

Modélisation des dynamiques de population - L'approche identification de systèmes et les équations aux dérivées partielles à paramètres variables

Encadrement : Régis Ouvrard et Thierry Poinot (LIAS - Université de Poitiers)

Co-encadrement : Lauriane Mouysset (GREThA - Université de Bordeaux)

Laboratoire d'accueil : Laboratoire d'Automatique et d'Informatique pour les Systèmes (LIAS)

Programme de recherche : IBIS

Impacts sur la Biodiversité, l'approche Identification de systèmes pour la Simulation de scénarios agricoles

Partenaires du programme :

- Laboratoire d'Informatique et d'Automatique pour les Systèmes (LIAS) - EA 6315 - Université de Poitiers (Guillaume Mercère, Régis Ouvrard et Thierry Poinot)
- Groupe de Recherche en Economie Théorique et Appliquée (GREThA) - UMR 5113 - Université de Bordeaux (Lauriane Mouysset)
- Centre d'Etudes Biologiques de Chizé (CEBC) - UMR 7372 - Université de La Rochelle (Vincent Bretagnolle)
- Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la Nouvelle-Aquitaine (DREAL)
- Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO)
- Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN)

Financement : Région Nouvelle-Aquitaine & Communauté Urbaine Grand Poitiers/Université de Poitiers

Mots clés : Dynamiques de populations, Equations aux dérivées partielles, Impacts sur la Biodiversité, Identification de système, Machine learning, Modélisation à paramètres variant

Contexte :

Le déclin de la biodiversité est un fait indéniable aujourd'hui, et l'enjeu est de définir des politiques publiques capables d'enrayer ce déclin. L'objectif du programme de recherche IBIS est de développer de nouveaux modèles de dynamiques de populations. Ces modèles, couplés à des modèles socio-économiques, permettront de prédire pour différents scénarios agricoles, par exemple, le meilleur compromis entre production agricole et conservation de la biodiversité. Ces modèles et ces prédictions formeront des outils d'aide à la décision afin d'orienter les politiques publiques vers de bonnes pratiques et de bons aménagements en termes de biodiversité.

Les modèles considérés sont basés sur des équations aux dérivées partielles (EDP) à paramètres variant capables de représenter les dynamiques spatiales et temporelles des populations et l'hétérogénéité environnementale. Les modèles seront calibrés à partir de données ornithologiques fournies par le CEBC, la LPO et le MNHN.

A la frontière entre l'écologie et l'identification de systèmes, le programme IBIS regroupe écologues, économistes et chercheurs en modélisation expérimentale. Cette complémentarité permettra de traiter le verrou de l'estimation d'EDP à partir de données naturalistes.

Sujet :

Le doctorant se concentrera sur l'estimation paramétrique des modèles EDP à paramètres variant à partir de données ornithologiques. La lecture du document téléchargeable sur le lien www.lias-lab.fr/perso/regisouvrard/CEP_2018_EDP_for_bird_population.pdf donnera une idée précise de l'état d'avancement des travaux. Voici un exemple de modèle à considérer :

$$\frac{\partial u(x, y, t)}{\partial t} = D(H) \left(\frac{\partial^2 u(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(x, y, t)}{\partial y^2} \right) - w_x(H) \frac{\partial u(x, y, t)}{\partial x} - w_y(H) \frac{\partial u(x, y, t)}{\partial y} + \beta_1(H) u(x, y, t) + \beta_2(H) u^2(x, y, t)$$

où $u(x, y, t)$ est une population de coordonnées (x, y) à l'instant t , $D(H)$, $w_x(H)$, $w_y(H)$, $\beta_1(H)$, $\beta_2(H)$ sont les paramètres variant en fonction d'un indice H représentant l'hétérogénéité environnementale.

Les travaux devront alterner entre développements théoriques et méthodologiques (aspect du sujet nécessitant pour le doctorant des compétences en automatique et/ou mathématiques) et applications des outils aux données (partie du sujet où le doctorant bénéficiera de l'expertise des écologues et économistes partenaires du projet).

