

**Faculté des Sciences Exactes et de l'Informatique**  
**Département de Mathématiques et d'Informatique**  
**Filière : Informatique**

Mémoire de Fin d'Etudes  
Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique  
Option : **Systemes d'Information Géographique**

Thème :  
**L'intégration d'un système complexe et dynamique dans  
un système d'aide à la décision  
spatiotemporel**

**Etudiant(e)s :**

- BOUHADEF Nacer
- BOUNEHAR Messaoud

**Encadrant(e) :**

- Dr. YOUNSI Fatima-Zohra

Année Universitaire 2016/2017

## Résumé

Le phénomène de propagation d'épidémie préoccupe de plus en plus les autorités et les responsables de la santé publique. Plusieurs outils sont mis à la disposition des équipes médicales pour évaluer les stratégies de lutte et de contrôle de ce phénomène émergent.

Les modèles de simulation d'épidémie sont généralement conçus pour prédire les tendances temporelles et géographiques de la propagation de la maladie. Cependant, l'utilisation exclusive des modèles de simulation dans la conception ne permet pas d'intégrer les préférences des décideurs (responsables de la santé publique) dans les processus décisionnels.

Dans ce contexte, nous nous intéressons, par le présent travail, du suivi et de prédiction du phénomène de propagation de l'épidémie dans une population hôte par la mise en place d'un système d'aide à la décision spatiotemporel.

L'objectif de ce système est double : il consiste d'une part, à comprendre le mécanisme de propagation de la maladie de tuberculose dans une population humaine par la modélisation et la simulation du phénomène de la propagation d'épidémie en adoptant une approche à base d'équations différentielles et d'autre part, à fournir aux autorités de santé des outils pour évaluer les différentes stratégies de lutte contre ce phénomène émergent.

**Mots-clés** : le Système d'Aide à la Décision Multicritères et de Simulation d'épidémies (SADMS), Le modèle Susceptible-Exposed-Infectious-Quarantine- Recovered-Susceptible avec Vaccination (SEIQRS-V), Modélisation mathématique d'épidémie, Méthodes d'Analyse MultiCritères (AMC), La méthode d'Analyse Hiérarchique Procédés (AHP) multicritères.

# SOMMAIRE

---

## RESUME

INTRODUCTION GENERALE.....01

<b>CHAPITRE 01 :</b>	<b>La modélisation des épidémies</b>
----------------------	--------------------------------------

1. Introduction.....	02
2. L'objectif de la modélisation .....	02
3. Un peu d'histoire.....	02
4. Les modèles mathématiques d'épidémie.....	03
1.1.Qu'est ce qu'un modèle ?.....	03
1.2.Notation.....	04
1.3. Quelques modèles mathématiques d'épidémie.....	04
4.3.1. Le modèle simple SI (Susceptibles,Infectives) de Hamer.....	04
4.3.2.Le modèle SIS (Susceptibles,Infectives, Susceptibles).....	05
4.3.3. Le modèle SIR (Susceptibles,Infectives,Removed).....	06
1.3.4. Le modèle SEIR (Susceptibles, exposes, Infectives, Removed).....	06
5. L'interprétation des modèles mathématiques d'épidémie.....	07
5.1. Modèle SI (Susceptibles, Infectives).....	07
5.2. Modèle SIR (Susceptibles, Infectives, Removed).....	07
5.3. Modèle SEIR (Susceptibles, exposes, Infectives, Removed).....	08
6. La modélisation des épidémies: Travaux connexes.....	09
1.1. Les systèmes de surveillance d'épidémie.....	09
6.2.1. EpiSIM : (The Epidemiological Simulation).....	09
6.2.2. EpiSims :(The Epidemiological Simulation System) .....	10
7. Conclusion .....	10

**CHAPITRE 02 :****Les méthodes multicritères**

2.L'Analyse MultiCritère d'aide à la décision (AMC).....	11
2.1. Les différentes problématiques de l'approche multicritère.....	11
2.2. Les avantages de l'analyse multicritères.....	12
3. Modélisation multicritères.....	12
3.1. Modélisation des préférences.....	12
4.LES METHODES MULTICRITERE D'AIDE A LA DECISION .....	14
4.1. Méthode Electre.....	14
4.2. Méthodes PROMETHEE.....	15
4.2.1. Le principe de la méthode PROMETHEE .....	15
4.2.2. Les trois phases de la méthode PROMETHEE.....	16
4.2.3. Avantages et limites.....	16
4.3. Processus Hiérarchique Analytique .....	17
4.3.1. Méthodologie à suivre pour réaliser le AHP.....	17
4.3.2. Avantage de la méthode AHP .....	18
4.3.3. Fonctionnement de l'ahp.....	18
5. Quelque travaux utilisant les méthodes multicritères en épidémiologie.....	19
6. Conclusion.....	19

**CHAPITRE 03:****Conception et Modélisation**

1. Introduction.....	20
2. Objectives visés.....	20
3. Le cadre générale de la démarche de modélisation.....	20
4. Description du système proposé: SADMS.....	21
4.1.Paramètre du modèle.....	22
4.2. Système SEIQRS-V.....	22
4.3. Le système d'aide à la décision multicritères.....	24
4.3.1.modélisation des alternatives(les plans d'intervention) .....	24

4.3.2.Les objectifs de la prise de décision.....	24
4.4. Modèle AHP pour les Multi-Critères (Évaluation des interventions).....	25
4.4.1.Application de la méthode AHP pour évaluer le plan d'intervention.....	25
4.4.2.Le système de visualisation.....	26
5. Démarche adoptée par le système SADMS.....	26
6. Conclusion.....	27

## **CHAPITRE 04:                    Implémentation et mise en œuvre**

1. Introduction.....	28
2. Environnements de développement .....	28
2.1.Environment Matériel .....	28
2.2.Environment Logiciel .....	28
3. Matlab 7.8.0(R2009a).....	28
3.1.Choix de MATLAB .....	29
4. Présentation du système SADMS.....	29
4.1.L'interface d'accueil.....	29
4.2.Les Composants de l'interface principale.....	30
5. Conclusion.....	36

### **Liste de figures**

Figures 1.1. Le modèle SI .....	5
Figure 1.2. Le modèle SIR.....	6
Figure 1.3. Le modèle SEIR.....	6
Figures 1.4. L'évolution des variables d'états dans le temps pendant une épidémie.....	8
Figure 3.1. Schéma général de la démarche classique de modélisation.....	21
Figure 3.2. Système SADMS proposé.....	21
Figure 3.3.Schéma du modèle SEIQRS-V.....	23
Figure 3.4. Décomposition du problème en arbre hiérarchique.....	26

Figure 3.5. La démarche proposée.....	27
Figure 4.1. Environnement de Matlab 7.8.0(R2009a).....	28
Figure 4.2. Fenêtre d'accueil de SADMS.....	30
Figure 4.3. L'interface principale de SADMS.....	30
Figure 4.4. Entrer des valeurs de paramètres.....	31
Figure 4.5. Boite de dialogue affichant l'erreur.....	32
Figure 4.6. Message d'erreur : Manque de paramètres.....	33
Figure 4.7. La simulation du système SEIQRS-V .....	34
Figure 4.8. La décision finale par l'utilisation d'AHP.....	35
Figure 4.9. Quitter de l'application.....	36

<b>Liste des tables</b>
-------------------------

Table 2.1. Les différentes problématiques de l'approche multicritère.....	12
Table 2. 2. Définition des différentes situations de préférence.....	13
Table 2. 3. Les méthodes de surclassement ELECTRE.....	15
Table 2.4. Avantages et limites des méthodes PROMETHEE.....	17

:

# **Introduction générale**

## **Contexte et problématique**

Les méthodes de modélisation et de simulation sont des méthodes de description des phénomènes. Elles sont applicables à de nombreux domaines, tels que: la gestion du transport, la propagation d'un feu, le contrôle de la circulation aérienne, l'épidémiologie, etc.

Dans le contexte d'épidémiologie, plusieurs modèles mathématiques existent dans la littérature permettant de modéliser les différents statuts de la maladie durant l'infection, en divisant la population hôte en plusieurs classes représentant les différents états de santé durant une maladie, tels que : SI (Susceptible, Infected), SIR (Susceptible, Infected, Removed), SEIR (Susceptible, Exposed, Infected, Removed), etc.

Ces modèles sont généralement conçus pour prédire les tendances temporelles et/ou géographiques de la propagation de la maladie. Cependant, l'utilisation exclusive des modèles de simulation dans la conception ne permet pas d'intégrer les préférences des décideurs (responsables de la santé publique) dans les processus décisionnels. Cela mène à une nécessité d'intégration des méthodes d'aide à la décision.

## **Contribution**

L'objectif de notre travail, consiste à élaborer un système d'aide à la décision spatiotemporel en santé publique. Son objectif est d'intégrer les paramètres épidémiologiques clés avec un modèle dynamique du système d'épidémie. Un modèle de processus de hiérarchie analytique est ensuite élaboré et intégré au modèle de simulation pour aider les décideurs de la santé publique à prioriser leurs objectifs de réponse et à évaluer les stratégies de lutte et de control face à une crise de santé.

Le système proposé nommé SADMS est composé par trois principaux composants, à savoir :

1. Le système SEIQRS-V permettant de simuler le processus de propagation de la tuberculose dans une population humaine. Il prend en compte plusieurs paramètres liés à l'épidémiologie de la tuberculose ;
2. Le système décisionnel multicritères basé sur la méthode AHP permettant de fournir au décideur la stratégie la plus adéquate contre la tuberculose selon le cas étudié ;
3. Le système de visualisation permet de présenter des courbes d'évolution d'épidémie

## **Organisation du mémoire**

Hormis le chapitre introductif et le chapitre consacré à la conclusion et perspectives, ce mémoire comporte quatre chapitres:

**Chapitre 1:** est dédié à un état de l'art qui énonce des rappels sur la modélisation des épidémies. Nous présentons quelques concepts de base, puis nous exposons les modèles les plus utilisés dans la modélisation des épidémies.

**Chapitre 2:** est consacré à l'étude des méthodes d'Analyse Multicritère d'aide à la décision (AMC) qui constitue une branche d'étude majeure de la recherche opérationnelle. Nous discuterons les principes d'une méthode AMC et nous exposons les méthodes les plus connues.

**Chapitre 3 :** dans ce chapitre, nous présenterons notre proposition, SADMS, pour la simulation et la prise de décision. Nous allons présenter son architecture ainsi que nous détaillons ses différentes composantes.

**Chapitre 4:** est consacré à la mise en œuvre de SADMS à travers des illustrations.

## 1. Introduction

La modélisation est un outil largement utilisé pour faciliter l'évaluation des activités de gestion des maladies.

Dans le contexte d'épidémiologie, l'intérêt des modèles mathématique réside dans leur capacité à étudier des scénarios hypothétiques et à fournir aux décideurs des éléments permettant d'anticiper les conséquences de l'incursion d'une maladie et l'impact des stratégies d'intervention.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les notions de base sur ce concept ainsi que les modèles les plus connus dans la littérature.

## 2. L'objectif de la modélisation

L'étude d'une épidémie porte essentiellement sur l'évolution des relations entre le groupe de malades infectieux et celui des individus pouvant être contaminés dans une population donnée. Le but des modélisations en épidémiologie est de prédire l'évolution de la maladie étudiée. Ce qui permet ensuite d'agir en proposant des thérapies adéquates ; par exemple un traitement de masse curatif (administration médicamenteuse, mesures hygiéno-diététique...) et/ou préventif (vaccination dans certains cas)[Quesnel, 2006] .

L'objectif de la modélisation réside dans les points suivants[Quesnel, 2006] :

- Comparer l'effet de plusieurs méthodes de contrôle. Ceci peut être fait de manière théorique ou par des simulations pour différentes valeurs des paramètres et différentes données ;
- Comprendre les évolutions constatées;
- Comparer des maladies;
- Choisir des stratégies optimales de distribution de vaccin pour éradiquer certaines maladies.
- Prédire l'étendue et la taille des épidémies.
- S'obliger à clarifier et à préciser les hypothèses.
- Identifier des données à rechercher ou à enregistrer.

## 3. Un peu d'histoire

Le premier modèle a été développé par Bernoulli en 1760 pour la variole. Les fondements de l'approche de l'épidémiologie basée sur les modèles compartimentaux ont été établis par des médecins de santé publique comme Ronald Ross, W.H.Hamer, et W.O.Kermack..

# CHAPITRE 01: La modélisation des épidémies

---

Ronald Ross peut être considéré comme le père fondateur de la modélisation actuelle. On lui a attribué le prix Nobel en 1902 pour sa preuve que le paludisme était transmis par les anophèles. C'est lui en 1911 qui a publié le premier modèle dynamique de la transmission du paludisme. Il a prouvé qu'en dessous d'un certain seuil de population des moustiques, le paludisme disparaissait.

