Programme des enseignements de 3e année Filière ISTS

ENSAI
École nationale
de la statistique
et de l'analyse
de l'information

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@

www.ensai.fr

FILIÈRE INGENIERIE STATISTIQUE DES TERRITOIRES ET DE LA SANTE

ANNÉE SCOLAIRE 2020/2021

Data Modeling for Spatial Analysis and Health Economics

2020/2021 ACADEMIC YEAR

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

Présentation de la filière

La formation d'ingénieur de l'Ensai inclut 6 filières de spécialisation. Toutes ces filières forment aux métiers de la Data Science, avec une maîtrise des outils permettant l'extraction, l'analyse et la fouille de données et une capacité à choisir les modalités de traitements des données massives (Big Data) et des techniques d'apprentissage automatique (machine learning). Selon les spécialisations, ces compétences sont spécifiques à un domaine ou transversales. L'ensemble des filières continue à former aux compétences transversales (soft skills) et à la valorisation des travaux menés dans un contexte professionnel et international. Lors des cours et du projet méthodologique en anglais, les élèves travaillent toutes les compétences linguistiques et communicationnelles et approfondissent leurs connaissances liées au monde de l'entreprise et de la recherche. La séquence de Tronc Commun mêlant enseignements scientifiques, projets et anglais conclut la formation à l'autonomie et la capacité à mettre en œuvre des analyses de données en situation complexe. Un stage de fin d'études est à réaliser à l'issue de la scolarité, qui permet de mettre en œuvre dans un cadre professionnel une démarche scientifique autour d'une problématique en lien avec les enseignements de la filière.

La filière Ingénierie Statistique des Territoires et de la Santé vise à donner un bagage en ingénierie statistique et économétrie appliquée à la connaissance des dynamiques territoriales et à la santé, et permettant l'évaluation des politiques publiques. Elle mobilise un grand nombre d'outils statistiques et économétriques, notamment en micro-économétrie. Différents concepts sont mis en exergue afin d'étudier les liens entre systèmes de santé, de retraite, de dynamique des territoires et donc des politiques publiques à l'œuvre dans ces domaines d'activité. Les liens entre démographie et santé, urbanisation et économie spatiale sont, par exemple, étudiés avec l'œil à la fois du politique public et du statisticien. Cela demande d'aller plus loin que la simple prédiction et d'élaborer des stratégies poussées pour vérifier les liens de causalité. Cette filière ouvre sur de très nombreux domaines de la décision économique, que ce soit dans le secteur public (ministères, santé, sécurité sociale...) ou privé (cabinets d'étude, laboratoires pharmaceutiques, consultants...).

Les domaines d'enseignements

La formation représente un aboutissement à la pluridisciplinarité développée lors des deux premières années en statistique, probabilités, économie, data science et machine learning, informatique et anglais. Ces savoirs maîtrisés à l'issue des deux premières années sont approfondis et appliqués aux deux domaines spécifiques : analyse des problématiques de la santé et analyse des problématiques du territoire. Pour répondre aux exigences de la filière, l'ensemble des élèves reçoivent une solide formation de base en machine learning ainsi que dans les deux sous-domaines d'application de la filière, santé et territoire, et reçoivent de plus un enseignement avancé portant sur les méthodes économétriques.

Territoire
Enseignement des théories et des applications économiques et économétriques nécessaire à la compréhension des problématiques liées au territoire : diagnostique du territoire, démographie, économie spatiale et migration, dynamique du travail, économie publique.

Santé et Protection Sociale
Enseignement des théories et des applications économiques et économétriques nécessaire à la compréhension des problématiques liées à la santé : modélisation économique de la santé, mécanismes assurantiels et actuariels, offre et demande de soin, évaluation des préférences de santé.

Compléments en Econométrie
Approfondissement en économétrie dépassant le cadre des applications en santé et territoire et développant une culture générale poussée en techniques économétriques, indispensable à tout ingénieur statisticien, mais avec une forte composante des méthodes utilisés dans le monde de la santé et du territoire (Méthodes d'évaluation des programmes, Économétrie spatiale, Économétrie des données de panel).

