

PLAN DE COURS

FOR-7046 : Modèles hiérarchiques et inférence bayésienne pour les sciences naturelles

NRC 15003 | Hiver 2022

Préalables : FOR 7044	
Mode d'enseignement : Présentiel	
Temps consacré : 3-0-6	Crédit(s) : 3

Ce cours vise à développer des aptitudes d'analyse statistique avancée de données provenant des sciences naturelles. Divers types de modèles hiérarchiques sont présentés tels que les modèles mixtes linéaires, les modèles mixtes linéaires généralisés et les approches permettant d'estimer la présence ou l'abondance d'organismes lorsque la probabilité de détection est imparfaite. Le cours s'appuie sur l'estimation de paramètres à partir du maximum de vraisemblance et des approches bayésiennes basées sur des chaînes de Markov Monte-Carlo (MCMC). Le cours encourage la recherche reproductible en permettant d'intégrer le code R dans les documents à l'aide des systèmes LaTeX et Markdown.

Cette activité est offerte en présentiel sur le campus.

Plage horaire

Cours en classe		
jeudi	09h00 à 11h50	Du 10 janv. 2022 au 22 avr. 2022

Il se peut que l'horaire du cours ait été modifié depuis la dernière synchronisation avec Capsule. [Vérifier l'horaire dans Capsule](#)

NB: Étant donné la situation sanitaire, le cours se déroulera à distance dès le début de la session pendant la même plage horaire en version synchrone (en temps réel) et sans enregistrements. Nous reviendrons en mode présentiel à partir de février si les conditions le permettent.

Site de cours

<https://sitescours.monportail.ulaval.ca/ena/site/accueil?idSite=137689>


Coordonnées et disponibilités

Marc J. Mazerolle
Enseignant
marc.mazerolle@sbf.ulaval.ca

Disponibilités
Consultations sur rendez-vous seulement.

Soutien technique

Équipe de soutien - Systèmes technopédagogiques (BSE)

<http://www.ene.ulaval.ca> 

418-656-2131 poste 414331

Sans frais: 1-877 7ULAAVAL, poste 414331

Automne et hiver	
Lundi au jeudi	8 h à 19 h
Vendredi	8 h à 17 h 30
Été	
Lundi au jeudi	8 h à 17 h
Vendredi	8 h à 16 h

Sommaire

Description du cours	4
Introduction	4
Objectifs généraux	4
Approche pédagogique	4
Étudiant ayant un handicap, un trouble d'apprentissage ou un trouble mental	4
Contenu et activités	4
Évaluation et résultats	5
Évaluation des apprentissages	5
Informations détaillées sur les évaluations sommatives	6
Exercice - Introduction à l'analyse bayésienne	6
Exercice - Modèle mixte linéaire	6
Exercice - Analyse d'occupation de sites	6
Présentation orale de fin de session	7
Évaluation des coéquipiers	7
Évaluation individuelle	7
Informations détaillées sur les évaluations formatives	7
Présentation orale du jeu de données, dispositif, objectifs et type d'analyse	7
Barème de conversion	8
Règles disciplinaires contre la tricherie et le plagiat	8
Correction linguistique, retard et présentation des travaux	8
Utilisation d'appareils électroniques pendant une séance d'évaluation	9
Absence aux examens	9
Étudiants ayant une situation de handicap liée à une limitation fonctionnelle	9
Matériel didactique	10
Matériel obligatoire	10
Matériel complémentaire	10
Bibliographie	10
Bibliographie	10

Description du cours

Introduction

FOR-7046: Modèles hiérarchiques et inférence bayésienne pour les sciences naturelles

Mode d'enseignement : Présentiel

Crédits : 3

Ce cours de statistiques avancé s'adresse aux étudiants de deuxième et de troisième cycles et est ouvert aux étudiants de différentes facultés, telles que la faculté de foresterie, de géographie et de géomatique, la faculté des sciences et de génie et la faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation.

Objectifs généraux

Ce cours vise:

- à développer des aptitudes d'analyse statistique avancée.
- à développer l'indépendance et l'originalité dans la solution de problèmes statistiques complexes.
- à développer une méthode de travail cohérente avec la philosophie de la recherche reproductible.