En 1927, Kermack et McKendrick ont développé le modèle SIR (susceptible-infected-removed) dans un travail célèbre qui a fourni la base de la recherche dans le domaine de la modélisation des épidémies et qui a donné naissance à plusieurs modèles en épidémiologie.

Williams et coll. (1996) ont proposé un modèle mathématique très complet appliqué aux données du Royaume-Uni. Ce modèle déterministe, structuré en 12 classes d'âge, prend en compte les transmissions verticale et sexuelle du virus de l'hépatite B. Ils considèrent, de façon séparée et indépendante, la dynamique épidémique chez les hétérosexuels et les homosexuels masculins, [Kermack et McKendrick, 1927].

En 1911, le médecin anglais Sir Ronald Ross développe un modèle compartimental utilisant des équations différentielles: En 1927, W.O. Kermack et A.G. McKendrick ont appliqué les idées de Ronald Ross pour étudier la dynamique de la transmission des maladies infectieuses humaines. Plus précisément, Kermack et McKendrick ont appliqué les idées de Ross pour les maladies dont la dynamique de transmission dépend de la fréquence et de l'intensité des interactions entre individus susceptibles (sains) et individus infectés et infectieux. Leur résultat fondamental publié en 1927 (avec les extensions dans continue à jouer, comme le modèle de Lotka-Volterra en dynamique des populations, un rôle central dans la théorie mathématique des maladies infectieuses. En notant S la population des susceptibles, I celle des infectés et par R la population des guéris ou "removed/recovered".

## 4. Les modèles mathématiques d'épidémie

### 3.1. Qu'est ce qu'un modèle ?

Un **modèle** peut être défini comme étant: "*Une représentation simplifiée de la réalité. Il repose donc sur des paradigmes et sur une théorie*".

En épidémiologie, les modèles nous permettent d'extrapoler à partir d'un ensemble connu de conditions à l'autre. En tant que tel, les modèles permettent de prédire la dynamique de

# CHAPITRE 01: La modélisation des épidémies

---

l'épidémie au niveau des populations d'une connaissance au niveau individuel entre les facteurs épidémiologiques, le comportement à long terme de la dynamique d'invasion précoce, ou l'impact de la vaccination sur la propagation de l'infection.

Elle se fait de façon **déterministe** ou **stochastique** à une échelle de temps continue ou discret [Matt et al, 2008]:

- *Les modèles déterministes avec temps continu* sont appropriés dans le cas des grandes populations. Et la modélisation se fait sous forme d'un système d'équations différentielles.
- *Les modèles stochastiques* intéressant pour de plus petites populations, leurs étude mathématique est plus compliquée et leur comportement se fait souvent par simulation.
- Une modélisation commence par la description du problème à étudier, sa mise en équation différentielle sous différentes hypothèses, son étude par des techniques mathématiques ou de simulation et à la fin l'interprétation de son comportement par rapport aux paramètres identifiés et estimés.

1.

2.

3.

3.1.

## 3.2. Notation

**S** : « *Susceptibles* » le nombre des éléments sains, ceux qui sont susceptibles d'attraper la maladie mais n'ont pas encore été contaminés.

**I** : « *Infectieux* » le nombre des éléments infectés et qui sont capables de transmettre l'infection.

**R** : « *Retirés* » les individus qui ont contracté la maladie et qui ne peuvent plus la transmettre (immunisés de façon permanente, isolés, morts, etc.).

**E** : « *Exposés* » les individus exposés à la maladie.

$\alpha$  : représente le taux de l'infection.

$\beta$  : représente le nombre de nouveau cas infecté par unité de temps.

$\gamma$  : représente le taux de guérison.

## 3.3. Quelques modèles mathématiques d'épidémie

## 4.3.1. Le modèle simple SI (Susceptibles, Infectives) de Hamer

Le modèle SI (Susceptibles, Infectives) est le premier modèle dynamique simple, il a été développé par W. H. Hamer en 1906. Il suppose au départ qu'il n'y a ni décès ni guérison, et l'individu infecté reste et demeure contagieux jusqu'à la fin de sa vie. Ce modèle comprend donc deux compartiments : (i) les individus susceptibles d'être infectés (S), (ii) les individus infectés (I).

Dans le domaine d'épidémiologie, nous pouvons schématiser le modèle d'épidémie par des boîtes ou des compartiments qui représentent les différents statuts dans lesquels peuvent se trouver les individus d'une population pendant la maladie, les changements d'états (statuts) possibles étant indiqués par des flèches. En effet, le schéma du modèle SI est illustré par la Figure 1.1

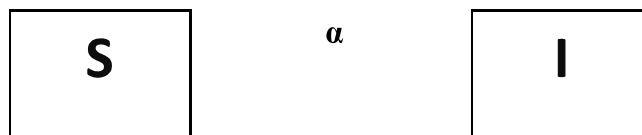


Figure 1.1. Le modèle SI

$\alpha(t)$  : est la constante de proportionnalité (taux d'infection) par unité de temps. Les équations différentielles s'écrivent :

$$\text{Avec } S(0) + I(0) = N$$

A cause de l'infection on remarque que quand  $S(t)$  décroît,  $I(t)$  croît et on voit aussi que

$$S(t) + I(t) = \text{constante} = N.$$

1.

2.

3.

3.1.

3.2.

## 3.3.

### 3.3.1.

#### 3.3.2. Le modèle SIS (Susceptibles, Infectives, Susceptibles)

Pour un nombre de maladies, la guérison est heureusement possible. Si à chaque unité de temps un individu infecté a une probabilité  $\beta$  de «guérir» de la maladie et de redevenir susceptible, on a en moyenne (dans les mêmes limites que précédemment)  $\beta I$  individus guérissant chaque jour. Le système d'équations devient donc :

#### 4.3.3. Le modèle SIR (Susceptibles, Infectives, Removed)

Ce modèle décrit l'état de la population d'hôtes en la compartimentant en groupes d'individus différenciés en fonction de leur statut vis-à-vis de l'agent pathogène : Susceptibles (S), infectieux(I) et guéris (R, Removed en anglais).

La Figure 1.2 représente le schéma du modèle SIR:

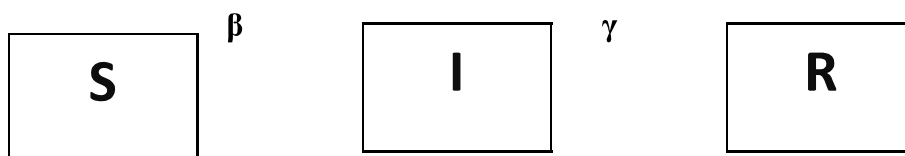


Figure 1.2. Le modèle SIR

$\beta$  : Nombre de nouveau cas infecté par unité de temps qui est proportionnel au nombre de contacts entre S et I.

$\gamma$  : Transition de S vers R (taux de guérison ou de malades isolés)

$1/\gamma$ : Durée moyenne de la maladie

D'où le système :

$$\gamma(t) I(t)$$

### 3.3.4. Le modèle SEIR (Susceptibles, Exposed, Infectives, Removed)

Le modèle épidémique simple SEIR est un bon modèle pour étudier la propagation de la maladie de la grippe dans une population fixe. Dans ce modèle la population est composée de quatre classe d'individus est variable dans le temps. Ces classes sont utilisées pour représenter l'état de santé des individus. La Figure 1.3 représente le schéma du modèle SIR:

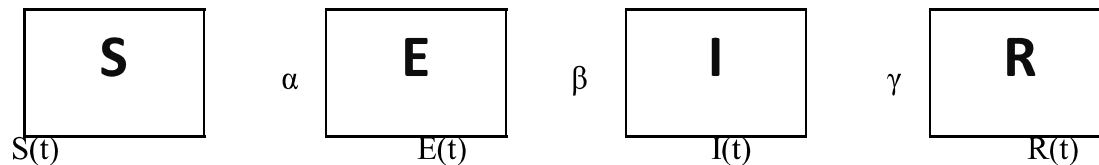


Figure 1.3. Le modèle SEIR

$\alpha$  : représente le taux de l'infection d'un seul contact avec une personne infectée.

$\beta$  : est le taux pour lequel ceux de la classe latente passent a la classe infectieuse.

$\gamma$  : est le taux de récupération pour lequel les personnes infectées se rétablissent c.-à-d. passer de la classe infectieuse a la classe résistante (retiré).

## 5. L'interprétation des modèles mathématiques d'épidémie

### 5.1. Modèle SI (Susceptibles, Infectives)

Dans le modèle SI de « Hamer », l'épidémie se propage par contacts directs entre les susceptibles et les infectés. Le nombre de nouveaux contaminés  $dy$  par intervalle de temps  $dt$  est proportionnel au nombre total de contacts possibles entre susceptibles et infectés, avec un facteur  $\beta$  (appelé taux d'infection) traduisant à la fois que tous les contacts possibles n'ont pas nécessairement lieu pendant le temps  $dt$  et que seule une partie de ces contacts entraîne une contamination.

### 5.2. Modèle SIR (Susceptibles, Infectives, Removed)

Le modèle de Kermack & Mc Kendrick étudie la propagation d'une épidémie dans une population supposée constante de  $n$  individus, divisée en trois groupes distincts : celui des Susceptibles (au nombre de  $x(t)$ ), celui des Infectés (au nombre de  $y(t)$ ) et celui des Retirés (au nombre de  $z(t)$ ) qui est constitué d'une partie des infectés qui sont guéris et qui sont désormais immunisés. L'épidémie se propage par contacts directs entre les susceptibles et les infectés.

## CHAPITRE 01: La modélisation des épidémies

---

Le nombre des nouveaux retirés  $dz$  par intervalle de temps  $dt$  est proportionnel au nombre  $y$  des infectés avec un facteur de proportionnalité  $\beta$  (appelé taux de retrait). Le nombre de nouveaux contaminés  $dy$  est calculé d'une manière analogue au modèle de Hamer mais on retranche le nombre des nouveaux retirés  $dz$  par intervalle de temps  $dt$ .

Ces modèles supposent que l'effectif  $N$  de la population est **constant** : ainsi on ne prend pas en compte les naissances ni l'immigration. Bien que des modèles plus compliqués puissent rendre compte de ces facteurs, cette hypothèse est plutôt raisonnable si on modélise, par exemple, la propagation d'une épidémie de brucellose au sein d'un troupeau celui-ci ne recevra pas de nouvel individu pendant le temps de l'étude de l'épidémie. Ces modèles supposent aussi que la population étudiée est brassée de façon **homogène** : tout individu non contaminé prend le même risque d'être exposé à la maladie qu'un individu déjà contaminé.

Pour cela, on divise la population  $N$  en trois catégories, à chaque instant  $n$  :

$x$  : le nombre des éléments sains, ceux qui sont susceptibles d'attraper la maladie mais n'ont pas encore été contaminés ;

$y$  : le nombre des éléments infectés et qui sont alors contagieux

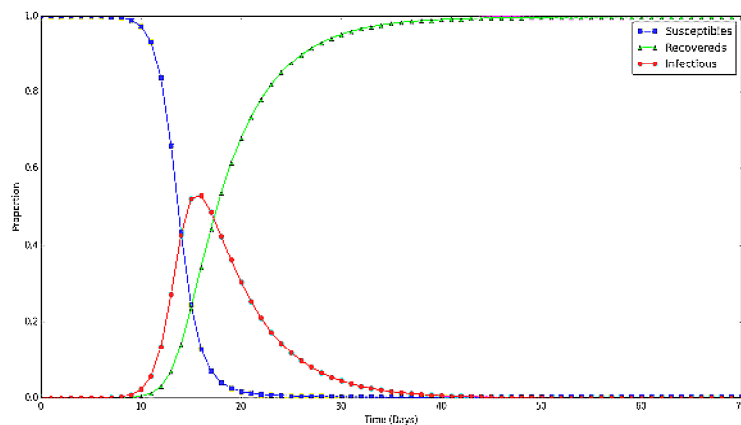
$z$  : le nombre des éléments retirés, ceux qui ne peuvent plus être atteints par la maladie parce qu'ils sont définitivement guéris, naturellement immunisés.

La population étant constante, à chaque instant  $n$ ,  $x + y + z = N$ .

Pour qu'une épidémie se produise, il faut que  $x > 0$ .

Lorsque  $x = 0$ , l'épidémie commence à décroître.

La Figure 1.4 représente un exemple de simulation du modèle SIR:



**Figure 1.4.** L'évolution des variables d'états dans le temps pendant une épidémie

### 5.3. Modèle SEIR (Susceptibles, exposes, Infectives, Removed)

Lorsqu'un individu susceptible est infecté par la maladie, un certain temps est normalement nécessaire avant que des symptômes apparaissent et/ou que l'individu devienne contagieux. Une façon de tenir compte de ces effets est d'introduire un nouveau compartiment d'individus exposés E dans lequel on place tous les individus qui deviendront éventuellement infectés à un taux  $\beta$ .