Des séminaires professionnels présentent la richesse des métiers du monde de la santé et du territoire à travers des sujets d'actualité et des témoignages de professionnels. La langue anglaise n'est pas négligée puisque le projet de méthodologie donne lieu à l'écriture d'un mémoire en anglais ainsi qu'à une soutenance dans cette langue ; un grand nombre d'enseignement est également dispensé en anglais.A l'issue de leur formation, les étudiants de cette filière auront les compétences spécifiques suivantes :

- Comprendre les problématiques socio-économiques liées à la santé et aux territoires, et à leurs interactions ;
- Maîtriser les méthodes et outils nécessaires aux évaluations médicaux économiques ;
- Maîtriser la modélisation économique portant sur la santé et le territoire ;
- Capacité à mettre en œuvre les méthodes économétriques adaptées aux données socio-économiques ;
- Capacité à mobiliser la théorie économique pour interpréter les résultats de modélisation statistique et à éclairer la prise de décisions ;

Des partenaires dynamiques et à la pointe

Pour appuyer son savoir-faire et son expertise, la filière bénéficie de partenariats avec des acteurs économiques de premier plan. En plus de la reconnaissance de la formation, ces partenariats permettent de développer des échanges privilégiés notamment via des cours et des séminaires professionnels.

Inserm
Institut national
de la santé et de la recherche médicale

BANQUE DE FRANCE
EUROSYSTÈME

Unédic
Le cœur de l'Assurance chômage

ined
INSTITUT
NATIONAL
D'ÉTUDES
DÉMOGRA
PHIQUES

ipp Institut des Politiques Publiques

Solocal GROUP

IRDES
Institut de recherche
et documentation en
économie de la santé

BIPE

Option Formation Par la Recherche

Une formation par la recherche est ouverte aux étudiants de haut niveau de la filière Ingénierie statistique des territoires et de la santé désirant compléter leur cursus ingénieur par une formation universitaire en économie de grande qualité à l'Université d'Aix Marseille school of Economics. Le diplôme proposé est le master en économie théorique et empirique de l'Aix-Marseille School of Economics, dirigée par Roberta Ziparo.

	Volume horaire				
	Cours	**Ateliers**	**Projets**	**Total**	**Crédits**
UE0 Tronc commun					
Droit du Travail	3	6		9	0,5
Anglais	30			30	1,5
Sport		30		30	0
Total	**33**	**36**		**69**	**2**
UE1 Machine learning					
Machine learning	15	12		27	2
Régression pénalisée et sélection de modèles	9	6		15	1
Apprentissage statistique à grande échelle	6	9		15	1,5
Webmining et traitement du langage	9	12		21	1,5
Total	**39**	**39**		**78**	**6**
UE2 Territoire					
Démographie	12	3		15	1
Dynamique de l'emploi	15			15	1
Economie publique	15			15	1
Economie urbaine	15			15	1
Analyse des réseaux sociaux	15	9		24	2
Méthodes d'évaluation des programmes	12	3		15	1
Total	**84**	**15**		**99**	**7**
UE3 Santé et protection sociale					
Modélisation économique de la santé	24			24	1,5
Evaluation des préférences de santé	18			18	1
Evaluation médico-économique	12	12		24	1,5
Méta-analyse	12	6		18	1
Total	**66**	**18**		**84**	**5**
UE4 Économétrie avancée					
Statistique bayésienne	9	6		15	1
Modélisation avancée des choix discrets	21	3		24	1
Économétrie des données de panel	21	3		24	1
Statistiques et économétrie spatiale	21	3		24	2
Total	**72**	**15**		**87**	**5**
UE Projet de fin d'étude					
Projet méthodologique		9	27	36	2,5
Projet de fin d'étude		9	27	36	2,5
Data Challenge		12		12	0
Total		**30**	**54**	**84**	**5**
UE Projet professionnel et stages					
Stage de fin d'études					25
Stage d'application					5
Séminaires et projet professionnels	30			30	0
Total	**30**			**30**	**30**
TOTAL	**324**	**153**	**54**	**531**	**60**

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

Descriptifs des enseignements communs

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

UE 0

UE : COURS D'OUVERTURE

Correspondant de l'UE : Ronan Le Saout
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)
Nombre d'heures d'enseignement : 2
: Entre 50h et 60h

: 39h

Finalité de l'UE :

À la fin de cette UE, notamment grâce à l'enseignement de l'anglais, les élèves seront capables de mettre en œuvre les compétences linguistiques et culturelles qui facilitent la suivie des cours scientifiques dispensés en anglais ou d'autres langues, le travail dans un environnement professionnel international et la compréhension des normes culturelles dans les pays étrangers. À travers le cours de droit du travail, les élèves acquerront les connaissances dans une discipline autre que la statistique, l'économie et l'informatique nécessaires pour mieux appréhender le contexte juridique de l'entreprise. Cette UE vise également le développement des compétences transversales (*soft skills)* qui aideront les élèves à réussir les projets académiques de leur formation, à intégrer le marché du travail et à devenir les citoyens éclairés.

