Nom et Prénom : EL KHALIFI MOHAMED
Date de soutenance : 14/06/2021
Directeur de Thèse : EL FATINI MOHAMED

Sujet de Thèse :

Statistics, Stationary Distribution and Markovian Switching for Stochastic Differential Equations in Epidemiology & Simulations using R software

Résumé :

Cette thèse étant consacrée à l'étude des modèles stochastiques en épidémiologie a pour objectifs, d'une part, l'estimation des paramètres des modèles compartimentaux pour des maladies infectieuses tels que le Covid-19 et l'influenza avec une approche Bayesienne, et d'autre part, la détermination d'une version stochastique du nombre de reproduction de base pour des modèles avec rechute. Deux types de stochasticité ont été introduits afin de formuler la dynamique de la population sous forme des équations différentielles stochastiques, à savoir le bruit démographique et le bruit environmental incorporant le bruit blanc et le bruit télégraphique.

Plusieurs aspects ont été inclus dans les modèles étudiés, la rechute non-linéaire, le retard distribué, et la non-linéarité de la force d'infection. On a également adressé des cas plus concrèts tels que l'évolution temporelle des paramètres et les données partiellement observées. En plus de la détermination des expressions explicites des loi à posteriori des paramètres des modèles stochastiques pour le Covid-19 et l'influenza, nous avons aussi discuté l'efficacité des algorithmes proposés dans la modélisation de ces épidémies.

La présente thèse démontre que l'introduction des bruits externes au modèles déterministes pour la propagation des épidémies contribue à l'extinction des maladies infectieuses. Elle prouve également l'existence d'une distribution stationnaire pour la dynamique des modèles stochastiques avec réactivation d'infection dans le cas de la persistance, graçe à l'approche de Khasminskii et de la théorie du semi-group de Markov. Les résultats théoriques obtenus sont illustrés par des exemples et des simulations numériques.

Mots clés : Équation différentielle stochastique - Inférence Bayesienne - Chaîne de Markov - Distribution stationnaire - Extinction et persistance - Covid-19.

Abstract :

This thesis is dedicated to the study of stochastic models in epidemiology. The objectives are, on the one hand, to estimate the parameters of compartmental models for infectious diseases such as Covid-19 and influenza using a Bayesian approach, and on the other hand, to determine a stochastic version of the basic reproduction number for epidemic models with relapse. To types of stochasticity were introduced to formulate the dynamical population model as a system of stochastic differential equations, namely, demographic noise and environmental noise that includes white noise and telegraph noise.

Several aspects were introduced in the studied epidemic models including nonlinear relapse, distributed delay, and nonlinearity of the force of infection. More specific cases such as timevarying parameters and partially observed data were also addressed. Besides the determination of explicit expressions of the posterior distributions of stochastic model parameters for Covid-19 and influenza, we also discussed the effictiveness of the proposed algorithms in modelling these outbreaks.

This thesis demonstrates that introducing external noises to deterministic models for the spread of epidemics contributes to the extinction of infectious diseases. Thanks to the Khasminskii approach and the Markov semi-group theory, in the case of persistence, it also proves the existence of a stationary distribution for the dynamics of stochastic models with

relapse and reactivation of infection. The results obtained through stochastic analysis are illustrated by examples and simulations.

Keywords: Keys : Stochastic differential equation - Bayesian Inference - Markov chain - Stationary distribution - Extinction and persistence - Covid-19