Le système d'équations différentielles de vient :

Avec ces caractéristiques le nom de modèle est SEIR, On peut également ajouter un tel compartiment d'individus exposés aux autres modèles venant d'être introduits pour obtenir des autres modèles.

## 6. La modélisation des épidémies: Travaux connexes

Dans la littérature il existe plusieurs modèles et systèmes permettant le suivi et la prévention des maladies infectieuses. Dans ce qui suit, nous présentons les plus célèbres :

## 6.1. Les modèles mathématiques

Dans [Keeling et al., 2004], les auteurs proposent un modèle continu pour le suivi d'épidémie de variole dans une grande ville (2 millions d'habitants) afin d'évaluer les paramètres clés pour le contrôle de cette épidémie. Ils ont construit un modèle stochastique pour simuler l'évolution d'une épidémie contrôlée par la vaccination et l'isolement de cas. Dans [Basileu et al., 2010], les auteurs proposent un modèle de diffusion spatiale à base d'agents hybrides basé sur le modèle SEIR. Le modèle permet de déterminer, en chaque zone, le nombre d'agents touchés par la maladie au jour le jour. Via ce modèle, on peut ainsi connaître, en chaque unité de son territoire, l'ampleur de la pandémie. La transition d'une phase à l'autre durant une infection est modélisée de façon markovienne.

Liccardo et Fierro dans [Liccardo et Fierro, 2013] ont construit un modèle SIR stochastique pour étudier la diffusion de la grippe dans un réseau de D-dimension représentant le contact entre les individus. Ce modèle a été validé par une comparaison avec les données épidémiologiques de différentes classes d'âges d'Italie pour la grippe A (H1N1). Récemment, [González-Parra et al., 2015] proposent l'utilisation d'un modèle de réseau aléatoire basé sur le modèle SEIR pour simuler et comprendre le processus de propagation d'épidémie de la grippe A (H1N1) dans une région à Venezuela. Leurs résultats confirment que le modèle proposé est plus performant que le modèle d'épidémie traditionnel basé sur les EDO.

## 6.2. Les systèmes de surveillance d'épidémie

### 6.2.1. EpiSIM : (The Epidemiological Simulation)

L'objectif du système EpiSIM vise à étudier une épidémie d'oreillons qui a eu lieu entre 1993-1996 au Portugal. Ce modèle est constitué de deux sous-modèles, respectivement, dédiés à la circulation et l'infection [Quesnel, 2006].

Le **sous-modèle d'infection** est basé sur le modèle classique compartimental SEIR qui est expressif et suffisamment général. Le **sous-modèle de circulation** est basé sur une combinaison de SIG et ABM (Agent-Based Model). Le système EpiSIM sur des données réelles, le déplacement des personnes est représenté à travers 4 niveaux différents de réseaux sociaux (au sein d'un bloc, à l'intérieur d'une ville, entre les villes voisines et inter-provinces).

Ce modèle est intéressant car il adapte le modèle à compartiments à l'agent et le couple avec un SIG intégrant de véritables données géo-référencées.

### 6.2.2. EpiSims :(The Epidemiological Simulation System)

EpiSims modélise la propagation de la maladie dans les zones urbaines, permettant l'évaluation de la prévention, l'intervention et les stratégies d'intervention en simulant les mouvements quotidiens des individus synthétiques dans une région urbaine. EpiSims permet à l'utilisateur de spécifier les effets en détail d'un agent pathogène sur une personne en particulier, et d'attribuer différents effets à différentes personnes en fonction de caractéristiques démographiques. En collaboration avec des modèles de mobilité de la population, cela peut représenter des réactions comportementales à une épidémie, y compris les interventions officielles. Cette approche fournit des informations détaillées sur chaque personne simulée, et l'événement significatif qui se produit à chaque personne au cours de la simulation, y compris l'infection, la neutralisation, et traitement avec un horodatage et l'emplacement actuel. EpiSims peut aussi produire une représentation du réseau social, à savoir les motifs de contact de personne à personne au sein de l'ensemble de la population et une description du chemin épidémie sur le réseau social. Il permet de mesurer l'efficacité des propriétés structurales de très grands réseaux sociaux [Kasereka et al, 2014].

6.4.

6.5.

6.6.

6.7.

## 7. Conclusion

Nous avons expliqué dans ce chapitre le concept de la modélisation mathématique d'épidémie. Nous avons également donné les définitions des modèles d'épidémie en quoi ces dernières servent à la compréhension du fonctionnement du mécanisme de propagation d'épidémie. Nous avons terminé le chapitre en introduisant les pistes de recherche afférentes.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter les méthodes d'analyse d'aide à la décision multicritères ainsi que les problématiques décisionnelles.



### 1. Introduction

La décision est le choix d'une action portant sur la mise en œuvre de ressources ou la détermination des objectifs, compte tenu d'un ou plusieurs critères d'évaluation des solutions. Dans ce chapitre, nous introduisons le champ d'étude AMC. Ensuite, nous présentons une sélection des méthodes AMC. Nous terminons le chapitre par donner une liste de travaux liés à notre travail.

### 2. L'Analyse MultiCritère d'aide à la décision (AMC)

Vincke [Vincke et Roy, 1989] a défini l'AMC ainsi : "l'aide multicritère à la décision vise, comme son nom l'indique à fournir à un décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution d'un problème de décision où plusieurs points de vue, souvent contradictoires, doivent être pris en compte".

L'aide multicritères à la décision œuvre à apporter un éclairage et des explications à une catégorie de problèmes ou, selon Martel [Martel, 1988] :

- Plusieurs critères quantitatifs et qualitatifs sont pris en considération;
- Ces critères sont souvent hétérogènes;
- Ces critères sont généralement conflictuels;
- Ces critères sont généralement considérés d'inégale importance.

Plusieurs modèles et algorithmes d'AMC ont été proposés par les chercheurs des deux côtés de l'Atlantique.

#### 2.1. Les différentes problématiques de l'approche multicritère

La problématique peut être perçue comme étant une orientation de l'investigation qu'on adopte pour un problème de décision donné. Elle exprime les termes dans lesquels le décideur ou l'homme d'étude pose le problème et traduit le type de la prescription qu'il souhaite obtenir [Roy, 1985]. Roy Bernard [Roy, 1985] propose de distinguer quatre problématiques:

- Problématique du choix (P. $\alpha$ )
- Problématique du tri (P. $\beta$ )
- Problématique du rangement (P. $\gamma$ )
- Problématique de la description (P. $\delta$ )

Le tableau suivant résume les quatre problématiques:

<b>Problématique</b>	<b>Objectif</b>	<b>Résultat</b>
$P\alpha$	aider à choisir une «meilleur» action ou à élaborer une procédure de sélection	Un <b>choix</b> ou une procédure de sélection.
$P\beta$	aider à trier les actions d'après des normes ou à élaborer une procédure d'affectation	Un <b>tri</b> ou une procédure d'affectation
$P\gamma$	aider à ranger les actions selon un ordre de préférence décroissante ou à élaborer une procédure de classement.	Un <b>rangement</b> ou procédure de classement
$P\delta$	aider à décrire les actions et/ou leurs conséquences de façon systématique et formalisée ou à élaborer une procédure cognitive	Une <b>description</b> ou une procédure cognitive

**Table 2.1.** Les différentes problématiques de l'approche multicritère[Roy, 1985].

### 2.2. Les avantages de l'analyse multicritères

Il existe différentes démarches pour faire face à la situation de décision multicritère. Chacune met l'accent sur certains aspects aux dépends d'autres et, par conséquent, chacune a ses avantages et ses inconvénients. Dans ce qui suit, nous présentons les avantages:

- Trouver une solution dans des situations complexes
- Une méthode compréhensible
- Une méthode rationnelle
- Un outil de négociation utile aux débats complexes

### 3. Modélisation multicritères

#### 3.1. Modélisation des préférences

Les problèmes décisionnels sont (i) de nature multidimensionnelle, interdisciplinaires et mal définis, (ii) impliquent plusieurs personnes et institutions, ayant généralement des préférences

## CHAPITRE 02: Les méthodes multicritères

et des objectifs divergents, (iii) nécessitent la définition de plusieurs critères conflictuels dont l'importance n'est pas la même, et (iv) demandent une quantité considérable de données quantitatives et qualitatives : c'est le champ d'application de l'analyse multicritère [Chakhar,2006]. En effet, le développement des méthodes AMC a permis de prendre conscience de l'importance de la modélisation des préférences, d'indifférence, et d'incomparabilité. La table 2.2 résume ces différentes situations.

<b>Situation</b>	<b>Définition</b>	<b>Relation binaire(propriétés)</b>
Indifférence	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une équivalence entre les deux actions.	I : relation symétrique et réflexive.
Préférence stricte	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une préférence significative en faveur de l'une (identifiée) des deux actions.	P : relation asymétrique (irréflexive)
Préférence faible	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui infirment une préférence stricte en faveur de l'une (identifiée) des deux actions mais ces raisons sont insuffisantes pour en déduire soit une préférence stricte en faveur de l'autre soit une indifférence entre ces deux actions (ces raisons ne permettent donc pas d'isoler l'une des deux situations précédentes comme étant la seule appropriée).	Q(comme "quasi"):relation asymétrique (irréflexive).

## CHAPITRE 02: Les méthodes multicritères

Incomparabilité	Elle correspond à l'absence de raisons claires et positives justifiant l'une des trois situations précédentes.	R(comme "refus de se prononcer"): relation symétrique irréflexive.
-----------------	--	--

**Table 2.2.** Définition des différentes situations de préférence [Chakhar, 2006].

### 4. LES METHODES MULTICRITERE D'AIDE A LA DECISION

#### 4.1. Méthode Electre

ELECTRE (ELimination et Choix Traduisant la Réalité) est une famille de méthodes d'analyse multicritères développée en Europe à la fin des années 1960. L'acronyme ELECTRE signifie élimination et choix traduisant la réalité. ELECTRE est une méthode non compensatoire d'aide à la décision multicritère introduite par "Bernard Roy" [Roy, 1985]. La table suivante décrit les méthodes de surclassement ELECTRE.

la méthode	la problématique	les concepts utilisés par la méthode
ELECTRE I	C'est une méthode permettant de résoudre les problèmes multicritères de choix, d'identifier le sous ensemble d'actions offrant le meilleur compromis possible.	Est une méthode assez simple puisqu'elle est basée sur des concepts naturels tels que "d'accord/pas d'accord". Elle ne repose pas sur des a priori.
ELECTRE II	Cette méthode relève de la problématique $g$ (procédure de classement).	Cette méthode a pour but de classer les actions potentielles, depuis les "meilleures" jusqu'aux "moins bonnes"
ELECTRE III	C'est une méthode de sur-classement, qui date de 1977 qui vise à résoudre les problématiques de type $\gamma$ : Classer les actions de la meilleure à la pire pour	Cette méthode traite une matrice d'évaluation contenant des actions et des pseudos critères. Les traitements de sur classement muni sur cette matrice

## CHAPITRE 02: Les méthodes multicritères

	sélectionner ensuite la (les) action(s) qui semble(nt) la (les) plus adéquate(s).	permettront d'établir un préordre final partiel. En général, ELECTRE III opère en deux phases : Agrégation et Exploitation.
ELECTRE IV	cette méthode relève aussi de la problématique g (procédure de classement) témoigne d'une sophistication de plus en plus poussée.	cette méthode utilise des critères associés à un seuil de préférence stricte et à un seuil d'indifférence. A partir de la matrice des évaluations, les actions sont comparées deux à deux. Cette comparaison situe, pour chaque critère, l'une des actions par rapport à l'autre selon un cas de figure déterminé.
ELECTRE IS	La méthode ELECTRE IS qui relève aussi de la problématique a est une adaptation de ELECTRE I à la logique floue, permettant d'utiliser des pseudo-critères (le S veut dire seuil)	Cette méthode utilisé Pour choisi la "meilleure" action potentielle, une partition des actions potentielles A en deux sous-ensembles doit être réalisée.
ELECTRE TRI	Electre-tri est une méthode qui permet de résoudre des problèmes d'affectation.	Electre-tri est une méthode qui permet de résoudre des problèmes d'affectation, le principe de la méthode est d'assigner un ensemble de m d'alternatives ou d'actions noté $A=\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\}$ sur lesquelles se base la décision à des catégories ou classes bien définies.

**Table 2.3.** Les méthodes de surclassement ELECTRE[Mousseau,2002]

### 4.2. Méthodes PROMETHEE

La méthode PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations) est semblable à la méthode ELECTRE, dans le sens où elle vise à construire une

## CHAPITRE 02: Les méthodes multicritères

relation de surclassement dans l'espace des actions ; par contre, elle en diffère par la nature de cette relation

### 4.2.1. Le principe de la méthode PROMETHEE:

Le principe de la méthode PROMETHEE consiste à établir un processus de comparaison numérique de chaque action par rapport à toutes les autres actions. Ainsi il est possible de calculer le plus (mérite) ou le moins (démérite) de chaque action par rapport à toutes les autres. Le résultat de cette comparaison permet le classement ordonné des actions.

