

**UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES DHAR EL MAHRAZ
FES**



AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Le Doyen de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz –Fès – annonce que

Mr : **EL ANSARI Youness**

Soutiendra : le **01/02/2020** à **10 H** Lieu : **Centre Polyvalent des Etudes doctorales
(Nouveau bâtiment)**

une thèse intitulée :

*Exploitation des modeles stochastiques et la statistique pour assimiler la propagation des
maladies infectieuses.*

En vue d'obtenir le Doctorat

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

Spécialité : Informatique, Modelisation Stochastique et Statistique

	NOM ET PRENOM	GRADE	ETABLISSEMENT
Président	Pr. BENKIRANE Abdelmoujib	PES	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès
Directeur de thèse	Pr. OMARI Lahcen	PES	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès
Rapporteurs	Pr. NASROLLAH Abdelaziz	PES	Faculté des Sciences - Marrakech
	Pr. EL MAROUFY Hamid	PES	Faculté des Sciences et Techniques - Béni Mellal
	Pr. RAIS Noureddine	PES	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès
Membres	Pr. BENGHABRIT Youssef	PES	Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers - Meknès
	Pr. SEGHIR Driss	PES	Faculté des Sciences - Meknès
	Pr. KIOUACH Driss	PH	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz - Fès

Résumé :

Les maladies infectieuses ont marqué l'histoire humaine en terme de dynamique des populations. L'étude des agents responsables de la propagation des maladies infectieuses a connu un grand développement notamment, depuis le début d'utilisation des modèles compartimentaux, par Kermack et McKendrick. Leurs résultats fructueux ont inspiré de nombreux chercheurs à étendre la théorie des modèles compartimentaux à d'autres domaines, en particulier à la propagation des virus informatiques dans un réseau.

L'objectif principal de cette thèse est de construire, et d'étudier par la suite, des modèles épidémiques permettant de décrire et d'expliquer l'évolution de certains phénomènes, afin de déterminer les paramètres qui contrôlent cette évolution. Aussi, en obtenant un échantillon d'occurrence des variables de ce modèle, nous visons à estimer ses paramètres (ou du moins, les plus influents). L'évaluation en termes de consistance et de normalité asymptotique des estimateurs est également une question intéressante.

Une analyse détaillée d'un modèle mathématique non linéaire et général qui décrit la propagation des virus informatiques dans un réseau protégé a montré, dans sa première partie (l'étude déterministe), que le taux de reproduction de base R_p agit comme un seuil aigu déterminant si la propagation des virus informatiques est devenue endémique. Une version stochastique de ce système a été obtenue en perturbant deux de ses paramètres. Nous avons prouvé que l'augmentation de l'intensité des bruits peut conduire à éliminer les virus avec probabilité un. En inventant une fonction de Lyapunov, nous avons prouvé que le système admet une distribution stationnaire ergodique comme $R_p > 1$ et les fluctuations sont suffisamment faibles. Cela implique la stabilité de la solution au sens stochastique.

L'immigration des personnes infectées par une maladie, a toujours joué un grand rôle dans la dynamique de cette maladie dans la population hôte. Une grande partie de ce travail est consacrée à l'étude d'une version stochastique d'un modèle épidémique SIS dont la matrice associée est dégénérée, et qui contient un flux constant de nouveaux membres, dont une fraction donnée p est infectieuse. Nous avons montré que la solution de ce modèle est stochastiquement bornée de façon ultime et permanente pour toute valeur initiale. Ainsi, l'extinction de la maladie, est extrêmement impossible pour tout $p > 0$. L'étude de l'existence d'une distribution stationnaire en recherchant une fonction de Lyapunov ne suffit pas dans ce cas. L'utilisation de la théorie des semi-groupes est une alternative forte qui assure que, indépendamment des valeurs des paramètres de ce système, l'existence d'une distribution stationnaire unique est garantie.

L'estimation des paramètres du modèle précédent est une nécessité très requise. Nous avons spécifié un chapitre pour estimer par deux techniques différentes certains paramètres de ce modèle. Une étude de consistance et de convergence est donnée pour déterminer le degré de crédibilité de l'estimateur. Une étude de cas sur la propagation du VIH/SIDA au Maroc est présentée comme enquête pratique.

Les différents résultats théoriques ont été illustrés par des simulations par ordinateur à l'aide du logiciel R. Les conclusions et les futures orientations pour chaque chapitre sont données comme motivations.

Mots clés : Maladies infectieuses, Modèles épidémiques, Virus informatiques, Stabilité, Mouvement Brownien, Extinction, Distribution stationnaire, Immigration, Semigroupes de Markov, Noyau continu, Fonction de Khasminski, Estimation des paramètres, Estimateur de maximum de vraisemblance, Consistance, Normalité asymptotique.

THE EXPLOITATION OF STOCHASTIC MODELS AND STATISTICS TO ASSIMILATE THE SPREAD OF INFECTIOUS DISEASES.

Abstract:

Infectious diseases have been shaping human history in terms of population dynamics. The study of agents responsible of the spread of infectious diseases has known a great development especially, from the beginning of the use of compartmental models, by Kermack and McKendrick, in the dawn of the 20th century. Their fruitful resulting backgrounds have been inspiring many researchers to extend the theory of compartmental models to other fields, especially, to the spread of computer viruses into a network.

The main purpose of this thesis is to construct, and then to study, some epidemic models that describe and explain the dynamics of some phenomena, in order to determine the parameters that control this evolution. Also, by obtaining a sample of occurrence of the variables of this model, we aim to estimate their parameters (or at least, the most influential ones). The evaluation in terms of consistency and asymptotic normality of the estimators is also an interesting matter.

A detailed analysis of a general non-linear epidemic model that describes the spread of computer viruses into a protected network showed, in its first part (the deterministic study), that the basic reproduction number R_p acts as a sharp threshold, determining whether the spread of viruses becomes endemic. A stochastic version of this system has been obtained by perturbing two of its parameters. We have proved that, enlarging the intensities of noises conducts to eliminate the viruses with probability one. By inventing a Lyapunov function, we have proved that the system has an ergodic stationary distribution as $R_p > 1$ and the fluctuations are sufficiently small. Accordingly, we get the stability of the solution in a stochastic sense.

The Immigration of infected peoples with a disease, has been playing a great role in the dynamics of this disease into the host population. A great part of this work is devoted to investigate a stochastic version of a SIS epidemic model with an associated degenerate diffusion matrix and which contains a constant flow of new members, of whom a specified fraction p is infective. We have showed that the solution of this model is stochastically ultimate bounded and permanent for any initial value. Thus, the extinction of the disease is extremely not possible for any $p > 0$. Studying the existence of a stationary distribution by looking for a Lyapunov function is not sufficient in this case. The use of the semigroup theory is a strong alternative, which ensure that regardless of the values of its parameters, the existence of a unique stationary distribution for the solution of this model is guaranteed.

The parameter estimation of the previous model is a very interesting required issue. We have specified a chapter in this thesis to estimate by two different techniques some parameters of this model. A consistency and convergence study is given to determine how credible the estimators are. A case study of the spread of HIV/AIDS in Morocco is presented as a practical investigation.

The various theoretical results for each chapter have been illustrated with computer simulations using the R software. Conclusions and future directions are given as motivations.

Key Words: Infectious diseases, Epidemic models, Computer viruses, Stability, Brownian motion, Extinction, Stationary distribution, Immigration, Markov semigroups, Continuous kernel, Khasminskii function, Parameter estimation, Maximum likelihood estimator, Consistency, Asymptotic normality.