Structuration de l'UE :

L'UE 0 de la 3ème année se compose de deux matières obligatoires, l'anglais et le droit du travail, ainsi que le sport de manière optionnelle.

Compétences ou acquis d'apprentissage à l'issue de l'UE :

En anglais les élèves travaillent toutes les compétences linguistiques pour atteindre le niveau B2 du CECR et progresser vers un niveau C1. Lors des cours d'anglais et de l'aide au projet en anglais, les élèves développement également les connaissances liées au monde de l'entreprise et de la recherche ainsi que les compétences transversales *(soft skills).* Le cours du droit du travail permet aux étudiants d'identifier et comprendre certaines notions pratiques essentielles en gestion des ressources humaines en entreprise.

Les pré-requis de l'UE :

Aucun

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

UE 0 Cours d'ouverture

ANGLAIS

English

Enseignant : Divers intervenants (correspondant : Todd Donahue)
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)
Répartition des enseignements
Langue d'enseignement : 1
: 40h

: 15h de cours, 15h d'aide au projet de fin d'études
: Anglais
Logiciels : Sans objet
Documents pédagogiques : Sous Moodle
Pré-requis : Aucun

Modalités d'évaluation :

L'examen final prend la forme d'une simulation d'entretien d'embauche. Cet examen oral durera environ 25 minutes, sera noté, et permettra d'évaluer le niveau d'expression orale sur l'échelle CECRL (Cadre européen commun de référence pour les langues). Le CV et la lettre faite pour cet exercice seront évalués et feront partie de la note finale. L'anglais est également évalué à travers le rapport écrit et la soutenance orale du projet de fin d'études. Le niveau acquis apparaîtra sur le Supplément au diplôme. L'objectif de la CTI (Commission des Titres d'Ingénieur) pour tous les élèves ingénieurs est d'atteindre le niveau B2.

Acquis d'apprentissage (objectifs) :

- maîtriser une ou plusieurs langues étrangères
- savoir candidater et réussir un recrutement en langue anglaise
- contextualiser et prendre en compte les enjeux et les besoins de la société
- se connaître, s'auto-évaluer, gérer ses compétences, opérer ses choix professionnels
- s'intégrer et évoluer dans un groupe pour mener à bien un projet dans un contexte international et/ou pluriculturel
- savoir identifier les informations pertinentes, à les évaluer et à les exploiter

Principales notions abordées :

Pour les élèves qui n'ont pas eu un score d'au moins 785 au TOEIC : pendant les 5 premières séances, la plupart des cours seront basés sur la préparation à cet examen. Les ressources informatiques de l'Ecole doivent aussi être mises à profit (pages Moodle, TOEIC Mastery), ainsi que les méthodes disponibles à la bibliothèque. Pour les autres élèves, les cours seront organisés par groupe de niveau et conçus afin de les préparer à affronter le monde professionnel sur le plan international. Les thèmes suivants seront traités : « Leading meetings », « Interviews », « Presentations », « Taking decisions », et « Negociating deals », et « Cultural and Political Current Events ». Ensuite, les 5 dernières séances seront consacrées au travail de rédaction/correction des rapports faits en anglais dans chaque filière ainsi qu'à la préparation des soutenances orales. Chaque responsable de filière indiquera aux élèves, en début d'année, le projet concerné et les modalités de notation. Les élèves recevront des consignes détaillées avant de démarrer ces cinq séances, afin d'arriver à la première séance avec une première version ou extrait de leur rapport en anglais prêt pour

correction et relecture. **Pour tout complément d'information, chaque élève peut consulter le Programme des enseignements : Langues étrangères, distribué au début de l'année académique.**

Références bibliographiques : Définies par chaque intervenant.