### 4.2.2. Les trois phases de la méthode PROMETHEE:

La mise en œuvre de la méthode peut être ramenée à l'exécution des trois étapes suivantes:

#### 1) Choix de critère généralisés

A chaque critère ( $C_1, C_2, \dots, C_n$ ) sera associé un critère généralisé choisi sur base d'une fonction de préférence et les effets d'échelle seront éliminés.

#### 2) Détermination d'une relation de surclassement

Dans une deuxième phase, il convient de déterminer une relation de surclassement par le biais d'un indice de préférence (par exemple: l'écart maximum entre 2 actions) qui quantifiera les préférences du décideur.

#### 3) Evaluation des préférences

L'évaluation de la préférence du décideur par la prise en compte des flux entrant et sortant.

### 4.2.3. Avantages et limites

La table 2.4 illustre les avantages et les limites de chaque méthode PROMETHEE.

Méthode multicritère	Avantages	Limites
PROMOTHEE I	-Méthode proche d'ELECTRE III. -Construit une relation de surclassement qui traduit une intensité de préférence. -Le paramétrage se fait en se basant sur des grandeurs physiques compréhensibles par le décideur.	-Beaucoup de calculs pour obtenir les flux ce qui implique une indifférence très rare en pratique. -Seuils de préférence et d'indifférence constants. -Absence de la notion de discordance.
PROMOTHEE II	Le pré-ordre total de PROMOTHEE II exclut l'incomparabilité et réduit fortement l'indifférence.	Méthode d'utilisée (calcul des scores), les comparaisons 2 à 2 ne servant qu'à masquer le calcul du score final ( $\alpha$ ) de chaque action.

PROMOTHEE III	Calculs des flux plus faciles à effectuer grâce à l'introduction des seuils d'indifférence sur les flux.	Méthodes assez difficiles à implémenter à cause des calculs statistiques pour les seuils n'ayant pas d'interprétation concrète pour le décideur.
PROMOTHEE IV	Utilise des intégrales dans les calculs plutôt que des sommes ce qui permet d'éviter certaines failles dans les résultats	-Il s'agit d'une méthode qui manipule des ensembles infinis d'action, ce qui la rend plus théorique que pratique -Implémentation plutôt difficile due à l'utilisation des intégrales.

**Table 2.4.** Avantages et limites des méthodes PROMOTHEE [Brans et Vincke, 1985]

### 4.3. Processus Hiérarchique Analytique

L'Analyse Hiérarchique Procédés (AHP) est une méthode multicritère d'aide à la décision considérant plusieurs critères afin de prendre la meilleure décision.

L'AHP a été créé dans les années 1970 par « Thomas Saaty » (Professeur au Wharton School of Business) et consultant pour le gouvernement américain. Il a développé l'AHP pour optimiser l'allocation des ressources lorsqu'il y a plusieurs critères à considérer.

La méthode AHP est utilisée pour :

- choisir la meilleure solution;
- prioriser vos solutions;
- comparer vos solutions;
- allouer de façon optimale vos ressources;
- résoudre un conflit;
- gérer la qualité.

#### 4.3.1. Méthodologie à suivre pour réaliser le AHP

Le processus peut être divisé en quatre phases [Kaspczyk et Knickel, 2006] qui font intervenir un questionnaire évaluant les préférences des acteurs.

**1** : *Identification et structuration du problème et sélection des critères et sous-critères.*

## CHAPITRE 02: Les méthodes multicritères

---

- Formulation du problème décisionnel : quelle est la question posée et quel est l'objectif de la décision ?
- Identification des acteurs : quels acteurs sont concernés par le problème et quels acteurs participent conjointement à la décision ?
- Identification des critères : quels critères sont vraiment importants pour répondre à la question posée ?
- Identification des alternatives possibles : quelles alternatives sont réellement prises en compte ? (Par exemple, dans le cas de la forêt, des alternatives d'extraction de bois).

**2** : *Établissement des priorités des critères par le biais de comparaisons par paires.*

- Comparaison et évaluation des critères par paires : quel est le critère le plus important?

**3** : *Comparaisons par paire des alternatives, par rapport à chaque critère*

- Comparaison et évaluation des alternatives deux à deux, critère par critère: quelle alternative correspond le mieux au critère X : alternative A ou alternative B ?

**4** : *Obtention d'un score relatif global pour chaque option (calcul des priorités et interprétation des données).*

- Réponse à la question initiale : quels poids ont les alternatives et les critères ?

### **4.3.2. Avantage de la méthode AHP :**

- sa capacité de structurer un problème complexe, multicritère, multi personne et multi période de façon hiérarchique,
- la comparaison binaire des éléments (alternatives, critères et sous critères),
- et la facilité de son support informatique, le logiciel Expert Choie.

### **4.3.3. Fonctionnement de l'AHP**

nous aurions un ensemble de  $n$  objets avec des poids  $w_1, w_2, \dots, w_n$ .

Nous pourrions alors créer une matrice de comparaisons  $A$ , donnant le rapport d'un poids par rapport à l'autre, comme montré dans l'équation suivant :

$$A =$$

Cette matrice est un exemple d'une matrice cohérente.

Une matrice cohérente est celle dans laquelle pour chaque entrée  $ij$ .

Notez que le ratio d'entrée  $a_{ij}$  est le ratio de  $i$  à  $j$ . Ce sera la norme que nous adoptons pour le reste du papier, où une entrée dans une matrice de ratio doit être lue comme le rapport de l'élément de rangée à l'élément de la colonne.

Maintenant que nous avons notre matrice de ratio, notez que nous pouvons créer l'équation matricielle suivante:

### **5. Quelques travaux utilisant les méthodes multicritères en épidémiologie**

Les auteurs dans [Jing et al. 2007] ont établi un cadre d'évaluation des risques pour évaluer le risque de grippe hautement pathogène (IAHP) en Chine. Les facteurs de risque ont été déterminés en analysant les données épidémiques en utilisant la méthode de remue-méninges. Les auteurs ont utilisé la méthode AHP pour réaliser leur travail.

Dans une étude similaire, [Araz.2013] a proposé un cadre général pour l'application des plans de planification à la santé publique avec un système d'aide à la décision. Ce dernier intègre à la fois l'estimation des principaux paramètres épidémiologiques avec un modèle dynamique du système d'épidémie. Un modèle de processus de hiérarchie analytique (AHP) a été élaboré et intégré au modèle de simulation pour aider les décideurs de la santé publique à prioriser leurs objectifs de réponse et à évaluer les stratégies d'atténuation.

La modélisation mathématique d'épidémie et AMC étant issues de deux communautés scientifiques différentes, ceci explique que peu de travaux de recherche traitent du couplage entre les deux domaines.

### **6. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons, tout d'abord, introduit le champ d'étude AMC et présenté les problématiques traitées par ce concept. Ensuite, nous avons exposé les méthodes de surclassement d'AMC. Enfin, nous avons présenté, brièvement, les principaux travaux liés à la problématique de la modélisation mathématique de propagation d'épidémie et la méthode d'AMC. Nous avons, également, établi les limites concernant ces travaux.



### 1. Introduction

Dans les chapitres précédents, nous avons abordés les principaux concepts sur la modélisation mathématique ainsi que l'analyse multicritères d'aide à la décision.

Dans ce chapitre, nous allons décrire d'une façon détaillée le système d'aide à la décision Multicritères et de Simulation d'épidémies (SADMS). Ce dernier intègre plusieurs variantes qui contribuent aux mieux pour analyser le contexte d'épidémiologie. Il repose sur une utilisation combinée de modèle mathématique et de méthode AHP.

### 2. Objectifs visés

L'objectif principal de notre étude est de :

- Modéliser et élaborer un Système d'aide à la décision spatio-temporelle (SADMS) pour l'analyse et la prévention d'épidémie.

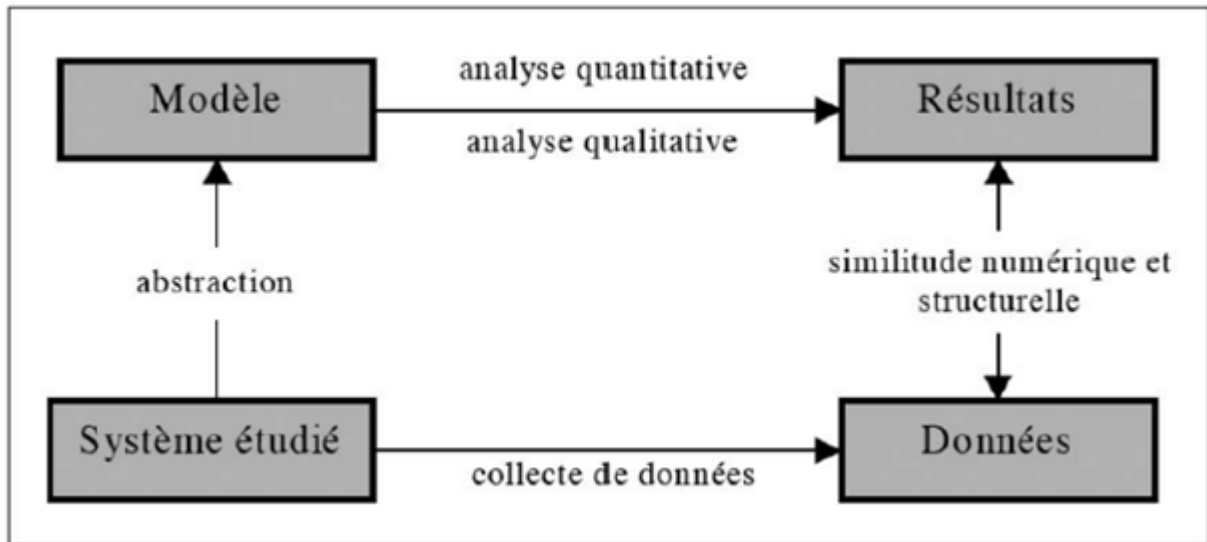
Les objectifs spécifiques étant de :

- Modéliser et simuler le phénomène de la propagation d'épidémie au sein d'une population en adoptant une approche à base d'équations différentielles;
- Identifier les facteurs favorisant la transmission de la maladie via des simulations réalisées par SADMS;
- Prise de décision par l'utilisation de la méthode d'analyse multicritère AHP.

### 3. Le cadre générale de la démarche de modélisation

D'après Ben Amor [Ben Amor, 2008], le modèle est construit comme étant une abstraction du système étudié. Il fournit des résultats à partir d'une analyse quantitative (analyse mathématique, simulation informatique). Parallèlement, des informations de même nature sont récoltées sur le système étudié. Ces données sont comparées aux résultats de la simulation, pour aboutir à la validation du modèle en cas d'adéquation numérique (données quantitatives).

Le Schéma général de la démarche classique de modélisation est illustré par la Figure 3.1.



**Figure 3.1.** Schéma général de la démarche classique de modélisation

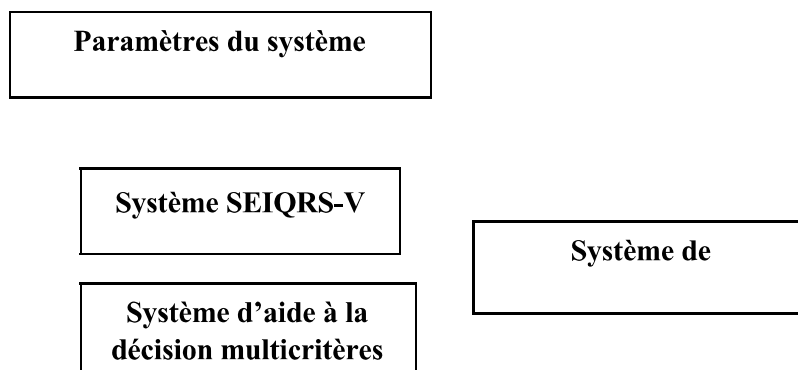
Dans le contexte de notre étude, nous avons adopté la démarche proposée par Ben Amor dans [Ben Amor, 2008] en tenant compte de la dynamique de la propagation d'épidémie.

Nous partons tout d'abord, d'un ensemble d'hypothèses (posées en section 3.2) relativement au système réel que nous jugeons essentielles pour notre modélisation. L'analyse quantitative du modèle permet de tracer, par exemple, l'évolution de la maladie dans le temps.

#### 4. Description du système proposé: SADMS

Dans cette section, nous présentons, en détails le système SADMS proposé pour modéliser le phénomène de la propagation d'épidémie. Ce système est conçu par assemblage de trois principaux composants : Système Susceptible-Exposed-Infectious-Quarantine-Recovered-Susceptible avec Vaccination (SEIQRS-V), Système d'aide à la décision multicritères et un Système de visualisation.

