



## THESE

**SUJET** : Modélisation de l'impact de l'environnement sur la propagation de la fièvre typhoïde à Mayotte et construction d'outils d'aide à la décision pour la gestion des maladies hydriques.

**PORTEURS** : Agence Régionale de Santé de Mayotte, Université de Montpellier, Centre universitaire de Mayotte

**DUREE** : 3 ans

**ENCADREMENT** : Benoîte Saporta (IMAG), Solym Manou Abi (IMAG), Julien Balicchi (ARS)

**Lieu de Travail** : IMAG Montpellier

**Début de la thèse** : automne 2024

**Critère d'éligibilité** : Titulaire d'un master 2 en statistique ou probabilité

## CONTEXTE

La question de l'accès à l'eau potable est cruciale pour Mayotte qui connaît cette année une sécheresse sans précédent. En 2023, environ 310 000 habitant-es vivent sur le territoire dont la moitié est âgée de moins de 18 ans. Un-e habitant-e sur trois n'a pas accès à l'eau à l'intérieur de son logement et irait s'alimenter chez un-e voisin-e, à une borne fontaine monétique (BFM), au puits ou encore à la rivière et peut recourir à un stockage de l'eau dans des conditions douteuses [BAB+23]. Par ailleurs, des coupures d'eau 2 jours sur 3 sont en place depuis septembre [SPF23]. A ce contexte de très forte précarité s'ajoute l'absence d'un système d'assainissement de qualité.

La fièvre typhoïde est une maladie endémique à Mayotte dont la déclaration est obligatoire. Elle est causée par une bactérie et se transmet par ingestion de boissons ou d'aliments souillés par les selles d'une personne infectée. Sa transmission est donc fortement liée au niveau d'hygiène de la population et à la présence de réservoirs d'eau contaminée [SPF22]. Entre 2018 et 2022, 299 cas ont été recensés sur l'île.

Le but de ce projet est d'analyser et de mesurer l'impact de la pluviométrie et plus généralement de l'accès à l'eau sur la propagation de la fièvre typhoïde à Mayotte. L'absence de pluies pourrait être bénéfique par la diminution des réservoirs d'eau contaminée, mais les restrictions d'eau pourraient entraîner des baisses du niveau d'hygiène menant au contraire à une hausse des cas.

## OBJECTIFS DE LA THESE

La famille de modèles proposés est celle des processus Markoviens déterministes par morceaux (PDMP) [D93,RTK17,C17] qui sont une large classe de processus permettant de prendre simultanément en compte des évolutions stochastiques et déterministes, différentes échelles de taille de population (locale, globale) et l'évolution des covariables d'intérêt (accès à l'eau, pluviométrie, ...).

La première étape sera d'enrichir les modèles proposés lors de la thèse précédentes en prenant en compte le fait que la calibration de ces modèles est un problème difficile en général [AB18], surtout en présence de variables cachées [B23]. En particulier, on explorera en détails les liens entre les cas de typhoïde et la pluviométrie dans diverses familles de modèles (PDMP, modèles linéaires généralisés, séries chronologiques).

La seconde étape sera la calibration de ces modèles sur les données de Mayotte. Plusieurs jeux de données pourront être exploités conjointement pour estimer les paramètres des modèles : données issues des formulaires de déclaration de la fièvre typhoïdes, données issues de l'enquête EpiMay (questionnaire et collecte de 2 000 prélèvements sanguins sur des pathologies diverses dont la), données de typologie des types d'habitats et des habitudes sanitaires, données météo. On pourra en particulier réfléchir à l'adaptation des paramètres aux caractéristiques spécifiques des différentes zones géographiques.