Approche pédagogique

Le cours comprend des exposés magistraux entrecoupés d'exercices.

Trois exercices seront à remettre.

Les exercices sont réalisés à l'aide du langage R , ainsi que BUGS ou JAGS .

Le cours comprend également un travail de fin de session réalisé en équipe qui consistera en l'analyse d'un jeu de données fourni par une agence gouvernementale. L'équipe agira comme consultant statistique afin d'atteindre les objectifs fixés par l'agence. Ce travail sera présenté à l'oral.

Étudiant ayant un handicap, un trouble d'apprentissage ou un trouble mental

Les étudiants qui ont une lettre d'Attestation d'accommodations scolaires obtenue auprès d'un conseiller du secteur Accueil et soutien aux étudiants en situation de handicap (ACSESH) doivent rencontrer leur professeur au début de la session afin que des mesures d'accommodation en classe ou pour les évaluations puissent être organisées. Ceux qui ont une déficience fonctionnelle ou un handicap, mais qui n'ont pas cette lettre doivent contacter le secteur ACSESH au 656-2880, le plus tôt possible.

Le secteur ACSESH vous recommande fortement de vous prévaloir des services auxquels vous avez droit afin de pouvoir réussir vos études, sans discrimination ni privilège. Pour plus d'information, voir la Procédure de mise en application des mesures d'accommodations scolaires à l'adresse suivante : <https://www.aide.ulaval.ca/situation-de-handicap/presentation/>



Contenu et activités

Le tableau ci-dessous présente les semaines d'activités prévues dans le cadre du cours.

Titre	Date
La recherche reproductible avec R et présentation des projets	13 janv.

	2022
Tests de randomisation et bootstrap	20 janv. 2022
Maximum de vraisemblance et optimisation de fonctions	27 janv. 2022
Simulations de Monte Carlo et autres outils	3 févr. 2022
Introduction à l'analyse bayésienne	10 févr. 2022
Modèles mixtes linéaires I	17 févr. 2022
Modèles mixtes linéaires II et présentation du jeu de données, dispositif, objectifs/hypothèses et analyse potentielle	24 févr. 2022
Modèles mixtes linéaires et généralisés III	3 mars 2022
Semaine de lecture	10 mars 2022
Modèles d'occupation de sites I: une saison et une espèce	17 mars 2022
Modèles d'occupation de sites II: modèles à une saison avec covariables	24 mars 2022
Astuces avec JAGS	31 mars 2022
Modèles d'occupation de sites III: modèles dynamiques et extensions	7 avr. 2022
Modèles N -mélange (N-mixture models)	14 avr. 2022
Présentations finales de projet de session	21 avr. 2022

Note : Veuillez vous référer à la section *Contenu et activités* de votre site de cours pour de plus amples détails.

Évaluation et résultats

Évaluation des apprentissages

Sommatives			
Titre	Date	Mode de travail	Pondération
Exercice - Introduction à l'analyse bayésienne	Dû le 17 févr. 2022 à 09h00	Individuel	15 %
Exercice - Modèle mixte linéaire	Dû le 3 mars 2022 à 09h00	Individuel	15 %
Exercice - Analyse d'occupation de sites	Dû le 31 mars 2022 à 09h00	Individuel	15 %
Présentation orale de fin de session	Dû le 21 avr. 2022 à 09h00	En équipe	45 %
Évaluation des coéquipiers	Le 21 avr. 2022 de 09h00 à 23h59	Individuel	5 %

Évaluation individuelle	Le 21 avr. 2022 de 09h00 à 23h59	Individuel	5 %
-------------------------	----------------------------------	------------	-----

Formatives		
Titre	Date	Mode de travail
Présentation orale du jeu de données, dispositif, objectifs et type d'analyse	Dû le 24 févr. 2022 à 09h00	En équipe

Informations détaillées sur les évaluations sommatives

Exercice - Introduction à l'analyse bayésienne

Date de remise : 17 févr. 2022 à 09h00


Mode de travail : Individuel

Pondération : 15 %

Remise de l'évaluation : [Boîte de dépôt](#)

Veillez déposer votre document avec les réponses et les points saillants du code/sortie ainsi que le script R complet de l'analyse.