UE Cours d'ouverture

DROIT DU TRAVAIL

Work Law

Enseignant : Charlotte GRUNDMAN, Avocat au Barreau de Paris
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)

Répartition des enseignements
Langue d'enseignement : 1
: 15h

: Cours : 3h • Atelier : 6h
: Français
Logiciels : Sans objet
Documents pédagogiques : Distribués pendant le cours
Pré-requis : Aucun

Modalités d'évaluation :

Exposé d'un cas pratique réalisé lors des TD.

Acquis d'apprentissage (objectifs) :

La matière étant extrêmement vaste et complexe, il est ici proposé aux étudiants une approche didactique et vivante du sujet, l'objectif de l'enseignement étant de permettre aux étudiants qui travailleront dans un futur proche en entreprise d'avoir compris certaines notions pratiques essentielles en droit du travail.

Principales notions abordées :

Hormis le cours d'amphi, il sera systématiquement proposé aux étudiants, après l'étude d'une notion, un exercice visant à mettre en pratique la notion abordée. Le cours commun (3 heures) traite des notions suivantes : Comprendre d'où l'on vient pour savoir où on va (introduction historique au droit du travail, les sources du droit du travail, ordre public absolu et ordre public social), les instances de contrôle du droit du travail, formation et exécution du contrat de travail, la rupture du contrat à durée indéterminée. Pour les TD, la première heure de cours sera consacrée à l'étude d'un chapitre (la modification du contrat de travail, le recrutement, les droits fondamentaux du salarié). Cet exposé sera suivi d'une mise en situation pratique, où les étudiants devront par groupe répondre à un cas pratique. Un rapporteur sera désigné par groupe, et la notation se fera à cette occasion.

UE Cours d'ouverture

SPORT

Sport

Enseignant : Divers intervenants (correspondant : Jullien Lepage)
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel) : 0
: 30

Modalités d'évaluation :

La participation à une activité sportive peut donner lieu à l'attribution d'un bonus ajouté sur la moyenne du semestre concerné. Le niveau de ce bonus est précisé dans une circulaire d'application en début d'année académique. Il varie selon l'assiduité aux séances, l'engagement et la participation aux compétitions tout au long de l'année. Pour être définitive, la liste des élèves bénéficiant de ces bonus doit être validée par le directeur des études.

Un bonus peut être exceptionnellement attribué en dehors des activités sportives réalisées dans le cadre Ensai. Pour y prétendre, les élèves concernés doivent remplir les 3 conditions suivantes:
- pratiquer régulièrement une activité sportive et participer aux compétitions liées ;
- posséder un niveau national (voir très bon niveau régional suivant le sport en question) ;
- déposer une demande argumentée auprès de la direction des études et du service sport en début d'année scolaire, afin de faire valider le programme d'entraînement, des compétitions et les modalités de diffusion des performances. Pour certains ayant des contraintes sportives, des aménagements horaires pourront d'ailleurs être ainsi envisagés si besoin.

Acquis d'apprentissage (objectifs) :

L'objectif est d'amener les élèves à maintenir un esprit sportif, sortir du strict cadre académique et développer leurs capacités physiques.

Principales notions abordées :

Neuf activités sportives sont proposées par l'école : Badminton, Basket, Football, Hand-ball, Tennis de table, Tennis débutant, Volley-ball, Cross-training, Course à pied/préparation physique/coaching sportif. Outre les entraînements, les élèves inscrits peuvent être amenés à participer à des compétitions.

UE 1

UE : APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE (MACHINE LEARNING)

Correspondant de l'UE : Arthur Katossky
Nombre d'ECTS

Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)
Nombre d'heures d'enseignement : 6 pour les filières ISTS, GDR et SSV, 7 pour GS et MQRM, 8 pour SID
: De 25h à 30h par ECTS

: 78h pour les filières ISTS, GDR et SSV, 102h pour GS et MQRM, 120h pour SID

Finalité de l'UE :

L'apprentissage automatique (machine-learning) est un paradigme essentiellement différent des approches statistiques exploratoires (statistiques au sens classique) ou explicatives (économétrie). Il vise un objectif de prédiction dans la continuité des méthodes d'apprentissage statistique supervisé introduites lors des premières années de la formation d'ingénieur. Largement utilisé dans l'ensemble des professions statistiques à l'heure actuelle (les métiers de la Data Science), l'apprentissage automatique est incontournable dans la formation de l'ingénieur statisticien et trouve de nombreuses applications: prédiction des cours basés à partir d'articles de presse en finance, détection de maladie par imagerie médicale en santé, recommandation de produits en marketing, compression d'images ou encore modèles de traitement du langage, toutes ces applications reposent sur les mêmes bases.

