In *Proceedings of the 39<sup>th</sup> conference on Winter Simulation: 40 years! The best is yet to come*, page 1139-1147. IEEE Press, 2007.

- [32] Jomon Alias Paul, Santhosh K George, Pengfei Yi, and Li Lin. Transient modeling in simulation of hospital operation for emergency response. *Pre-Hospital and disaster medicine*, 21(04):233-236. 2006.
- [33] Pengfei Yi, Santhosh K George, Jomon Aliyas Paul, and Li Lin. Hospital capacity planning for disaster emergency management. *Socio-Economic Planning Sciences*. Department of Industrial and Systems Engineering, University at Buffalo, State University of New York. 44(3):151-160, 2010.
- [34] Nicolas Curien. 2000. « Economie des réseaux », Editions La Découverte
- [35] Kashif Naseer Qureshi, Abdul Hanan Abdullah .(2013). A Survey on Intelligent Transportation Systems. Department of Communication, Faculty of Computing, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, 81310, Johor Darul Takzim, Malaysia. P 629.
- [36] Système de transport intelligent. Rapport sur les actions nationales envisagées pour la période 2012-2017 Article 17-2 de la directive 2010/40/U. Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer – DGITM . 27 août 2012
- [37] Kashif Naseer Qureshi and Abdul Hanan Abdullah. A Survey on Intelligent Transportation Systems. Department of Communication, Faculty of Computing. Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, 81310, Johor Darul Takzim, Malaysia.
- [38] Steenbruggen, J., *et al.*, Data from telecommunication networks for incident management: An exploratory review on transport safety and security. *Transport Policy*.
- [39] Peng, Y., *et al.*, 2011. An incident information management framework based on data integration, data mining and multi-criteria decision making. *Decision Support Systems*, 51(2): 316-327.
- [40] Cohen S. 2005. Systèmes et méthodes de détection automatique des incidents routiers. Paris.
- [41] Leipzig. Transport and energy: the challenge of climate change - research findings. 2008; Available from: <http://www.internationaltransportforum.org/>.
- [42] Zografos, K.G., K.N. Androussopoulos and 39. Chen, S., *et al.*, 2010. Mobile mapping technology of V. Spiliadis, 2009. Design and Assessment of an Online Passenger Information System for Integrated Multimodal Trip Planning. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 10(2): 311-323.
- [43] Pereira, J.V., 2009. The new supply chain's frontier: Information management. *International Journal of Information Management*, 29(5): 372-379.
- [44] Asemi, A., A. Safari and A.A. Zavareh, 2011. The role of management information system (MIS) and Decision support system (DSS) for manager's decision making process. *International Journal of Business and Management*, 6(7): 164
- [45] Kashif Naseer Qureshi, Abdul Hanan Abdullah .(2013). A Survey on Intelligent Transportation Systems. Department of Communication, Faculty of Computing, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, 81310, Johor Darul Takzim, Malaysia. P 635.
- [46] Bu, L., *et al.* 2011. Study on the Design of Transshipment MIS at Railway Container Center Station. In 11th International Conference of Chinese Transportation Professionals (ICCTP)

- [47] Messelodi, S., *et al.*, 2009. Intelligent extended floating car data collection. *Expert Systems with Applications*, 36(3, Part 1): 4213-4227.
- [48] Davey, E., 2012. Rail traffic management systems (TMS). in *Railway Signalling and Control Systems (RSCS 2012)*, IET Professional Development Course on.
- [49] Qin, X. and A.M. Khan, 2012. Control strategies of traffic signal timing transition for emergency vehicle preemption. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 25(0): 1-17.
- [50] Sigal CE, Pritsker AAB, Solberg JJ. The stochastic shortest route problem. *Operations Research* 1980;28:1122–9.
- [51] Frank H. Shortest paths in probabilistic graphs. *Journal of Operational Research* 1969;17:583–99.
- [52] Loui RP. Optimal paths in graphs with stochastic or multidimensional weights. *Communications of the ACM* 1983;26(9):670–6.
- [53] Eiger AP, Mirchandani P, Soroush H. Path preferences and optimal paths in probabilistic networks. *Transportation Science* 1985;19:75–84.
- [54] Dijkstra E. A note on two problems in connection with graphs. *Numerical Mathematics* 1959;1:269–71.
- [55] Hall R. The fastest path through a network with random time-dependent travel time. *Transportation Science* 1986; 20(3):182–8.
- [56] Bertsekas DP, Tsitsiklis J. An analysis of stochastic shortest path problems. *Mathematics of Operations Research* 1991; 16:580–95.
- [57] Fu L, Rilett LR. Expected shortest paths in dynamic and stochastic traffic networks. *Transportation Research Part B* 1998; 32B:499–516.
- [58] Bander JL, White III CC. A heuristic search approach for a nonstationary shortest path problem with terminal costs. *Transportation Science* 2002; 36: 218–30.
- [59] Fu L. An adaptive routing algorithm for in vehicle route guidance systems with real-time information. *Transportation Research Part B* 2001; 35B(8): 749–65.
- [60] Waller ST, Ziliaskopoulos AK. On the online shortest path problem with limited arc cost dependencies. *Networks* 2002; 40(4):216–27.
- [61] Gao S, Chabini I. Optimal routing policy problems in stochastic timedependent networks. *Transportation Research Part B* 2006; 40B:93–122.
- [62] Miller-Hooks ED, Mahmassani HS. Least possible time paths in stochastic, time-varying networks. *Computers & Operations Research* 1998; 12:1107–25.
- [63] Miller-Hooks ED, Mahmassani HS. Least expected time paths in stochastic, time-varying transportation networks. *Transportation Science* 2000; 34: 198–215.