Du point de vue méthodologie, sur la base des outils déjà développés [Farah *et al.*, 2016 ; Ouvrard *et al.*, 2018 ; Pham *et al.*, 2018] et des données simulées, les pistes à investiguer sont :

- Le développement de critères de choix de structure et de validation des modèles pour permettre de comparer différentes EDPs.
- L'implémentation numérique des intégrales pour comparer plusieurs méthodes d'intégration numérique.
- La base de fonctions dans l'approche de Galerkin. Les outils développés dans [Ouvrard *et al.*, 2018] repose sur l'approche de Galerkin [Polis *et al.*, 1973 ; Li & Qi, 2010] avec une base de fonctions générée par la méthode « proper orthogonal decomposition » [Newman, 1993]. L'interpolation des fonctions pour obtenir une représentation analytique de celles-ci sera envisagée.
- Les modèles standards en écologie. Pour juger des performances des nouveaux modèles proposés, une comparaison avec les modèles probabilistes et les modèles métapopulations, couramment utilisés en écologie, doit être faite en termes de prédiction.
- Des intervalles de confiance. Pour caractériser la confiance qui peut être attribuée à une prédiction d'évolution de populations, il est nécessaire de joindre à la prédiction un intervalle de confiance. Celui-ci se base sur la variance-covariance de l'estimation paramétrique. Une attention particulière sera donc portée à l'estimation de la variance des paramètres estimés.

Du point de vue application, avec l'aide des spécialistes en écologie, le doctorant étudiera les pistes suivantes :

- Données ornithologiques de la zone atelier « Plaine & Val de Sèvre » [Bretagnolle *et al.*, 2018]. Dans [Ouvrard *et al.*, 2018], l'étude se base sur des données ornithologiques à l'échelle de la France nécessitant un prétraitement (krigeage). Les données de la zone atelier permettront d'envisager une échelle spatiale plus réduite et un prétraitement aux effets limités.
- Les indices utilisés dans la variation des paramètres de l'EDP. Les paramètres varient selon un indice caractérisant la qualité de l'environnement pour l'accueil de la biodiversité. Les écologues conseilleront le doctorant sur des indices réalistes pour l'espèce considérée et le phénomène à étudier.

- Le prétraitement des données non uniformément réparties. Une recherche bibliographique sur le krigeage permettra d'évaluer les effets de cette étape avec l'objectif de choisir les meilleurs outils. L'application de traitement comme, par exemple, les approches « proper orthogonal decomposition » ou « singular spectrum analysis » sur les données brutes sera envisagée et comparée au krigeage traditionnel.

Références

- Bretagnolle V., Berthet E., Gross N., Gauffre B., Plumejeaud C., Houte S., Badenhausser I., Monceau K., Allier F., Monestiez P. & Gaba S., 2018. Description of long-term monitoring of farmland biodiversity in a LTSER. Data in Brief 19, 1310-1313.
- Farah M., Mercère G., Ouvrard R. & Poinot T., 2016. *Combining least-squares and gradient-based algorithms for the identification of a co-current flow heat exchanger*. International Journal of Control.
- Li H. & Qi C., 2010. *Modeling of distributed parameter systems for applications - A synthesized review from time-space separation*. Journal of Process Control 20, 891–901.
- Newman, A., 1996. *Model reduction via the Karhunen-Loeve expansion, Part I: An exposition*. Technical report, T.R. 96-32, University of Maryland, ISR. MD, USA.
- Ouvrard R., Mercère G., Poinot T., Jiguet F. & Mouysset L., 2018. *Dynamic models for bird population - A parameter-varying partial differential equation identification approach*. Submitted to Control Engineering Practice.
- Pham D., Mercère G., Ouvrard R. & Poinot T., 2018. *Heat equation parameter estimation based on the POD-Galerkin approach*. In: 18th IFAC Symposium on System Identification.
- Polis, M., Goodson, R. & Wozny, M., 1973. *On parameter identification for distributed systems using Galerkin's criterion*. Automatica 9, 53–64.