Structuration de l'UE :

L'UE se compose de 4 matières : apprentissage automatique (Machine-learning), régression pénalisées et régularisation, apprentissage statistique à grande échelle, traitement automatique de la langue et fouille du web (Natural language processing and webmining). L'ensemble de ces matières permettent de mettre en œuvre les techniques classiques, en développant un esprit critique sur leurs limites (sur-apprentissage, grande dimension, représentativité de l'échantillon) et en utilisant des données non structurées (texte, image…). Selon les filières de spécialisation, des séminaires complémentaires (systèmes de recommandation…) sont introduits.

Compétences ou acquis d'apprentissage à l'issue de l'UE :

Cette UE permet de maitriser des méthodes et des outils de l'ingénieur (identification, modélisation et résolution de problèmes même non familiers et incomplètement définis, l'utilisation des approches numériques et des outils informatiques, l'analyse et la conception de systèmes) en développant l'aptitude à étudier et résoudre des problèmes complexes, à concevoir et mettre en œuvre des projets de collecte et d'analyse d'informations et à concevoir et mettre en œuvre des algorithmes prédictifs de machine learning, s'intégrant dans une architecture informatique de données volumineuses (big data).

Les pré-requis de l'UE :

Modélisation statistique de 2ème année, méthodes d'optimisation et d'algorithmique, panorama du big data, aisance en R et Python.

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

UE Machine Learning

APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE

Machine Learning

Enseignant : Hong-Phuong DANG (Ensai), Romaric GAUDEL (Ensai), Fabien NAVARRO (Ensai) et Brigitte GELEIN (Ensai)
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)

Répartition des enseignements

Langue d'enseignement : 2 (ISTS, GDR, SSV), 3 (GS, MQRM) ou 4 (SID)
: De 25h à 30h par ECTS

: Pour les 27h en filières ISTS, GDR et SSV, il y a 15h de cours et 12h d'ateliers. Pour les 24h complémentaires en GS et MQRM, il y a 6h de cours et 12h d'ateliers. Pour les 36h complémentaires en SID, il y a 12h de cours et 18h d'ateliers.
: Français
Logiciels : R et Python
Documents pédagogiques : supports de cours, bibliographie et fiches de TP
Pré-requis : R, Python, modélisation statistique, algèbre linéaire, optimisation de fonctions

Modalités d'évaluation :

Contrôle continu à la discrétion des intervenants, un QCM, compte-rendus de TP (1 en ISTS, GDR et SSV, 4 en GS et MQRM, 4 en SID)

Acquis d'apprentissage (objectifs) :

- Identifier comment résoudre une tâche par apprentissage automatique
- Choisir un modèle a priori adapté à une tâche
- Utiliser un modèle de l'état de l'art (SVM, réseau de neurones, forêt, …)
- Comparer empiriquement différents modèles pour une tâche donnée

Principales notions abordées :

Un rappel des principes de l'apprentissage statistique et automatique sera effectué. L'ensemble des filières aborderont les réseaux de neurones (y compris deep learning), les méthodes d'agrégation (forêts aléatoires, bagging, boosting, stacking) et les séparateurs à vaste marge (Support Vector Machines). Les réseaux de neurones avancés seront abordés en GS, MQRM et SID, les systèmes de recommandation en MQRM et SID.

