

## An Introduction to Undergraduate Research in Computational and Mathematical Biology

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Editors:</b>          | Hannah Callender Highlander, Alex Capaldi & Carrie Diaz Eaton |
| <b>Publisher:</b>        | Birkhäuser Basel  |
| <b>Publication Date:</b> | February 2020   |
| <b>Number of Pages:</b>  | 481   |
| <b>Format:</b>           | Hardcover   |
| <b>Edition:</b>          | 1   |
| <b>Series:</b>           | Foundations for Undergraduate Research in Mathematics         |
| <b>Price:</b>            | \$69,99   |
| <b>ISBN:</b>             | 978-3-030-33644-8   |
| <b>Category:</b>         | Contributed Work  |

It is widely acknowledged that providing undergraduate students in mathematics with a genuine research experience contributes positively to academic progress and perseverance as well as fostering the development of skills that will provide a sufficient complement to those generally developed in the regular program. However, identifying and formulating problems that are of interest for the scientific community and are also suitable for examination by students with limited prior knowledge, and implementing such a research program requires an investment in time and effort on the part of professors that may be prohibitive.

The main goal of this collective book is to provide undergraduates with a marked interest in computational and mathematical biology with the tools that they need to be able to undertake research without it becoming a burden for the supervisor and a demoralizing experience for the students. To that end, ten groups of researchers who have stood out for the quality of the supervision they have provided to undergraduate students were invited to formulate proposals for research projects located at the intersection of biology and mathematics.

Each of the ten chapters that make up this book starts with an introductory explanation in which the notions and mathematical methods that will be at the core of the described research projects are presented. Great attention has been placed on formulating these introductory explanations so that any student with certain basic knowledge in linear algebra, probability and differential equations can progress smoothly either independently, or with minimal guidance. Those few chapters requiring certain more advanced prerequisites (mainly in high-level programming such as R, Python and MATLAB) explicitly mention that fact on the very first page.

Each chapter contains a certain number of examples, exercises, and more challenging problems. Also included is a detailed list of open problems that could be the subject of a research project that all signs would lead one to believe are within the capabilities of undergraduate students. Each of these chapters is enriched with a complete bibliography. Lastly, in most of the chapters, examples of complete and annotated codes are made available to students (either directly in the text or in an appendix or on a website).

Chapters 1–4 present to the reader various applications of methods for re-

solving ordinary differential equations to epidemiological or ecological models. Chapters 5–7 address biological networks and classes of computational models for simulating actions and interactions of autonomous agents. The applications addressed include gene regulatory networks and the development of resistance to antibiotics in bacteria. Lastly, chapters 8–10 provide an introduction to various other computational methods for which the applications include the study of wave movements produced by a type of cilia lining the bronchial tubes and identifying bird species from analyzing their songs.

This volume also provides a rigorous but accessible presentation of the rudiments of numerous subjects that are generally not in an undergraduate university program, such as hidden Markov models, bifurcation theory, multiresolution analysis and wavelet transformation and convolutive neural networks. This broad range of mathematical fields covered offers students multiple options to undertake research in computational and mathematical biology.

*Frederic Morneau-Guerin is a professor in the Department of Education at Universite TELUQ. He holds a Ph.D. in abstract harmonic analysis.*

## An Introduction to Undergraduate Research in Computational and Mathematical Biology

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>Éditeurs:</b>            | Hannah Callender Highlander, Alex Capaldi & Carrie Diaz Eaton |
| <b>Maison d'édition:</b>    | Birkhäuser Basel  |
| <b>Date de publication:</b> | Février 2020  |
| <b>Nombre de pages:</b>     | 481   |
| <b>Format:</b>              | Hardcover   |
| <b>Édition:</b>             | 1   |
| <b>Séries:</b>              | Foundations for Undergraduate Research in Mathematics         |
| <b>Prix:</b>                | \$69,99   |
| <b>ISBN:</b>                | 978-3-030-33644-8   |

Il est communément admis que d'offrir aux étudiants de premier cycle en mathématiques une véritable expérience en recherche contribue positivement à la motivation et à la persévérance scolaire en plus de favoriser le développement de compétences qui complètent adéquatement celles qui sont généralement développées dans le cadre des programmes d'études réguliers. Cependant, identifier et formuler des problèmes qui sont d'intérêts pour la communauté scientifique tout en se prêtant à être étudié par des étudiants aux connaissances préalables limitées puis mettre en œuvre un tel programme de recherche requièrent, de la part des professeurs, un investissement de temps et d'efforts qui peut être prohibitif.

L'objectif principal de cet ouvrage collectif est de fournir aux étudiants de premier cycle ayant un intérêt marqué pour la biologie mathématique et computationnelle les outils dont ils ont besoin pour pouvoir entreprendre des recherches sans que cela ne devienne un fardeau pour le superviseur et une expérience démoralisante pour l'étudiant. À cette fin, dix groupes de chercheurs s'étant illustrés par la qualité de l'encadrement qu'ils ont offert à des étudiants de premier cycle ont été invités à formuler des propositions de projet de recherche situés à l'intersection de la biologie et des mathématiques.

Chacun des dix chapitres qui compose cet ouvrage débute par un exposé introductif dans lequel sont présentés les notions et méthodes mathématiques qui seront au cœur projets de recherches décrits. Une grande attention a été portée à formuler ces exposés introductifs de manière à ce que tout étudiant ayant certaines connaissances de base en algèbre linéaire, en probabilité et en équations différentielles puisse progresser harmonieusement de façon autonome ou avec un guidage minimal. Les quelques chapitres requérant certains prérequis plus avancés (en programmation dans un langage de haut niveau tel que R, Python ou MATLAB) en font mention explicitement dès la toute première page. Chaque chapitre comporte un certain nombre d'exemples, d'exercices visant à aider les élèves à assimiler les notions et les méthodes abordées, et de problèmes plus ardues. On dresse ensuite une liste détaillée de problèmes ouverts pouvant faire l'objet d'un projet de recherche dont tout porte à croire qu'il sera à la portée des étudiants de premier cycle. Chacun de ces chapitres est enrichi d'une bibliographie complète. Enfin, dans la majorité des chapitres, on met à la disposition des étudiants (soit directement dans le texte ou en annexe, soit

sur un site internet) des exemples de codes complets et annotés.

Les chapitres 1–4 présentent au lecteur diverses applications de méthodes de résolution d'équations différentielles ordinaires à des modèles épidémiologiques ou écologiques. Les chapitres 5–7 traitent quant à eux de réseaux biologiques et de classes de modèles de calcul visant à simuler les actions et les interactions d'agents autonomes. Les applications abordées incluent notamment les réseaux régulateurs de gènes et le développement de la résistance aux antibiotiques chez les bactéries. Enfin, dans les chapitres 8–10 on propose une introduction à diverses autres approches computationnelles dont les applications incluent l'étude des mouvements ondulatoires produits par un type de cil tapissant les bronches et l'identification d'espèces d'oiseaux à partir d'une analyse de leurs chants.

Ce volume présente également, de façon rigoureuse mais néanmoins accessible, les rudiments de nombreux sujets qui ne figurent généralement pas au programme de premier cycle universitaire, comme les modèles de Markov cachés, la théorie des bifurcations, l'analyse multirésolution et la transformée en ondelettes, les réseaux de neurones convolutifs. Cette grande diversité des champs mathématiques couverts et des domaines d'applications présentée offre aux étudiants de multiples options pour entreprendre des recherches en biologie mathématique et computationnelle.