Profil souhaité :

Le candidat devra posséder des connaissances en mathématiques appliqués, en automatique et/ou en identification des systèmes. Une bonne connaissance en programmation (Matlab, R...) est nécessaire. Un bon niveau en français et en anglais est fondamental.

Début de la thèse : Automne 2019

Durée : 3 ans

Documents à fournir :

- Curriculum Vitae et lettre de motivation,
- Notes de Master,
- Score au TOEIC ou équivalent,
- Tout autre document jugé nécessaire par le candidat pouvant enrichir le dossier de candidature.

Contacts :

regis.ouvrard@univ-poitiers.fr, thierry.poinot@univ-poitiers.fr

Modelling of population dynamics – The system identification approach and the partial differential equations with varying parameters

Supervisors: Régis Ouvrard et Thierry Poinot (LIAS - Université de Poitiers)

Co-supervisor: Lauriane Mouysset (GREThA - Université de Bordeaux)

Laboratory: Laboratoire d'Automatique et d'Informatique pour les Systèmes (LIAS)

Research program: IBIS project

Impacts on biodiversity, the system identification approach for the simulation of agricultural scenarios

Program partners:

- Laboratoire d'Informatique et d'Automatique pour les Systèmes (LIAS) - EA 6315 - Université de Poitiers (Guillaume Mercère, Régis Ouvrard et Thierry Poinot)
- Groupe de Recherche en Economie Théorique et Appliquée (GREThA) - UMR 5113 - Université de Bordeaux (Lauriane Mouysset)
- Centre d'Etudes Biologiques de Chizé (CEBC) - UMR 7372 - Université de La Rochelle (Vincent Bretagnolle)
- Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la Nouvelle-Aquitaine (DREAL)
- Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO)
- Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN)

Funding: Région Nouvelle-Aquitaine & Communauté Urbaine Grand Poitiers/Université de Poitiers

Keywords: Impacts on biodiversity, Machine learning, Parameter varying model, Partial Differential Equations, Population dynamics, System identification

Context:

The global decline of biodiversity is an undeniable fact today, and the challenge is to define public policies capable of stopping this decline. The IBIS research program objective is to build new models of population dynamics. These models, coupled with socio-economic models, will allow predicting, for instance, the best trade-off between agricultural production and biodiversity conservation for different agricultural scenarios. These models and these predictions will form decision support tools to help decision makers take into account biodiversity goals into public policies.

The considered models are based on partial derivative equations (PDE) with varying parameters to characterize simultaneously the temporal and spatial population dynamics and the environmental heterogeneity. The model learning will be performed from bird data-set provided by the partners: CEBC, LPO and MNHN.

Between ecology and system identification, the IBIS program brings together ecologists, economists and researchers in data-driven modelling. This complementarity will make it possible to tackle the problem of PDE estimation from ecological data-set.

Subject:

The PhD student will focus on the parametric estimation of PDE models with varying parameters from ecological data-set. Reading the downloadable document via www.lias-lab.fr/perso/regisouvrard/CEP_2018_EDP_for_bird_population.pdf will give a good overview of the work in progress. Here is an example of the considered models:

$$\frac{\partial u(x, y, t)}{\partial t} = D(H) \left(\frac{\partial^2 u(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(x, y, t)}{\partial y^2} \right) - w_x(H) \frac{\partial u(x, y, t)}{\partial x} - w_y(H) \frac{\partial u(x, y, t)}{\partial y} + \beta_1(H) u(x, y, t) + \beta_2(H) u^2(x, y, t)$$

where (x, y) are spatial coordinates, t is time, $u(x, y, t)$ is a population, $D(H)$, $w_x(H)$, $w_y(H)$, $\beta_1(H)$, $\beta_2(H)$ are varying parameters with respect to an index H which characterize the environmental heterogeneity.

The work will have to alternate between theoretical and methodological developments (part of the subject which requires for the PhD student skills in automatic control and/or mathematical) and applications of the tools to the ecological data-set (part where the PhD student will rely on the expertise of the ecologists and the economists).