La Figure 3.2 illustre le système SADMS proposé :



**Figure 3.2.** Système SADMS proposé

### 4.1. Paramètre du modèle

Plusieurs chercheurs ont fourni des estimations fiables de la durée moyenne des périodes d'infectiosité. Il n'existe pas de mesure directe permettant de disposer de la vitesse de transmission, et très peu d'estimations de la fraction des individus initialement susceptibles dans la population [Cauchemez et al., 2008].

En effet, nous allons utiliser les paramètres proposés par [Kasereka et al, 2014] du modèle SEIQRS-V.

### 4.2. Système SEIQRS-V

Ce système est basé sur le modèle mathématique à compartiments SEIQRS-V. Ce modèle a été proposé par les chercheurs [Kasereka et al, 2014], leur méthode est considérée comme valide, elle est utilisée dans d'autres travaux de recherches d'actualité.

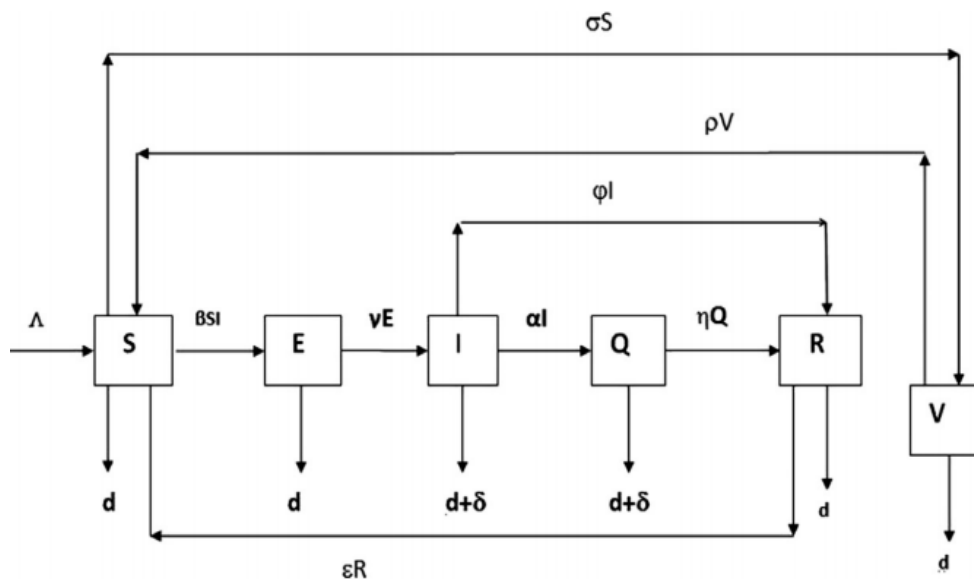
Nous proposons un modèle susceptible-exposed-infectious-quarantine-recovered-susceptible with vaccination compartment (SEIQRS-V) pour décrire la dynamique de la propagation de la maladie par rapport au temps dans une population humaine.

Nous supposons :

- Un taux de natalité constant dans la population, qui peut mourir naturellement à un taux constant.
- La population est susceptible d'être infectée par la maladie.
- Avant qu'un sujet devienne infectieux, il / elle a les symptômes de la maladie. Ces sujets sont placés dans un compartiment exposé (E).
- Les sujets qui sont infectés sont placés dans le compartiment infectieux (I) et la proportion des sujets de la classe I peuvent être guéris et mises dans la classe (R).
- La proportion de la population ayant un comportement infectieux est traitée par la quarantaine dynamique où les personnes les plus infectieuses sont isolées de la population jusqu'à la guérison,

- La vaccination des individus est supposée comme étant une population susceptible ou immunisé dans une communauté
- La proportion de la population susceptible entre dans la classe de vaccination avec un taux  $\sigma$ .

Le modèle SEIQRS-V est composé principalement de six compartiments comme le montre la Figure 3.4 :



**Figure 3.3.**Schéma du modèle SEIQRS-V

Avec:

$\Lambda$  : est le taux de naissance dans la population,

$d$ : est le taux de mortalité naturelle,

$\delta$  : est le taux de mortalité dû à la maladie,

$\beta$  : est le taux de contact infectieux,

$\gamma$  : est le taux de transfert de la classe E à la classe I,

$\alpha$  : est le taux de transfert de la classe I à la classe Q,

$\varphi$  : est le taux de transfert de la classe I à la classe R,

$\eta$  : est le taux de récupération (guérison),

$\rho$  : est le taux de transfert de la classe S à la classe R,

$\varepsilon$  : est le taux de transfert de la classe V à la classe S, et

$\sigma$  : est le coefficient de taux de vaccination pour la population susceptible.

Soit  $S(t)$ ,  $E(t)$ ,  $I(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $R(t)$  et  $V(t)$  désignent le nombre de personnes susceptibles, exposées, infectieuses, quarantaine, guéries à un temps  $t$ .

À ces six états différents, nous pouvons associer trois équations d'évolutions propres telles que :

Avec  $N$  : la population totale,  $N = S(t) + E(t) + I(t) + Q(t) + R(t) + V(t)$  a temps =  $t$

Ce modèle est généralement utilisé pour décrire des maladies avec immunité non permanente. Le comportement des variables  $S(t)$ ,  $E(t)$ ,  $I(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $R(t)$ ,  $V(t)$  de ce modèle peut être obtenu par simulation, c'est-à-dire à travers la résolution numérique des équations différentielles associées.

### 4.3. Le système d'aide à la décision multicritères

Dans cette section, nous présentons en détail le modèle de la prise de décision multicritères. Nous décrivons, tous d'abord, les critères décisionnels puis nous présentons l'utilisation de méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) qui sera par la suite intégré dans le modèle de dynamique SEIQRS-V.

#### 4.3.1. La modélisation des alternatives (les plans d'intervention)

Nous avons évalué quatre plans d'intervention dans cette étude de cas. Ces plans ont été choisis pour démontrer l'application de notre système dans la santé publique, et ils peuvent être étendus en fonction des intérêts et des plans des décideurs.

Les plans comprennent la fermeture des écoles et la réouverture des écoles qui doit être précoce (Early Closure and Earlyre Opening of schools « **ECEO** »), la fermeture tardive et prolongée de l'école (Late and Prolonged School Closure « **LPSC** »), la fermeture de l'école jusqu'à la disponibilité des vaccins doit être précoce (Early school Closure Until Vaccines « **ECUV** ») et l'attente de prendre une décision de fermeture de l'école jusqu'à ce que les vaccins soient disponibles (Waiting to make a school closure decision Until Vaccines become Available « **WUVA** »).

#### 4.3.2. Les objectifs de la prise de décision

Les décideurs de la santé publique peuvent mettre en œuvre plusieurs plans d'interventions pour atteindre les objectifs épidémiologiques, sanitaires et socio-économiques. Dans l'évaluation multicritères de ces interventions, les mesures suivantes sont utilisées pour déterminer l'efficacité des décisions politiques :

- 1) **Le taux d'attaque cumulatif (RAC)** : c'est la proportion de la population infectée pendant la pandémie. Il est obtenu du système de la simulation,

- 2) **La prévalence maximale ou pic de cas (PC)** : c'est-à-dire la proportion maximale de la population infectée à un moment donné pendant l'épidémie, obtenue par la simulation,
- 3) **La perturbation sociale et économique (SED)** : mesurée par la durée de fermeture de l'école, c'est-à-dire elle est fortement corrélée avec le nombre total d'écoles fermées en raison d'une intervention, prise de l'étude de [Araz 2013]
- 4) **Le taux de mortalité totale (TMR)** : c'est la proportion de la population qui est décédée d'une nouvelle souche de la maladie pendant la pandémie et
- 5) **Les hospitalisations totales.**

Nous avons utilisé ces mesures pour effectuer notre analyse pour évaluer les premières décisions en matière de lutte contre la pandémie.

### 5).4. Modèle AHP pour les Multi-Critères (Évaluation des interventions)

Il est généralement très difficile de modéliser analytiquement les décisions stratégiques en santé publique pour atteindre de multiples objectifs à la fois quantitativement et qualitativement simultanément.

La méthode AHP intègre quantitativement des évaluations quantitatives et qualitatives dans les problèmes stratégiques de prise de décision [Araz ,2013]. En utilisant un modèle AHP, les décideurs peuvent exprimer leur préférences entre chaque paire d'éléments comme étant également importantes, moyennement plus importantes, fortement importantes, fortement très importantes et extrêmement plus importantes.

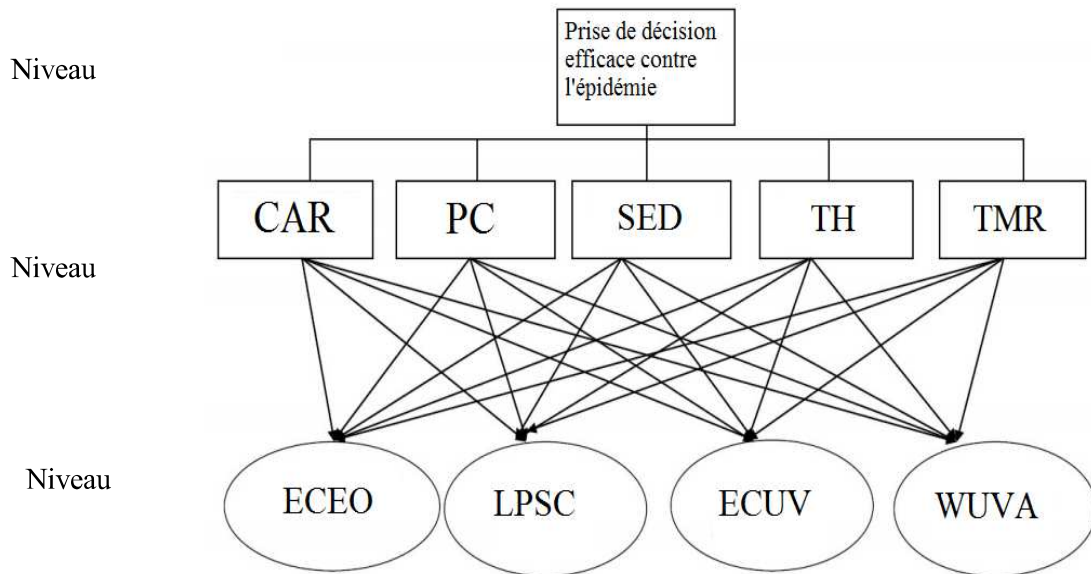
#### 5).4.1. Application de la méthode AHP pour évaluer le plan d'intervention

Nous optons pour la méthode AHP afin d'évaluer la prise de décision efficace contre l'épidémie. AHP est une méthode d'analyse multicritères adaptée à notre cas où il s'agit d'évaluer un plan d'intervention donné en fonction des critères multiples. En attribuant un poids à chaque critère, un score est calculé pour chaque partenaire. La méthode fait appel à des jugements subjectifs devant être établis par des décideurs experts.

Dans notre cas d'étude la hiérarchie élaborée comporte plusieurs niveaux qui sont :

- Niveau 0 : l'objectif cible qui consiste à déterminer la prise de décision efficace contre l'épidémie,
- Niveau 1 : les critères de décision sont ici la satisfaction tous alternatives,
- Niveau 3 : les solutions alternatives sont les plans d'intervention.

La figure 3.5 représente la décomposition du problème en arbre hiérarchique.



**Figure 3.4.** Décomposition du problème en arbre hiérarchique. Les étapes

successives réalisées à chaque niveau permettent de qualifier les compatibilités en classant les réponses de la plus satisfaisante à la moins bonne, ensuite le mécanisme d'agrégation de la méthode permet de déduire un classement de tous les plans d'intervention.

Dans cette étude, nous allons utiliser pour les comparaisons les données utilisées par [Araz, 2013].

### 5).4.2. Le système de visualisation

Le système SADMS permet d'afficher des courbes d'évolution d'épidémie liées aux différentes variables d'état dans le temps ( $S(t)$ ,  $E(t)$ ,  $I(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $R(t)$ , et  $V(t)$ ) ainsi qu'il permet de visualiser dans le temps le phénomène de propagation d'épidémie.

## 5. Démarche adoptée par le système SADMS

La démarche décisionnelle adoptée par le système décisionnel SADMS est illustrée par la Figure 3.6:

**Problème de Propagation des épidémies**

**Insertion des paramètres de**

**La simulation**

**Visualisation des courbes et  
de la dynamique de la**

**Lancement de la  
méthode AHP**

**La prise de décision**

**Figure 3.5.** La démarche proposée

### **6. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons décrit le système SADMS d'une façon détaillée. Nous avons, également, présenté ces différents composants, à savoir: le système SEIQRS-V, le système d'aide à la décision basé sur la méthode AHP et le système de visualisation permettant de visualiser les différents résultats obtenus.

L'objectif du chapitre suivant est de mettre en œuvre le système SADMS.

### 1. Introduction :

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté l'aspect théorique de notre travail. Nous avons présenté notre modèle SADMS ainsi que nous avons détaillé tout le processus de notre approche.