Directives de l'évaluation : Voir fichier de l'exercice ci-joint.

Fichiers à consulter :  [Laboratoire5.pdf](#) (75,41 Ko, déposé le 3 nov. 2021)

Exercice - Modèle mixte linéaire

Date de remise : 3 mars 2022 à 09h00


Mode de travail : Individuel

Pondération : 15 %

Remise de l'évaluation : [Boîte de dépôt](#)

Veillez déposer votre document avec les réponses et les points saillants du code/sortie ainsi que le script R complet de l'analyse.

Directives de l'évaluation : Voir fichier de l'exercice ci-joint.

Fichiers à consulter :  [Laboratoire7.pdf](#) (89,43 Ko, déposé le 3 nov. 2021)

Exercice - Analyse d'occupation de sites


Date de remise : 31 mars 2022 à 09h00

Mode de travail : Individuel

Pondération : 15 %

Remise de l'évaluation : [Boîte de dépôt](#)

Veillez déposer votre document avec les réponses et les points saillants du code/sortie ainsi que le script R complet de l'analyse.

Directives de l'évaluation : Voir fichier de l'exercice ci-joint.
Fichiers à consulter :  [Laboratoire10.pdf](#) (56,68 Ko, déposé le 3 nov. 2021)

Présentation orale de fin de session

Date de remise : 21 avr. 2022 à 09h00
Mode de travail : En équipe
Pondération : 45 %
Remise de l'évaluation : [Boîte de dépôt](#)

Veillez déposer votre fichier de présentation, ainsi que les scripts et fichiers de jeux de données pour pouvoir reproduire votre travail.

Évaluation des coéquipiers

Titre du questionnaire : [Évaluation des coéquipiers](#)
Période de disponibilité : Le 21 avr. 2022 de 09h00 à 23h59
Tentatives : 1 tentative permise
Mode de travail : Individuel
Pondération : 5 %
Directives :

Dans le travail en équipe, il est important d'évaluer la contribution des membres de l'équipe, votre appréciation du travail de chacun, ainsi que le respect du contrat de travail signé par les membres de l'équipe. Veuillez évaluer chacun des coéquipiers de votre équipe selon les cinq critères ci-dessous. Chaque critère est noté sur 1 point: 1 point = satisfaisant; 0.5 point = fonctionnel, mais à améliorer; 0 point = non fonctionnel ou cause de tension dans l'équipe.

Après chaque énoncé ci-dessous, nommez chaque coéquipier et la note que vous lui attribuez.

Évaluation individuelle

Titre du questionnaire : [Évaluation individuelle](#)
Période de disponibilité : Le 21 avr. 2022 de 09h00 à 23h59
Tentatives : 1 tentative permise
Mode de travail : Individuel
Pondération : 5 %
Directives :

Ce questionnaire vise à faire l'évaluation individuelle. Veuillez répondre aux questions suivantes.

Informations détaillées sur les évaluations formatives

Présentation orale du jeu de données, dispositif, objectifs et type d'analyse

Date de remise : 24 févr. 2022 à 09h00
Mode de travail : En équipe
Remise de l'évaluation : [Boîte de dépôt](#)

Directives de l'évaluation : Présentation de 20 min. du jeu de données, dispositifs et objectifs.

Barème de conversion

Cote	% minimum	% maximum
A+	89,5	100
A	86,5	89,49
A-	83,5	86,49
B+	80,5	83,49
B	77,5	80,49
B-	74,5	77,49

Cote	% minimum	% maximum
C+	71,5	74,49
C	68,5	71,49
E	0	68,49

Règles disciplinaires contre la tricherie et le plagiat

Tout étudiant(e) qui commet une infraction relative aux études, au sens du Règlement disciplinaire à l'intention des étudiants de l'Université Laval, dans le cadre du présent cours, notamment en ce que constitue du plagiat, est passible des sanctions qui sont prévues par ce Règlement. Il est très important que chaque étudiant(e) prenne connaissance des articles 22 à 32 dudit Règlement, à :

<http://ulaval.ca/reglement-disciplinaire> 

Tout étudiant(e) est tenu, en réalisant tout travail écrit requis dans un cours, de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur et à la prévention du plagiat dans ses travaux formateurs soumis à l'évaluation. Constituent notamment du plagiat les faits de :