Références bibliographiques :

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

- Endrew Ng. Machine Learning Yearning. Disponible gratuitement au lien https://www.deeplearning.ai/machine-learning-yearning/.
- Rémi Gilleron. Apprentissage machine - Clé de l'intelligence artificielle - Une introduction pour non-spécialistes. Ellipses.
- Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville. Deep Learning. 2016

UE Machine Learning

REGRESSION PENALISEE ET SELECTION DE MODELES

Penalized problems and model selection

Enseignant : Cédric HERZET (INRIA) & Clément ELVIRA (INRIA)
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)

Répartition des enseignements
Langue d'enseignement : 1
: 30h

: Cours : 9h • Atelier : 6h
: Français
Logiciels : Python
Documents pédagogiques : Supports de cours, Supports de TP, Bibliographie
Pré-requis : Optimisation, Python, Algèbre

Modalités d'évaluation :

Un examen sur table de 2 heures avec questions de cours et résolution de problèmes, 1 compte-rendu de TP

Acquis d'apprentissage (objectifs) :

- identifier les cas d'apprentissage statistique et les problèmes inverses où la régularisation est utile : comprendre quels sont les motivations et les objectifs de la pénalisation
- connaître les modèles de régularisation les plus courants et savoir quelles caractéristiques de reconstruction ils favorisent choisir une régularisation parmi les méthodes les plus courantes et estimer un modèle régularisé par une méthode de descente de gradient
- connaître et comprendre les différents types de problèmes d'optimisation et les algorithmes qui permettent de les résoudre numériquement

Principales notions abordées :

- Ingrédients principaux des problèmes inverses et d'apprentissage statistique + exemples pratiques
- Motivations et objectifs de la régularisation
- Types de régularisation et fonctions de régularisation couramment rencontrées
- Caractérisation des problèmes pénalisés: existence de solution, unicité, conditions d'optimalité.
- Méthodes numériques de résolution de problèmes d'optimisation
- Conditions théoriques de reconstruction correcte

Références bibliographiques :

- Hastie, Trevor, Robert Tibshirani, and Martin Wainwright. 2015. Statistical Learning with Sparsity: The Lasso and Generalizations. CRC Press.
- C. Bishop. Pattern recognition and machine learning. Springer-Verlag New York, 2006.
- S. Foucart and H. Rauhut. A mathematical introduction to compressive sensing. Applied and Numerical Harmonic Analysis. Birkhaüser, 2013.
- D. P. Bertsekas. Nonlinear Programming. Athena Scientific, USA, 2003.

UE Machine Learning

APPRENTISSAGE A GRANDE ECHELLE

Large scale machine-learning

Enseignant : Romaric Gaudel (ENSAI)
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)

Répartition des enseignements
Langue d'enseignement : 1,5
: 25h

: Cours : 6h • Atelier : 9h
: Français
Logiciels : Python
Documents pédagogiques : support de cours, fiches de TP
Pré-requis : panorama du big data, machine-learning, optimisation

Modalités d'évaluation :

2 quizz en contrôle continu, 1 TP noté

Acquis d'apprentissage (objectifs) :

Le passage à des bases de données à grande échelle modifie certains usages en apprentissage statistiques. Nous en verrons quelques exemples, avec les justifications théoriques sous-jacentes.

- objectif : être en mesure de choisir des approches appropriées pour un problème donné. Nécessite de
- objectif : connaître le comportement en termes de taille de stockage et/ou de temps de calcul et/ou de qualité d'estimation des approches présentées.

Principales notions abordées :

- la descente de gradient stochastique
- données et modèles parcimonieux
- le calcul distribué

Références bibliographiques :

- Introduction to High Performance Computing for Scientists and Engineers, Georg Hager, Gerhard Wellein, CRC Press, 2010
- Introduction to High Performance Scientific Computing, Victor Eijkhout , Edmond Chow, Robert van de Geijn, 2014
- Bekkerman, Ron, Mikhail Bilenko, and John Langford. n.d. *Scaling up Machine Learning: Parallel and Distributed Approaches*.
- The MIT Press. n.d. “Large-Scale Kernel Machines.” Accessed September 1, 2020. https://mitpress.mit.edu/books/large-scale-kernel-machines.