Dans ce chapitre, nous allons détailler la mise en œuvre du système SADMS proposé.

### 2. Environnements de développement

#### 2.1. Environnement Matériel :

Pour développer le système SADMS. Nous avons utilisé une machine, configurée comme suit:

- Machine : Samsung
- Mémoire Vive : 4 Go.
- Disque Dur : 500 Go.
- Processeur : Intel (R) Core (TM) i3-3110M CPU @2.40 GHz.
- Type de système : Windows 7

#### 2.2. Environnement Logiciel :

Notre choix s'est porté sur le logiciel Matlab, pour le développement de notre application.

### 3. Matlab 7.8.0(R2009a):

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. Développé par la société The Math Works, 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. Les utilisateurs de MATLAB (environ un million en 2004) sont de milieux très différents comme l'ingénierie, les sciences et l'économie dans un contexte aussi bien industriel que pour la recherche.

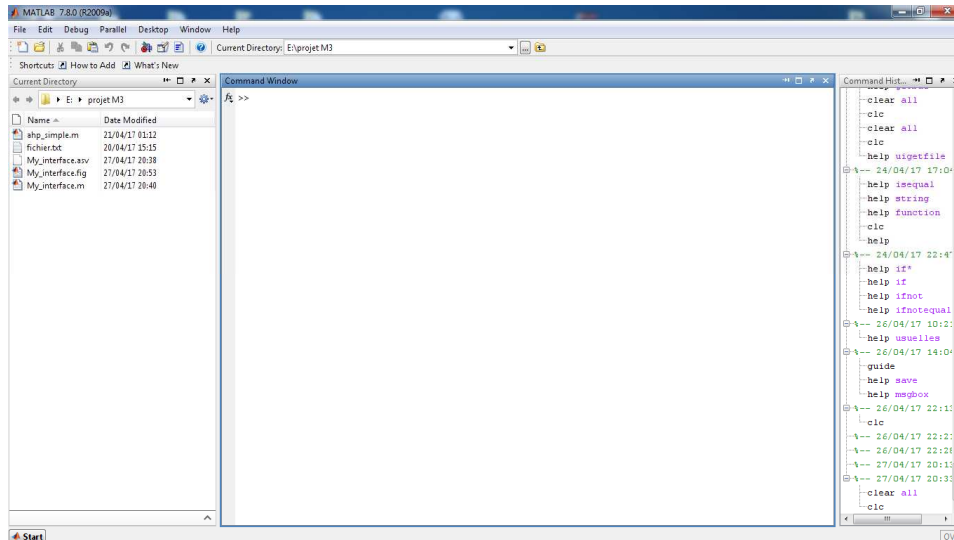


Figure 4.1: Environnement de Matlab 7.8.0(R2009a)

### 3.1. Choix de MATLAB

MATLAB est le logiciel le plus accessible et le plus productif conçu pour les ingénieurs et les scientifiques. Pour les tâches d'analyse de données, de développement d'algorithmes et de création de modèles, MATLAB vous fournit un environnement qui encourage l'exploration et la découverte. Nous citons dans la suite quelques fonctionnalités de MATLAB :

- Langage de haut niveau pour le calcul scientifique et technique
- Graphiques destinés à la visualisation de données et outils conçus pour créer des tracés personnalisés
- Applications dédiées à l'ajustement de courbes, la classification de données, l'analyse de signaux et bien d'autres tâches spécialisées
- Outils permettant la création d'applications avec interface utilisateur personnalisée
- Interfaces vers C/C++, Java, .NET, Python, SQL, Hadoop et Microsoft Excel
- Le langage MATLAB, basé sur les matrices, est le moyen le plus naturel au monde pour exprimer les mathématiques computationnelles.
- Le langage MATLAB propose également les fonctionnalités traditionnelles des langages de programmation, notamment le contrôle des flux, la gestion des erreurs, la programmation orientée objet, le test unitaire et l'intégration du contrôle de code source

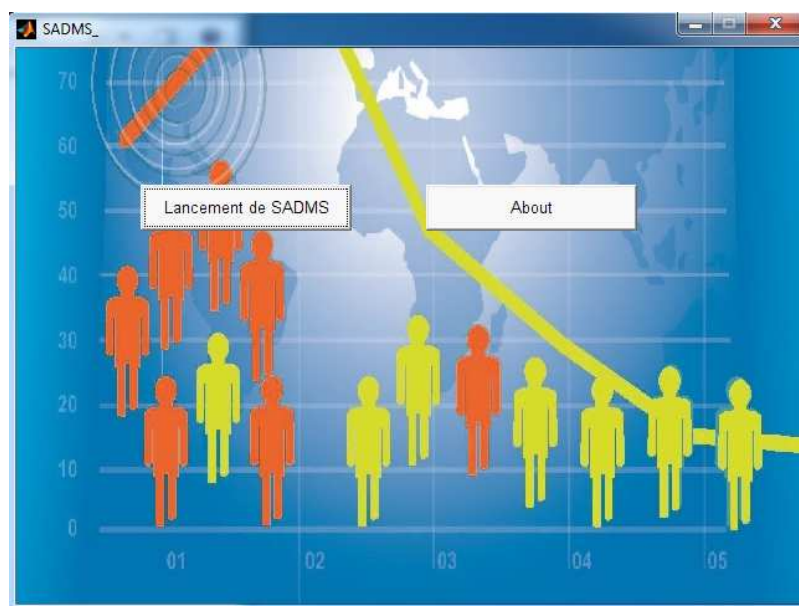
## 4. Présentation du système SADMS:

Dans ce qui suit, nous présentons des illustrations et des explications pratiques de notre application réalisée.

### 4.1. L'interface d'accueil

Après avoir saisi le mot de passe valide, la fenêtre ci-après s'affiche, elle comporte le menu principal où l'utilisateur pourra sélectionner la tâche à effectuer.

La figure suivante illustre la fenêtre d'accueil de l'application :



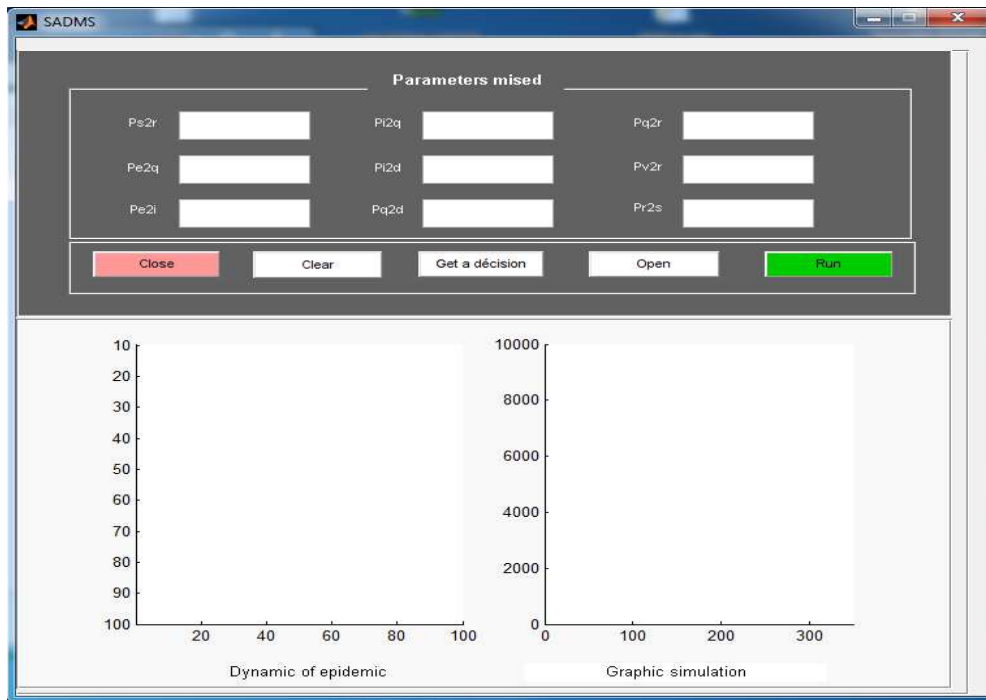
**Figure 4.2.** Fenêtre d'accueil de SADMS

Cette interface est consacrée à la création et le déroulement du système SADMS. En cliquant sur le bouton « Lancement de SADMS», la fenêtre principale de l'application s'affichera pour saisir les différents paramètres de la simulation.

Le bouton « About »: affiche le manuel d'utilisation de SIMAS.

### 4.2. Les Composants de l'interface principale

Le menu du système SIMAS composé par (04) boutons : 'Run', 'open', 'get a decision' et 'close'. La figure suivante illustre cette fenêtre.

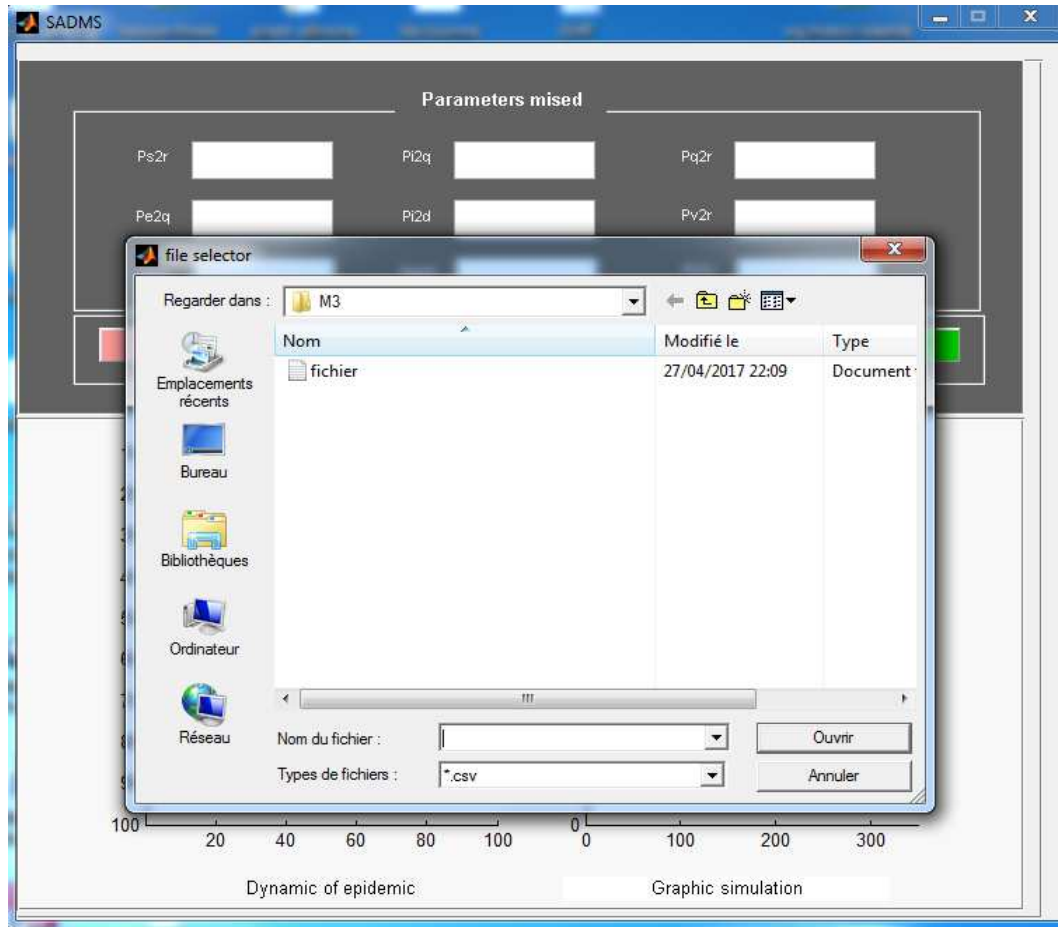


**Figure 4.3.** L'interface principale de SADMS

### **A. Bouton open:**

Avant de lancer la simulation, la partie « Parameters » doit être rempli par des données (probabilités).

Ce bouton permet d'ouvrir tous les fichiers de type texte (.csv) contenant déjà des valeurs de paramètres du système SEIQRS-V.



**Figure 4.4.** Entrer des valeurs de paramètres.

### B. Bouton Run:

Ce bouton permet de lancer une simulation après avoir saisi tous les paramètres du système SEIQRS-V. Nous distinguons trois cas lorsque nous appuyons sur ce bouton :

**1) première cas:** si les champs des paramètres sont vides, dans ce cas, un message s'affichera indiquant que les paramètres ne sont encore saisis.