- i. copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sur support de papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets ni en hors-texte et sans en mentionner la source;
- ii. résumer l'idée originale d'un auteur(e) en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- iii. traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- iv. remettre un travail copié partiellement ou totalement d'un autre étudiant(e) (avec ou sans son accord);
- v. remettre un travail téléchargé partiellement ou totalement d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

[Sources: En application de l'article 161 du Règlement des études de l'Université Laval, https://www.ulaval.ca/fileadmin/Secretaire_general/Reglements/Reglement_des_etudes.pdf. Commission de l'Éthique de la science et de la technologie, *La tricherie dans les évaluations et les travaux à l'université: l'éthique à la rescousse* (rédaction: Denis Boucher), Québec, 15 mai 2009; texte adapté ici le 16 juillet 2009.]

Correction linguistique, retard et présentation des travaux

Évaluation de la qualité du français

La Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique se réfère à la [Politique sur l'usage du français à l'Université Laval](#) ainsi qu'aux [dispositions relatives à son application](#).

De plus, la Faculté recommande aux enseignants d'attribuer jusqu'à concurrence de 15 % de la note totale de tout examen, rapport, travail long ou tout autre document évalué, à la correction orthographique et grammaticale.

Une plus grande tolérance est accordée lors de la correction des travaux et des examens des étudiants non francophones.

Au besoin, profitez des services d'amélioration de la qualité du français à votre disposition sur le campus :

- [Ateliers gratuits d'aide à la rédaction](#) offerts par la Bibliothèque
- [Cours de perfectionnement en français de 1 à 3 crédits](#) offerts en classe par l'École des langues
- [Cours de perfectionnement en français de 1 à 3 crédits](#) offerts à distance par l'École des langues

Retard et présentation des travaux

Aucun retard injustifié à la remise des travaux ne sera toléré. Une pénalité de 25% sera appliquée pour chaque jour ouvrable de retard (une note de 0 sera attribuée après 4 jours ouvrables).

Utilisation d'appareils électroniques pendant une séance d'évaluation

Le seul appareil électronique toléré pendant une séance d'évaluation est la calculatrice.

Les calculatrices autorisées durant les séances d'examen pour tous les cours offerts par la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique sont les suivantes :

- Hewlett Packard HP 20S, HP 30S, HP 32S2, HP 33S, HP 35S
- Texas Instrument TI-30Xa, TI-30XIIB, TI-30XIIS, TI-36X (plus fabriqué),
- BA35
- Sharp EL-531**, EL-535-W535, EL-546**, EL-510 R, EL 516*, EL-520**
- Casio FX-260, FX-300 MS, FX-350 MS, FX-300W Plus, FX-991MS, FX-991ES (plus fabriqué), FX-991W*, FX-991ES Plus C*

* Modèles qui ne seront plus autorisés dès 2016.

** Calculatrices Sharp: sans considération pour les lettres qui suivent le numéro.

Absence aux examens

Un étudiant absent à un examen ou à toute autre séance d'évaluation obtient automatiquement la note zéro à moins qu'il ait des motifs sérieux justifiant son absence.

Les seuls motifs acceptables pour s'absenter à un examen et avoir droit à un examen de reprise sont les suivants :

- Convocation par une cour de justice durant la plage horaire prévue pour l'examen avec preuve de convocation.
- Maladie durant la plage horaire prévue pour l'examen avec un billet de médecin précis incluant les dates d'invalidité et les coordonnées du médecin.
- Mortalité d'un proche avec preuve de décès et lettre d'une tierce personne attestant du lien de parenté ou autre lien entre l'étudiant et la personne décédée.

Les pièces justificatives doivent être des originaux et doivent être présentées à l'enseignant, au directeur de programme ou au secrétariat des études (1250 pavillon Abitibi-Price) le plus rapidement possible.

Aucune justification d'absence reliée à des événements sportifs (sauf pour les athlètes du Rouge et Or, sur approbation préalable de la direction de programmes) ou reliée à un emploi, à un conflit d'horaire avec d'autres cours ou examens, à des horaires de voyage conflictuels (billets d'avion déjà achetés, par exemple) ou à des motifs religieux quelconques n'est acceptable.