For the theoretical and methodological part, from the tools already developed [Farah *et al.*, 2016 ; Ouvrard *et al.*, 2018 ; Pham *et al.*, 2018] and simulation data-sets, the issues to be explored are:

- The development of criteria for the structure selection and the model validation to allow comparing different PDEs.
- The numerical implementation of integrals to compare several numerical integration methods.
- The function basis in the Galerkin approach. The tools developed in [Ouvrard *et al.*, 2018] are based on the Galerkin approach [Polis *et al.*, 1973 ; Li & Qi, 2010] with a function basis determined by the proper orthogonal decomposition method [Newman, 1993]. The interpolation of these functions to obtain an analytical representation of the ones will be studied.
- The regular models in ecology. To assess the performances of the proposed new models, a comparison with probabilistic models and metapopulation models, commonly used in ecology, must be made in terms of prediction.
- Confidence intervals. To characterize the confidence that can be attributed to an evolution prediction of populations, it is necessary to give a confidence interval around the prediction. This interval is based on the variance-covariance of the parametric estimate. Special attention will be paid to estimating the variance of the estimated parameters.

For the application part, with the help of the ecologists, the PhD student will study the following topics:

- Bird data-set from the « Plaine & Val de Sèvre » experimental area [Bretagnolle *et al.*, 2018]. In [Ouvrard *et al.*, 2018], the study is based on a bird database at the scale of France requiring a kriging pre-treatment. The data-set of the « Plaine & Val de Sèvre » experimental area will allow studying the model with a small scale and with a smooth pre-treatment.
- The index for the varying parameters of the PDE. The parameters vary according to an index which characterizes the environmental quality for biodiversity. Ecologists will advise the PhD student on realistic indices for the species and the phenomenon to be studied.
- The pre-treatment of the non-uniformly distributed data. A literature review on kriging will allow to evaluate the pre-treatments to choose the best tool. Some treatment like the

proper orthogonal decomposition or the singular spectrum analysis, for instance, could be compared to the regular kriging.

References

- Bretagnolle V., Berthet E., Gross N., Gauffre B., Plumejeaud C., Houte S., Badenhausser I., Monceau K., Allier F., Monestiez P. & Gaba S., 2018. Description of long-term monitoring of farmland biodiversity in a LTSEr. Data in Brief 19, 1310-1313.
- Farah M., Mercère G., Ouvrard R. & Poinot T., 2016. *Combining least-squares and gradient-based algorithms for the identification of a co-current flow heat exchanger*. International Journal of Control.
- Li H. & Qi C., 2010. *Modeling of distributed parameter systems for applications - A synthesized review from time-space separation*. Journal of Process Control 20, 891–901.
- Newman, A., 1996. *Model reduction via the Karhunen-Loeve expansion, Part I: An exposition*. Technical report, T.R. 96-32, University of Maryland, ISR. MD, USA.
- Ouvrard R., Mercère G., Poinot T., Jiguet F. & Mouysset L., 2018. *Dynamic models for bird population - A parameter-varying partial differential equation identification approach*. Submitted to Control Engineering Practice.
- Pham D., Mercère G., Ouvrard R. & Poinot T., 2018. *Heat equation parameter estimation based on the POD-Galerkin approach*. In: 18th IFAC Symposium on System Identification.
- Polis, M., Goodson, R. & Wozny, M., 1973. *On parameter identification for distributed systems using Galerkin's criterion*. Automatica 9, 53–64.

Profile of applicant:

The candidate must have knowledge in applied mathematics, automatic control and/or system identification. This PhD proposal requires programming skills (Matlab, R...). Fluency in French and in English is required.

Start of the PhD thesis: Autumn 2019

Duration: 3 years

Documents to provide:

- Curriculum Vitae and cover letter,
- Master marks,
- Certificate of proficiency in English,
- Any other document deemed necessary by the candidate which can enrich the application.

Contacts:

regis.ouvrard@univ-poitiers.fr, thierry.poinot@univ-poitiers.fr