La troisième étape sera l'exploitation de ces modèles pour calculer des probabilités d'événements redoutés (nombre de cas simultanés élevé, saturation hospitalière), simuler des scénarios réalistes en cas d'amélioration ou de détérioration d'un accès à de l'eau potable pour mesurer les impacts de différentes politiques de gestion de l'eau, identifier des seuils critiques à ne pas franchir pour les paramètres clés. On étudiera également la possibilité d'ajuster les paramètres en fonction de caractéristiques locales à une échelle spatiale plus fine que celle de l'île.

La dernière étape sera de lister les leviers possibles pour influencer le développement des épidémies, quantifier leur impact, et produire des outils d'aide à la décision optimisés (contrôle stochastique). Selon les données disponibles, la méthodologie développée pourra être étendue à d'autres maladies oro-fécales.

### PRE-REQUIS ET COMPETENCES RECHERCHEES

Titulaire d'un Master de 2 de statistique ou probabilité : processus de Markov, séries temporelles, modèles linéaires généralisés, statistique des processus, statistique multivariée, maîtrise de R ou Python, autonomie, rigueur.

### BIBLIOGRAPHIE

- [AB18] Romain Azaïs, Florian Bouquet (eds.) (2018) Statistical inference for piecewise-deterministic Markov processes, ISTE – Wiley.
- [BAB+23] J. BALICCHI, R. ANTOINE, D. BRETON, C-V MARIE, E. MARIOTTI (2023) Enquête MIGRATIONS-FAMILLE VIEILLISSEMENT : ETAT DE SANTÉ ET COUVERTURE SANTÉ À MAYOTTE, Plateforme d'Information des Etudes en Santé <https://www.mayotte.ars.sante.fr/media/111362/download>
- [B23] I. Bouzalmat, Modélisation probabiliste de la dynamique de transmission de la fièvre typhoïde à Mayotte avec étude de risques épidémiques, these, Université de Montpellier 2023.
- [BdSMA23] I. Bouzalmat, B. de Saporta, S. Manou-Abi. (2023) Parameter estimation for a hidden linear birth and death process with immigration, Arxiv 2303.00531
- [C17] Cloez B. et al (2017). Probabilistic and Piecewise deterministic models in Biology. ESAIM: PROCEEDINGS AND SURVEYS, Vol. 60, p. 225-245
- [D93] MHA. Davis. (1993) Markov models and optimization, volume 49 of Monographs on Statistics and Applied Probability. Chapman & Hall, London.
- [RTK17] R. Rudnicki and M. Tyran-Kaminska (2017). Piecewise deterministic Markov processes in biological models. Springer.
- [SPF22] Cellule Mayotte de Santé publique France (2022) Fièvre typhoïde à Mayotte <https://www.santepubliquefrance.fr/content/download/463484/3584807?version=1>
- [SPF23] Cellule Mayotte de Santé publique France (2023) Pénurie d'eau à Mayotte, Point au 6 octobre 2023 <https://www.santepubliquefrance.fr/content/download/571760/4060028?version=3>
- [WE15] CH Watson, WJ Edmunds (2015). A review of typhoid fever transmission dynamic models and economic evaluations of vaccination. Vaccine 33, 42-54

### ENCADREMENT

Benoîte de SAPORTA, Professeuse à l'Université de Montpellier, IMAG Email: [benoite.de-saporta@umontpellier.fr](mailto:benoite.de-saporta@umontpellier.fr) Page web: <https://imag.umontpellier.fr/~saporta/>

Solym MANOU-ABI, Maître de conférences à l'Université de Mayotte, IMAG Email: [solym.manou-abi@univ-mayotte.fr](mailto:solym.manou-abi@univ-mayotte.fr) Page web: <https://sites.google.com/view/solymmanou-abi/home>

Julien BALICCHI, Ingénieurs d'études statistiques, ARS de Mayotte Email : [julien.balicchi@ars.sante.fr](mailto:julien.balicchi@ars.sante.fr)

### CANDIDATURE

Candidatures via l'école doctorale : <https://edi2s.umontpellier.fr/> rubrique Offres de thèse, Spécialité Biostatistique