Les conflits d'horaire doivent être résolus au tout début de la session, avant la fin de la période de modification du choix de cours, par l'étudiant lui-même. Un étudiant inscrit au cours après cette date est réputé ne pas avoir de conflit d'horaire et pourra se présenter à tous ses examens.

L'étudiant dont l'absence est dûment justifiée a l'obligation de se rendre disponible pour un examen de reprise à la date fixée par l'enseignant sans quoi il obtiendra la note zéro pour cet examen.

Étudiants ayant une situation de handicap liée à une limitation fonctionnelle

Afin de bénéficier de mesures d'accommodement pour les cours ou les examens, un rendez-vous avec une conseillère ou un conseiller du Centre d'aide aux étudiants travaillant en Accueil et soutien aux étudiants en situation de handicap (ACSESH) est nécessaire. Pour ce faire, les étudiants présentant une situation de handicap liée à une limitation fonctionnelle permanente doivent visiter le site monPortail.ulaval.ca/accommodement et prendre un rendez-vous, le plus tôt

possible. Au cours de la semaine qui suit l'autorisation des mesures, l'activation des mesures doit être effectuée dans monPortail.ulaval.ca/accommodement pour assurer leur mise en place.

Les étudiants ayant déjà obtenu des mesures d'accommodements scolaires doivent procéder à l'activation de leurs mesures pour les cours et/ou les examens dans monPortail.ulaval.ca/accommodement afin que celles-ci puissent être mises en place. Il est à noter que l'activation doit s'effectuer au cours des deux premières semaines de cours.

Matériel didactique

Matériel obligatoire

Il n'y a pas de manuel obligatoire. Les diapositives, les articles, et les scripts R mis en ligne à chaque semaine contiennent toutes les informations nécessaires. Toutefois, je recommande fortement de vous procurer au moins un ou deux livres de la section Matériel complémentaire.

Matériel complémentaire

Voici une liste de livres utiles, mais non obligatoires pour le cours. Toutefois, c'est une bonne idée de se procurer quelques livres de la liste ci-dessous parmi ceux qui sont pertinents à vos domaines d'intérêt pour votre bibliothèque personnelle.

Agresti, A. 2002. *Categorical data analysis*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.

Bolker, B. M. 2008. *Ecological models and data in R*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Gandrud, C. 2014. *Reproducible research with R and RStudio*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Gelman, A., and J. Hill. 2007. *Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models*. Cambridge University Press, New York, USA.

Gelman, A., J. B. Carlin, H. S. Stern, D. B. Dunson, A. Vehtari, and D. B. Rubin. 2014. *Bayesian data analysis*, 3rd edition. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Kéry, M. 2010. *Introduction to WinBUGS for ecologists: a Bayesian approach to regression, ANOVA, mixed models and related analyses*. Academic Press, New York, USA.

Kéry, M., and J. A. Royle. 2016. *Applied hierarchical modeling in ecology: analysis of distribution, abundance and species richness in R and BUGS*. Academic Press, New York, USA.

Lunn, D., C. Jackson, N. Best, A. Thomas, and D. Spiegelhalter. 2013. *The BUGS book: a practical introduction to Bayesian analysis*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

MacKenzie, D. I., J. D. Nichols, J. A. Royle, K. H. Pollock, L. L. Bailey, and J. E. Hines. 2006. *Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence*. Academic Press, New York.

Bibliographie

Bibliographie

Agresti, A. 2002. *Categorical data analysis*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.

Bolker, B. M. 2008. *Ecological models and data in R*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Burnham, K. P., and D. R. Anderson. 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: a practical information-theoretic approach*, 2nd edition. Springer-Verlag, New York.

Chambers, J. M. 2008. *Software for data analysis: programming with R*. Springer, New York, USA.

