

Étude d'une méthode probabiliste d'estimation de paramètres pour un modèle continu de dynamique de population océanique

Encadrants : Benoît Delahaye et Guillaume Cantin – `prenom.nom@1s2n.fr`
AeLoS – Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes UMR 6004

Contexte

Dans un contexte international fortement marqué par le réchauffement climatique, la protection des écosystèmes océaniques constitue un enjeu majeur, concernant notamment la préservation des cycles naturels de séquestration du carbone. Un effort scientifique pluridisciplinaire est engagé depuis quelques années, afin d'expliquer les mécanismes complexes liant les dynamiques de climat à celles des écosystèmes océaniques. De nombreux modèles mathématiques visant à décrire ces dynamiques complexes sont étudiés. La vérification des propriétés de ces modèles, qu'ils soient discrets ou continus, déterministes ou probabilistes, constitue un axe de recherche essentiel.

Le model-checking statistique (SMC) [LDB10] est une méthode de vérification formelle de modèles permettant d'estimer formellement la probabilité avec laquelle un modèle donné satisfait un ensemble de propriétés. Cette méthode, particulièrement intéressante pour les modèles complexes de grande taille, a été en particulier utilisée pour paramétriser un modèle discret probabiliste de croissance pour la méduse *Pelagia Noctiluca* [REG⁺20]. Une version paramétrique et symbolique du SMC a aussi été développée récemment, et appliquée dans le cadre de l'étude de la trajectoire de drones de spectacles [BAD⁺19]. Malgré tous les avantages de cette méthode, l'utilisation du SMC en pratique reste limitée par son cadre théorique restreint aux modèles discrets stochastiques.

Objectifs du stage

L'objectif principal du stage consiste à étendre le champ d'application de la méthode SMC présentée ci-dessus à des modèles continus stochastiques, définis à partir d'équations différentielles [MIC14, WTL21]. Une telle extension permettra alors d'ouvrir le champ applicatif de la méthode à des modèles plus ambitieux, utilisés entre autres dans l'impact de la biologie océanique sur le changement climatique.

L'étudiant.e devra d'abord se familiariser avec la méthode SMC en menant une lecture approfondie de l'article de recherche [REG⁺20]. Dans un second temps, l'étudiant.e sera guidé.e pour appliquer la méthode SMC à la vérification d'un modèle continu de croissance logistique d'une population de méduses *Aurelia aurita*. Cette vérification s'appuiera sur des données statistiques disponibles dans la littérature. La mise en œuvre pratique de la méthode SMC se traduira par l'écriture d'un code de calcul numérique, écrit en langage Python et utilisant les bibliothèques scientifiques `numpy` et `scipy`.

Suivant l'avancée théorique et technique l'étudiant.e pourra au choix formaliser le cadre et les hypothèses nécessaires à l'extension de la méthode SMC dans le domaine plus général des systèmes continus stochastiques en s'inspirant des résultats présentés dans [DHS18], et/ou étendre la méthode SMC à un second modèle continu, décrivant les stades de croissance de la méduse *Scyphozoa*, déterminé par un système différentiel non linéaire.

- Compétences espérées.
Solides connaissances en informatique et mathématiques. Intérêt pour les sciences du vivant, en particulier les écosystèmes océaniques. Capacité à travailler en équipe.
- Suivant les résultats obtenus, une poursuite en thèse sur le sujet sera envisageable sous condition d'obtention d'une bourse.

Références

- [BAD⁺19] Ran Bao, J. Christian Attiogbé, Benoît Delahaye, Paulin Fournier, and Didier Lime. Parametric statistical model checking of UAV flight plan. In *Formal Techniques for Distributed Objects, Components, and Systems - 39th IFIP WG 6.1 International Conference, FORTE 2019, Held as Part of the 14th International Federated Conference on Distributed Computing Techniques, DisCoTec 2019, Kongens Lyngby, Denmark, June 17-21, 2019, Proceedings*, volume 11535 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 57–74. Springer, 2019.
- [DHS18] Pedro R. D’Argenio, Arnd Hartmanns, and Sean Sedwards. Lightweight statistical model checking in nondeterministic continuous time. In Tiziana Margaria and Bernhard Steffen, editors, *ISoLA ’18*, volume 11245 of *LNCS*, pages 336–353. Springer, 2018.
- [LDB10] Axel Legay, Benoît Delahaye, and Saddek Bensalem. Statistical model checking: An overview. In *International conference on runtime verification*, pages 122–135. Springer, 2010.
- [MIC14] Valentina Melica, Sergio Invernizzi, and Gabriella Caristi. Logistic density-dependent growth of an *Aurelia aurita* polyps population. *Ecological Modelling*, 291:1–5, 2014.
- [REG⁺20] Simon Ramondenc, Damien Eveillard, Lionel Guidi, Fabien Lombard, and Benoit Delahaye. Probabilistic modeling to estimate jellyfish ecophysiological properties and size distributions. *Scientific reports*, 10(1):1–13, 2020.
- [WTL21] Zin Thu Win, Boping Tian, and Shengqiang Liu. Asymptotic behaviors of jellyfish model with stage structure. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 18(3):2508–2526, 2021.