- [64] Psaraftis HN, Tsitsiklis JN. Dynamic shortest paths in acyclic networks with Markovian arc costs. *Operations Research* 1993;41:91–101.
- [65] Polychronopoulos GH, Tsitsiklis JN. Stochastic shortest path problems with recourse. *Networks* 1996;27(2):133–43.
- [66] Azaron A, Kianfar F. Dynamic shortest path in stochastic dynamic networks: ship routing problem. *European Journal of Operational Research* 2003; 144: 138–56.
- [67] Kim S, Lewis ME, White III CC. Optimal vehicle routing with real-time traffic information. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 2005; 6(2):178–88.
- [68] Kim S, Lewis ME, White III CC. State space reduction for non-stationary stochastic shortest path problems with real-time traffic congestion information. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 2005; 6(3): 273–84.
- [69] Wirasinghe SC. Determination of traffic delays from shock-wave analysis. *Transportation Research* 1978; 12:343–8.
- [70] Al-Deek H, Garib A, Radwan AE. New method for estimating freeway incident congestion. *Transportation Research Record* 1995; 1494:30–9.
- [71] Mongeot H, Lesort JB. Analytical expressions of incident-induced flow dynamics perturbations. *Transportation Research Record* 2000;1710:58.
- [72] Morales J. Analytical procedures for estimating freeway traffic congestion. *Public Roads* 1986;50(2):55–61
- [73] Fu L, Rilett LR. Real-time estimation of incident delay in dynamic and stochastic networks. *Transportation Research Record* 1997;1603:99–105.
- [74] Cohen H, Southworth F. On the measurement and valuation of travel time variability due to incidents on freeways. *Journal of Transportation and Statistics* 1999;2(2):123–31.
- [75] HCM. Highway Capacity Manual. Washington, DC: Transportation Research Board; 2000.
- [76] Li J, Lan C-J, Gu X. Estimation of incident delay and its uncertainty on freeway networks. *Transportation Research Record* 2006; 1959:37–45.
- [77] Baykal-Gursoy M, Xiao W, Ozbay K. Modeling traffic flow interrupted by incidents. *European Journal of Operational Research* 2009; 195:127–38.
- [78] Lindley JA. Urban freeway congestion: quantification of the problem and effectiveness of potential solutions. *Institute of Transportation Engineers Journal* 1987; 57(1):27–32
- [79] Garib A, Radwan AE, Al-Deek H. Estimating magnitude and duration of incident delays. *ASCE Journal of Transportation Engineering* 1997; 123(6): 459–66
- [80] Sullivan EC. New model for predicting incidents and incident delay. *ASCE Journal of Transportation Engineering* 1997; 123(5):267–75.

- [81] Gaver DP. Highway delays resulting from flow stopping conditions. *Journal of Applied Probability* 1969; 6:137–53.
- [82] Golob TF, Recker WW, Leonard JD. An analysis of the severity and incident duration of truck-involved freeway accidents. *Accident Analysis & Prevention* 1987; 19(4):375–95.
- [83] Giuliano G. Incident characteristics, frequency, and duration on a high volume urban freeway. *Transportation Research Part A* 1989; 23A (5):387–96.
- [84] Khattak AJ, Schofer JL, Wang M-HA. Simple time sequential procedure for predicting freeway incident duration. *IVHS Journal* 1995;2(2):113–38.
- [85] Noland RB, Polak JW. Travel time variability: a review of theoretical and empirical issues. *Transport Reviews* 2002; 22(1):39–54.
- [86] Hensher D, Mannering F. Hazard-based duration models and their application to transport analysis. *Transport Reviews* 1994;14:63–82.
- [87] Nam D, Mannering F. An exploratory hazard-based analysis of highway incident duration. *Transportation Research Part A* 2000; 34A (2):85–102.
- [88] Ferris MC, Ruszczyński A. Robust path choice in networks with failures. *Networks* 2000; 35:181–94.
- [89] Thomas BW, White III CC. The dynamic shortest path problem with anticipation. *European Journal of Operational Research* 2007; 176:836–54.
- [90] Fu, L. Real-Time Vehicle Routing and Scheduling in Dynamic and Stochastic Traffic Networks. Ph. D. dissertation. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton 1996.
- [91] Chow, W. M. A Study of Traffic Performance Models under an Incident Condition. Highway Research Record 567, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1976, pp. 31–36
- [92] Special Report 209: Highway Capacity Manual. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1994
- [93] Wirasinghe, C. S. Determination of Traffic Delays from Shock Wave Analysis. *Transportation Research*, Vol. 12, 1978.
- [94] Morales, M. J. Analytical Procedures for Estimating Freeway Traffic Congestion. *Public Road*, Vol. 50, No. 2, Sept. 1986
- [95] Al-Deek, H., A. Garib, and A. E. Radwan. New Method for Estimating Freeway Incident Congestion. In *Transportation Research Record* 1474, TRB, National Research Council, Washington D.C., 1995, pp. 30–39