- Efron, B., and R. J. Tibshirani. 1998. *An introduction to the bootstrap*. Chapman & Hall/CRC, New York, USA.
- Faraway, J. J. 2006. *Extending the linear model with R: generalized linear, mixed effects and nonparametric regression models*. Chapman and Hall, New York, USA.
- Gandrud, C. 2014. *Reproducible research with R and RStudio*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Gelman, A., and J. Hill. 2007. *Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models*. Cambridge University Press, New York, USA.
- Gelman, A., J. B. Carlin, H. S. Stern, D. B. Dunson, A. Vehtari, and D. B. Rubin. 2014. *Bayesian data analysis*, 3rd edition. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Hilborn, R., and M. Mangel. 1997. *The Ecological Detective: Confronting Models with Data*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Hobbs, N. T., and M. B. Hooten. 2015. *Bayesian models: a statistical primer for ecologists*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Kéry, M. 2010. *Introduction to WinBUGS for ecologists: a Bayesian approach to regression, ANOVA, mixed models and related analyses*. Academic Press, New York, USA.
- Kéry, M., and J. A. Royle. 2016. *Applied hierarchical modeling in ecology: analysis of distribution, abundance and species richness in R and BUGS*. Academic Press, New York, USA.
- Kéry, M., and M. Schaub. 2012. *Bayesian population analysis using WinBUGS: a hierarchical perspective*. Academic Press, Boston, MA, USA.
- Kopka, H., and P. W. Daly. 2003. *Guide to LaTeX*. Addison-Wesley, Boston, MA, USA.
- Kruschke, J. K. 2011. *Doing bayesian data analysis: a tutorial with R and BUGS*. Academic Press, Oxford, UK.
- Lehmann, E. L. 2011. *Fisher, Neyman, and the creation of classical statistics*. Springer, New York.
- Lunn, D., C. Jackson, N. Best, A. Thomas, and D. Spiegelhalter. 2013. *The BUGS book: a practical introduction to Bayesian analysis*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Lunn, D., D. Spiegelhalter, A. Thomas, and N. Best. 2009. The BUGS project: evolution, critique and future directions. *Statistics in Medicine* 28:3049-3067.
- MacKenzie, D. I., J. D. Nichols, G. B. Lachman, S. Droege, J. A. Royle, and C. A. Langtimm. 2002. Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology* 83:2248-2255.
- MacKenzie, D. I., J. D. Nichols, J. E. Hines, M. G. Knutson, and A. B. Franklin. 2003. Estimating site occupancy, colonization, and local extinction when a species is detected imperfectly. *Ecology* 84:2200-2207.
- MacKenzie, D. I., J. D. Nichols, J. A. Royle, K. H. Pollock, L. L. Bailey, and J. E. Hines. 2006. *Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence*. Academic Press, New York.
- Manly, B. F. J. 1997. *Randomization, bootstrap and Monte Carlo methods in biology*, 2nd edition. Chapman & Hall, New York, USA.
- McCarthy, M. A. 2007. *Bayesian methods for ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- McCullagh, P., and J. A. Nelder. 1989. *Generalized linear models*, 2nd edition. Chapman & Hall, New York, USA.
- Mittelbach, F., and M. Goossens. 2004. *The LaTeX companion*, 2nd edition edition. Addison-Wesley, Boston, MA, USA.
- Pawitan, Y. 2001. *In all likelihood: statistical modelling and inference using likelihood*. Oxford University Press, Oxford.
- Pinheiro, J. C., and D. M. Bates. 2000. *Mixed-effects models in S and S-PLUS*. Springer Verlag, New York.
- Royle, J. A. 2004. N-mixture models for estimating population size from spatially replicated counts. *Biometrics* 60:108-115.
- Royle, J. A., and R. M. Dorazio. 2008. *Hierarchical modeling and inference in ecology: the analysis of data from populations, metapopulations and communities*. Academic Press, New York.

Salsburg, D. 2001. The lady tasting tea: how statistics revolutionized science in the twentieth century. W. H. Freeman and Company, New York.

Venables, W. N., and B. D. Ripley. 2002. Modern Applied Statistics with S. Springer-Verlag, New York, USA.

Venables, W. N., and B. D. Ripley. 2002. S Programming. Springer, New York, USA.

Wickham, H. 2014. Advanced R. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Williams, B. K., J. D. Nichols, and M. J. Conroy. 2002. Analysis and management of animal populations. Academic Press, New York, USA.

Zuur, A. F., E. N. Ieno, N. J. Walker, A. A. Saveliev, and G. M. Smith. 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R. Springer, New York, NY, USA.