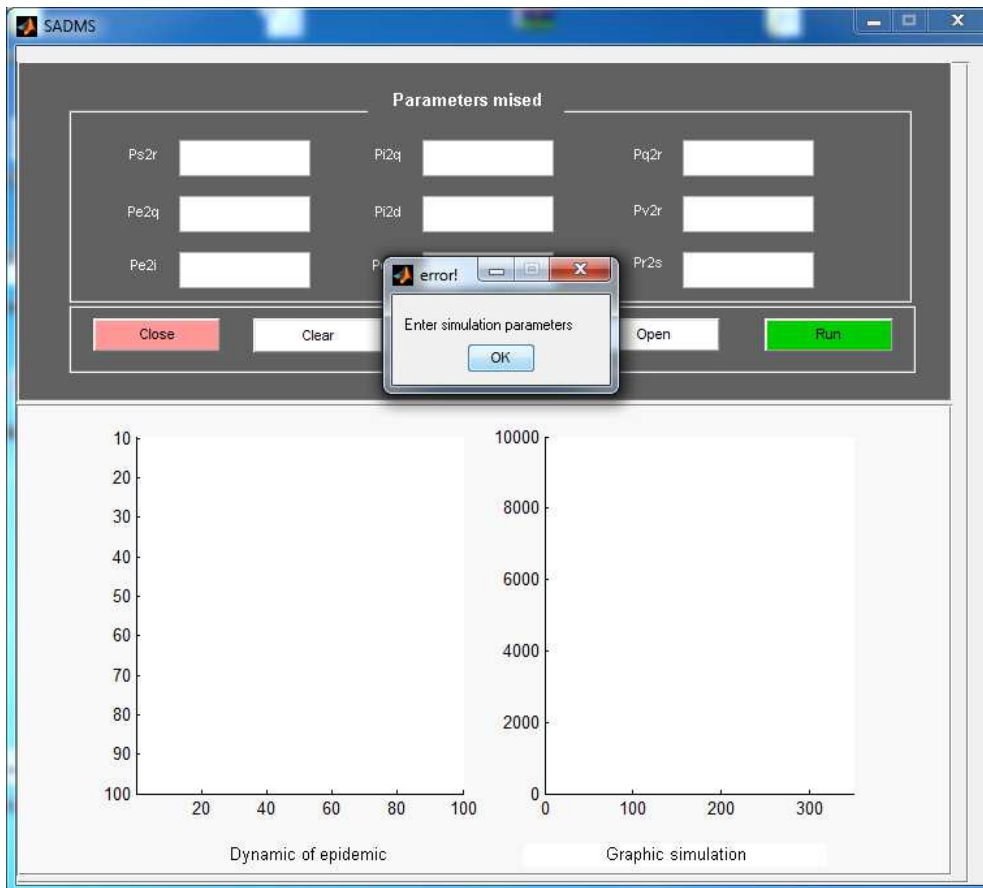


Figure 4.5. Boite de dialogue affichant l'erreur.

**2)deuxième cas:** En cas où l'utilisateur ne entre pas les neuf paramètres ou il oublie de remplir quelques champs, un message s'affichera indiquant qu'il y'a un manque dans les paramètres en entré.

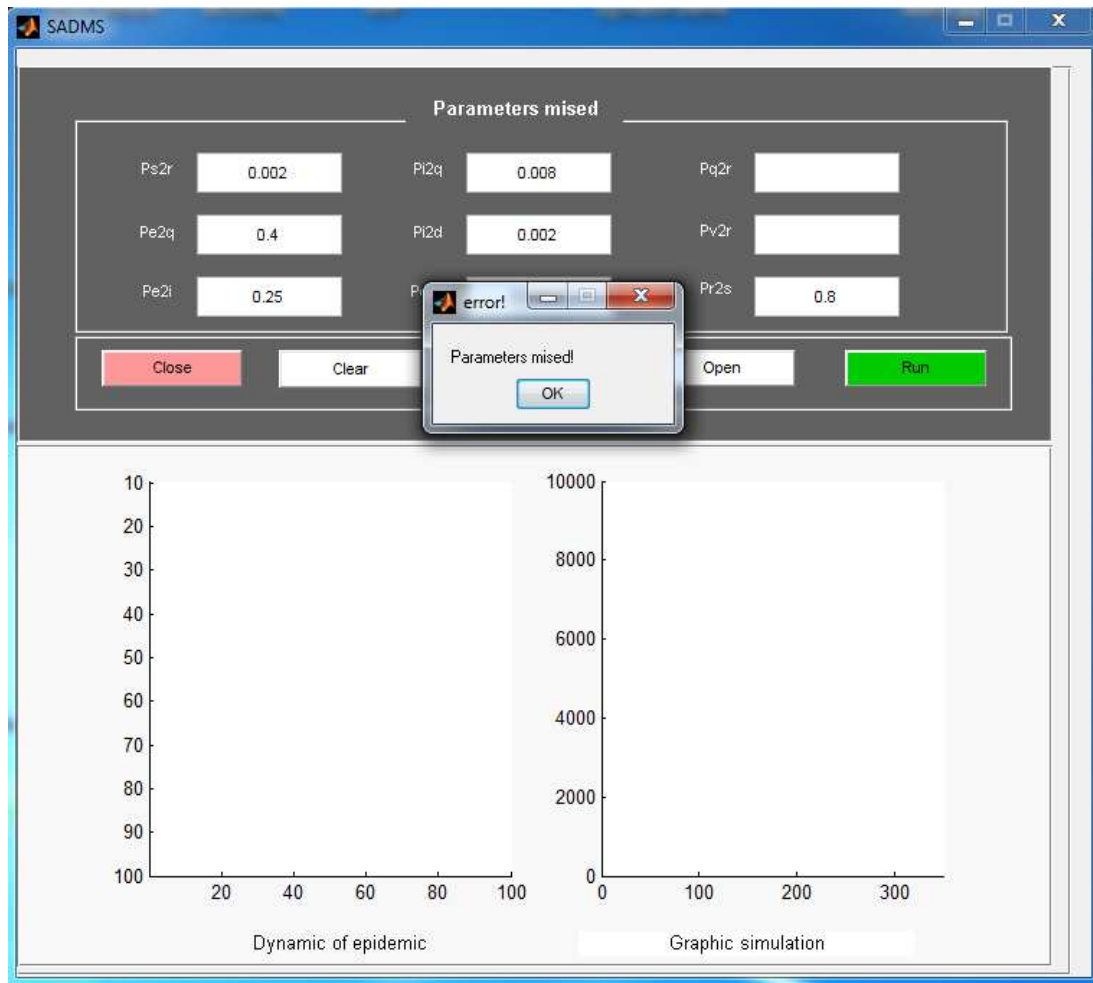


Figure 4.6. Message d’erreur : Manque de paramètres.

3)Troisième cas: Pour lancer une simulation,la saisie des paramètres en entré est primordiale. Les valeurs de paramètres sont déjà vue précédemment (Voir chapitre 3) et sont présenté par :

Paramètre dans le système SEIQRS-V	Paramètre dans notre application
$\rho$	Ps2r

$\alpha$	Pi2q
$\gamma$	Pe2i
$\beta$	Pe2q
$\varphi$	Pi2d
$\eta$	Pq2d
$\Lambda$	Pq2r
$\sigma$	Pv2r
d	Pr2s

Les résultats de la simulation peuvent être affichés selon deux formes :

- Des courbes de simulation : représentant l'évolution des variables d'états (sept variables d'état du système SEIQRS-V) dans le temps,
- Une simulation bitmap : la dynamique de la maladie dans le temps.

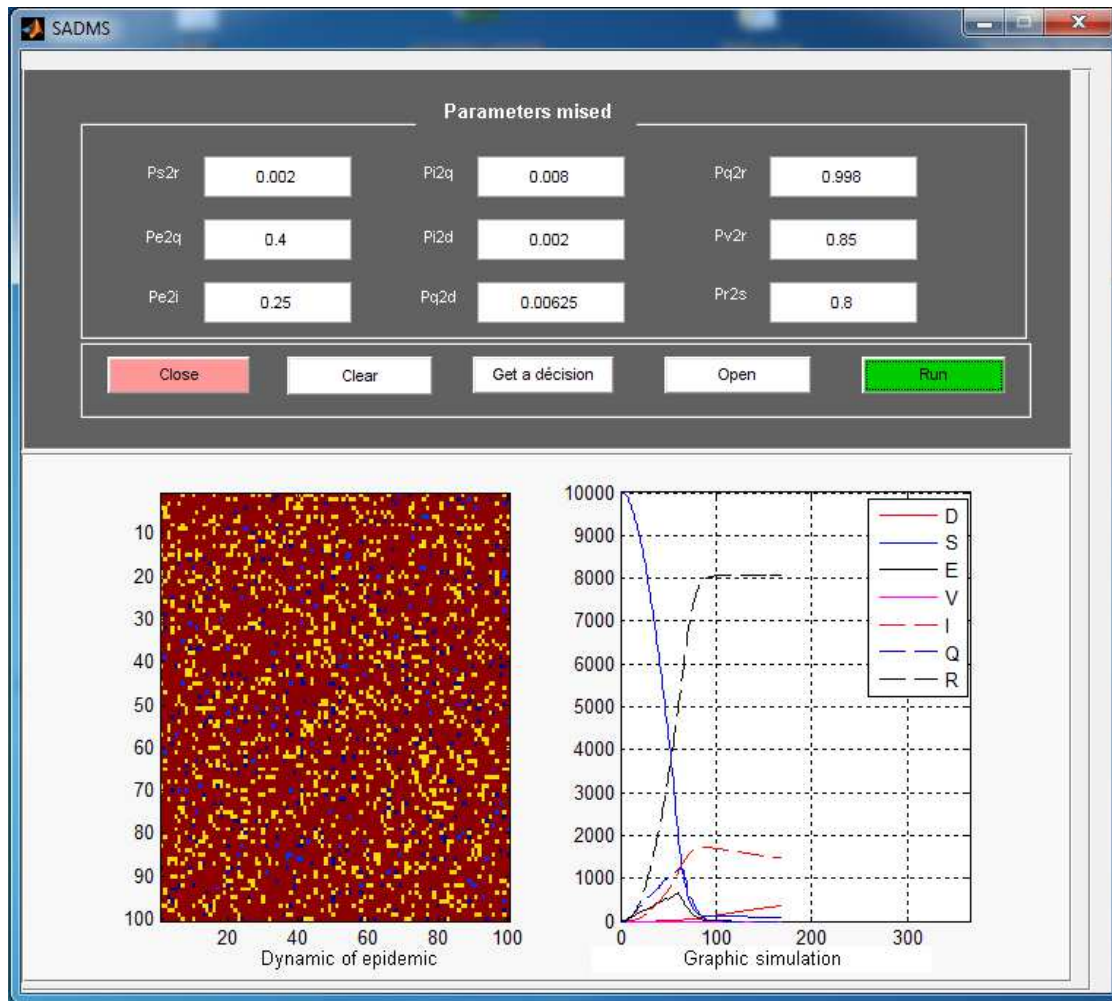


Figure 4.7. La simulation du système SEIQRS-V

**C. Bouton « get a décision » :**

Pour lancer le processus d'aide à la décision, nous appuyons sur le bouton « get a décision ». Une nouvelle interface s'affichera. Cette interface contient un autre bouton 'Use AHP' à travers lequel, nous avons considéré automatique des alternatives suivantes :

- Fermeture anticipée/Réouverture anticipée des écoles(Early Closure Early Reopening)
- Fermeture tardive et prolongée (Late and Prolonged Closure)
- Fermeture de l'école jusqu'à l'arrivée des vaccins (School Closure Until Vaccines Come)

- Attendez jusqu'à l'arrivée des vaccins (Wait Until Vaccines Arrive)

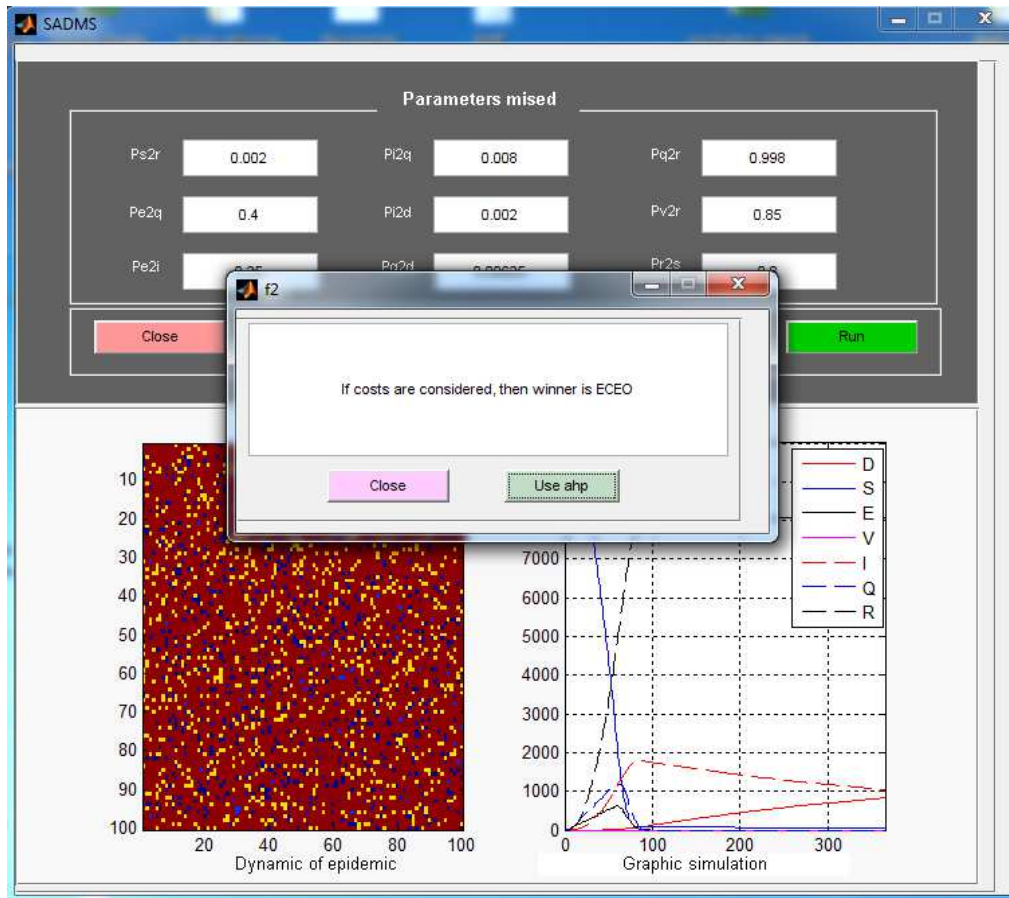


Figure 4.8. La décision finale par l'utilisation d'AHP.