- [96] Messer, C. J., C. L. Dudek, and J. D. Friebele. Method for Predicting Travel Time and Other Operational Measures in Real-Time During Freeway Incident Conditions. In Highway Research Record 461, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1973, pp. 1–11.
- [97] Hoffman, C., and J. Janko. Travel Time as a Basis of the LISB Guidance Strategy. Presented at IEEE Road Traffic Control Conference, London, 1990.
- [98] Koutsopoulos, H. N., and H. Xu. An Information Discounting Routing Strategy for Advanced Traveler Information Systems. Transportation Research C, No. 3, 1991.
- [99] Koutsopoulos, H. N., and A. Yablonski. Design Parameters of Advanced Information System: the Case of Incident Congestion and Small Market Penetration. Proc., 2nd Vehicle Navigation and Information System Conference, Dearborn, Mich., 1991
- [100] Al-Deek, H., and A. Kanafani. Incident Management with Advanced Traveler Information System. Proc., 2nd Vehicle Navigation and Information System Conference, Dearborn, Mich., 1991.
- [101] Yasuko Kuwata and Shiro Takada. Effective emergency transportation for saving human lives. Nature hazards, 33(1):23-46, 2004
- [102] Arun jotshi, Quiang Gong, and Rajan Batta. Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion. Socioeconomic Planning Science, 43(1): 1-24. 2009
- [103] Hyeongsuk Nat and Amarnath Banerjee. A dynamic network disaster evacuation model to transport multi-priority patients. In HE Annual Conference. Procceding, page 1. Institute of Industrial Engineers-Publisher, 2012
- [104] Mehdi Najafi, Kourosh Eshghi, and Sander de Leeuw. A dynamic dispatching and routing model to plan/re-plan logistics activities in response to an earthquake. OR spectrum. 36(2):323-356, 2014.
- [105] F Sibel Salman and Sezer Gül. Deployment of held hospitals in mass casualty incidents. Computers & Industrial Engineering , 74:37-51, 2014.
- [106] Yamada T (1996) A network approach to a city emergency evacuation planning. Int J Syst Sci 27:931–936.
- [107] Cova TJ, Johnson PJ (2003) A network flow model for lane-based evacuation routing. Transport Res 37:579–604
- [108] Wolfram S (1986) Theory and applications of cellular automata: including selected papers 1983–1986. World Scientific, NJ.
- [109] Farahmand K (1997) Application of simulation modeling to emergency population evacuation. In: Proceedings of the 1997 winter simulation conference. pp 1181–1188. Washington, DC
- [110] Doheny J, Fraser J (1996) MOBEDIC—a decision modeling tool for emergency situations. Expert Syst Appl 10:17–27.

- [111] Heydecker BG, Addison JD (1997) Stochastic and deterministic formulations of dynamic traffic assignment. In: Proceedings of the 25th European Transport Forum. pp 107–120. London, England.
- [112] Lu Q, George B, Shekhar S (2005) Capacity constrained routing algorithms for evacuation planning: a summary of results. University of Minnesota, pp 291–307
- [113] Linda V Green. How many hospital beds? INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing, 39(4):400-412, 2002
- [114] Linda V Green. Using queueing theory to alleviate emergency department overcrowding. Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science, 2010.
- [115] Matthew S Hagen, Jeffrey K Jopling, Timothy G Buchman, and Eva K Lee. Priority queueing models for hospital intensive care units and impacts to severe case patients. In AMIA Annual Symposium Proceedings, volume 2013, page 841. American Medical Informatics Association, 2013.
- [116] Sheldon M Ross. Applied probability models with optimization applications. Courier Corporation, 2013.
- [117] Introduction à MATLAB.  
<[https://elearning.univbejaia.dz/pluginfile.php/155818/mod\\_folder/content/0/Introduction\\_Matlab.pdf?forcedownload=1](https://elearning.univbejaia.dz/pluginfile.php/155818/mod_folder/content/0/Introduction_Matlab.pdf?forcedownload=1)>
- [118] MathWorks .s.d. En ligne <<https://fr.mathworks.com/products/matlab.html>>
- [119] Federico May .s.d. En ligne <<http://www.sedattekin.com/avantages-de-matlab/>>
- [120] <<https://cours-informatique-gratuit.fr/dictionnaire/office-excel/>>
- [121] Dictionnaire le parisien.<http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Temps%20r%C3%A9el/fr-f/>