D. Bouton « close » :

Après avoir terminé avec l'application, nous pouvons quitter son interface principale par appuyer sur le bouton « close », un message de confirmation apparaît demande à l'utilisateur de confirmer la sortie ou le retour à l'application.

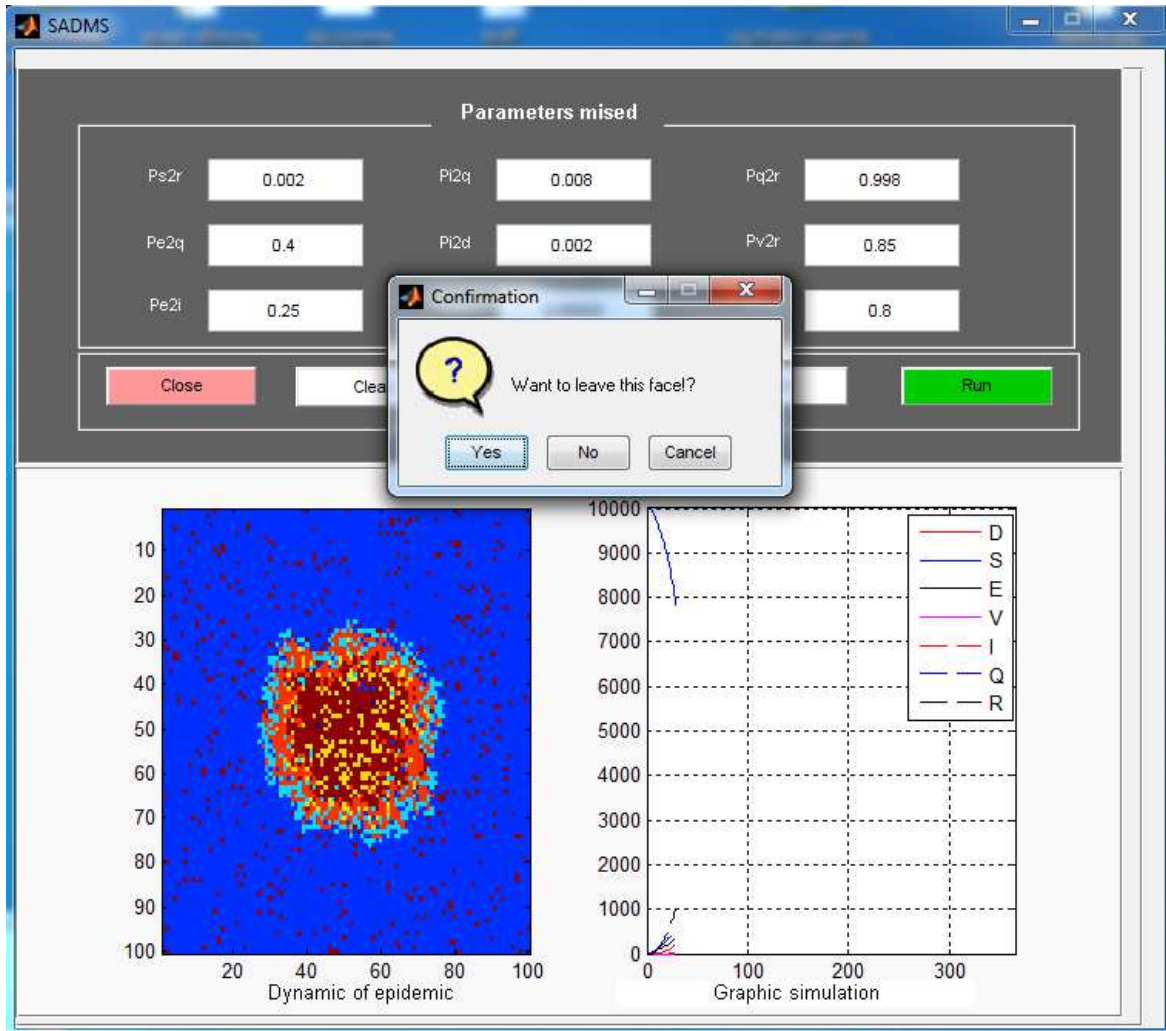


Figure 4.9. Quitter de l'application.

### 5. Conclusion:

Dans ce dernier chapitre nous avons, tous d'abord, présenté notre environnement de travail pour évaluer notre système de Simulation pour la Surveillance d'épidémie (SADMS) proposé, par la suite nous avons détaillé l'implémentation de la stratégie et présenté des résultats de la simulation réalisée.

Le but de ce chapitre est de définir l'application en présentant les fenêtres principales et les états utilisés dans cette application.

## Conclusion Générale et Perspectives

Le travail entrepris dans le cadre de ce travail concerne la modélisation et la simulation des systèmes complexes en général, et le système de propagation d'épidémie en particulier.

La modélisation est un outil largement utilisé pour faciliter l'évaluation des activités de gestion des maladies. L'intérêt des modèles mathématique des épidémies réside dans leur capacité à étudier des scénarios hypothétiques et à fournir aux décideurs des éléments permettant d'anticiper les conséquences de l'incursion d'une maladie et l'impact des stratégies d'intervention. En effet, la modélisation mathématique d'épidémie a pour objectif le suivi et la prévention des problèmes de santé. Sa finalité est donc d'améliorer la santé des populations grâce à une meilleure compréhension et connaissance des maladies.

Toutefois, les résultats fournis par ces modèles ne permettent pas une prise de décision face à une crise de santé ainsi que ces modèles n'intègrent pas les préférences des décideurs (responsables de la santé publique) dans les processus décisionnels. La solution la plus diffusée pour faire évoluer les modèles mathématique d'épidémie vers un vrai outil d'aide à la décision est de les coupler avec les outils de la recherche opérationnelle et en particulier avec l'analyse multicritère (AMC).

A cet effet, l'objectif principal visé par le présent travail de mémoire est de modéliser et élaborer SYstème d'Aide à la décision Multicritères et de Simulation d'épidémies (SADMS) pour le suivi et la compréhension d'épidémie qui permet de simuler la propagation d'épidémie au sein de la population humaine et détecter les foyers épidémique afin de prédire l'évolution future de la maladie.

SADMS permet, en premier lieu, d'appliquer le processus de diffusion d'épidémie via le modèle à compartiment Susceptible-Exposed-Infectious-Quarantine- Recovered-Susceptible avec Vaccination (SEIQRS-V) afin de contrôler et comprendre l'évolution de la maladie dans le temps et dans l'espace. Ensuite, il permet d'utiliser une méthode d'aide à la décision multicritère par la mise en place de la méthode AHP. Enfin, il fournit des résultats de simulation et permet des visualisations de la dynamique de la maladie ainsi que des courbes d'évolution de la maladie.

Nous avons abordé cette problématique à travers quatre chapitres :

1. Dans le premier chapitre, nous sommes intéressés par des généralités sur la modélisation mathématique,
2. Le deuxième chapitre a été consacré à l'exposition des méthodes d'analyse multicritère, en général, et la méthode AHP, en particulier,
3. Dans le troisième chapitre, nous avons décrit notre système SADMS.
4. Dans le quatrième et dernier chapitre, nous avons détaillé la mise en œuvre de l'outil SADMS via des illustrations

## **Perspectives**

Les travaux réalisés dans ce mémoire ouvrent de nouvelles perspectives de recherche intéressante:

1. D'enrichir le système d'aide à la décision proposé par l'intégration des résultats obtenus dans un SIG afin de faciliter la détection des foyers épidémiques;
2. Proposer une méthode de prédiction d'épidémie;
3. Proposer une approche à base d'individu pour meilleure compréhension du mécanisme de propagation.

## BIBLIOGRAPHIE

[Aiello et Freedman,1990] : W. G. Aiello et H. I. Freedman, A time-delay model of single-species growth with stage structure, *Mathematical Biosciences*, 101 (1990), p. 139–153.

[Araz, 2013] :Araz, O. M. (2013). Integrating complex system dynamics of pandemic influenza with a multi-criteria decision making model for evaluating public health strategies. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 22(3), 319-339.

[Ben Amor, 2008] :BenAmor, S. (2008). Percolation, prétopologie et multialéatoires, contributionsa la modélisation des systemes complexes : exemple du contrôle aérien.

Thèse de doctorat, École doctorale de l'École pratique des hautes études (Paris).

[Chakhar.S,2006] :Chakhar, S. (2006). Cartographie décisionnelle multicritère: formalisation et implémentation informatique. PhD thèses, Université Paris Dauphine, France.

[Cauchemez et al.,08] :Cauchemez, S., Valleron, A. J., Boëlle, P. Y., Flahault, A., & Ferguson, N. M. (2008). Estimating the impact of school closure on influenza transmission from Sentinel data. *Nature*, 452(7188), 750-754.

[Jing et al. 2007] : Jing, L. I., Wang, J. F., Wu, C. Y., Yang, Y. T., Ji, Z. T., & Wang, H. B. (2007). Establishment of a risk assessment framework for analysis of the spread of highly pathogenic avian influenza. *Agricultural Sciences in China*, 6(7), 877-881.

[Brans et Vincke,1985]: Brans, J. P., &Vincke, P. (2005). A preference ranking organisation method (The Promethee method for multicriteria decision making) 1985. *Management Science*, (6), 24.

[Kasereka et al, 2014]:Kasereka, S., Kasoro, N., &Chokki, A. P. (2014, November). A hybrid model for modeling the spread of epidemics: Theory and simulation. In *ISKO-Maghreb: Concepts and Tools for knowledge Management (ISKO-Maghreb)*, 2014 4th International Symposium (pp. 1-7). IEEE.

[Kermack et McKendrick, 1927] :Kermack, W. O. et, McKendrick, A.G.(1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. In *Proceedings of the Royal, Society of London A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences* , volume 115,pages 700–721. The Royal Society.

[Keeling et al,2004] : Keeling ,M.Bjornstad,O.etGrenfell,B.(2004).Metapopulation dynamics ofinfectiousdiseases.Ecolody,genetics and evolution of metapopulation.Elsevier,Amdterdam,pages 415-445.

[Mishra et al., 14] :Mishra, B. K., &Srivastava, J. (2014). Mathematical model on pulmonary and multidrug-resistant tuberculosis patients with vaccination. Journal of the EgyptianMathematical Society, 22(2), 311-316.

[Matt et al, 2008] : Matt J. Keeling, PejmanRohani, Modeling Infectious Diseases in Humans and Animals, Princeton University Press and Oxford, USA, 2008.

[Martel, 1988]: Martel, J.M. (1988). Aide à la décision. Document interne, département d'opération et systèmes de décision, université de Laval, Canada.

[NDSSL,2012] : NDSSL,Network Dynamics and Simulation Science Laboratoire, USA, (visité le 04/08/2012),<http://ndssl.vbi.vt.edu/episims.php>.

[Quesnel, 2006] : Quesnel, Approche formelle et opérationnelle de la multi modélisation et de la simulation des systèmes complexes. Apports pour la simulation des systèmes multi-agents, PhDthesis, Université du littoral - Cote d'opale, 1 Dec. 2006.

[Roy,1985] : Roy, B. (1985). Méthodologie multicritère d" aide à la décision. Economica.

[Mousseau,2002]: Mousseau, V. (2002). Using assignment examples to infer category

limits for the ELECTRE TRI method. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 11(1),

29-43.

[Vincke et Roy,1989] : Vincke, P., & Roy, B. (1989). L' aide multicritère à la décision. Ed. de l' Université de Bruxelles.