UE Machine Learning

TRAITEMENT AUTOMATIQUE DU LANGAGE ET FOUILLE DU WEB

Webmining et NLP

Enseignant : Guillaume Gravier (Irisa)
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)

Répartition des enseignements
Langue d'enseignement : 1,5 sauf pour filière informatique (SID) : 2,5
: 38h sauf pour filière informatique (SID) : 56h

: Cours : 9h • Atelier : 12h (6h complémentaires en SID)
: Français
Logiciels : Python
Documents pédagogiques : Support de cours, Supports de TP
Pré-requis : Python, Machine Learning

Modalités d'évaluation :

Projet (de taille plus importante en SID)

Acquis d'apprentissage (objectifs) :

- collecter des données, extraire de l'information et apparier des sources textuelles
- choisir une méthode de traitement automatique de la langue pour une tâche classique (classification, analyse de sentiment, détection > d'entités…)
- se repérer parmi le foisonnement des modèles d'étude de la langue

Principales notions abordées :

1. What's natural language and its processing
2. The representation of words
3. The representation and classification of documents
4. Language modeling and contextual word embedding
5. Sentence-level tagging (token level tasks)
6. Sequence to sequence models and transformers
7. Overview of standard NLP tasks today

Références bibliographiques :

- Daniel Jurafsky, James H. Martin. Speech and Language Processing: An introduction to natural language processing, computational linguistics, and speech recognition, 2nd edition, Prentice-Hall, 2009. Draft of the 3rd edition partly available at https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3.
- Yoav Goldberg. Neural Network Methods for Natural Language Processing. 2017. An earlier draft is freely available online at http://u.cs.biu.ac.il/~yogo/nnlp.pdf.
- Kevin Gimpel's lectures (Toyota Technological Institute at Chicago and UChicago) on Natural Language Processing (https://ttic.uchicago.edu/~kgimpel/teaching/31190-s18/index.html) and on Advanced Natural Language Processing (https://ttic.uchicago.edu/~kgimpel/teaching/31210-s19/index.html).

UE Projets

UE : PROJETS

Correspondant de l'UE : Arthur Katossky
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)
Nombre d'heures d'enseignement : 5
: Entre 120h et 150h

: Suivis réguliers avec les encadrants

Finalité de l'UE :

Les projets sont l'occasion pour les étudiants de mettre en œuvre leurs connaissances acquises à l'ENSAI sur des cas d'études concrets. Ils visent à mettre en œuvre les outils et connaissance acquises en statistique, en informatique et en économie, dans une démarche de résolution de problèmes concrets type ingénieur.
Les projets de déclinent en deux versions: le projet académique, en langue anglaise, vise à approfondir une thématique centrée autour d'un ou plusieurs articles scientifiques ; le projet de fin d'études, plus appliqué, nécessairement sur des données issues d'une collecte, vise à proposer une solution pratique à une problématique générale proposée par une entreprise ou un laboratoire de recherche. À eux deux, ces projets couvrent toute l'étendue d'une démarche de développement: diagnostique d'un problème nouveau, lecture de la littérature scientifique sur le sujet, résolution d'un problème en respectant un compromis entre les règles de l'art d'une part, et les contraintes humaines, financières et techniques de l'autre. Ils permettent par ailleurs aux élèves de mesurer l'utilité de toutes les notions acquises au cours des trois années de formation.
Selon les filières, la réalisation d'un Data Challenge complète ces cas d'études concrets, à travers la réalisation d'un projet sur un temps court et des contraintes spécifiques.

Structuration de l'UE :

Projet méthodologique: approfondissement d'une démarche rigoureuse, à la pointe de la recherche scientifique, en langue anglaise ; constitue la partie théorique de recherche d'information dans une démarche de recherche et développement.
Projet de fin d'étude: approfondissement d'une démarche pratique, sachant composer avec des contraintes opposées, entre rigueur scientifique et nécessités pratiques ; constitue la partie implémentation dans une démarche de recherche et développement.
Data Challenge (optionnel, selon les filières) : rassembler sur une période très courte différentes équipes de profils variés afin de collaborer sur un projet.

Compétences ou acquis d'apprentissage à l'issue de l'UE :

Ces projets concluent la formation d'ingénieur de l'Ensai, et mobilisent un ensemble de compétences de l'ingénieur : capacité à trouver l'information pertinente, à faire une veille scientifique, à prendre en compte les enjeux de l'entreprise, à travailler dans un contexte international, tout en mobilisant des compétences techniques pour résoudre des problèmes complexes, et mener une démarche scientifique.

Les pré-requis de l'UE :

Méthodes de travail des projets de 1ère et 2ème année.

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

UE Projets

PROJET MÉTHODOLOGIQUE

Methodological project

Enseignant : Divers intervenants
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)

Répartition des enseignements
Langue d'enseignement : 2,5
: Entre 60h et 75 h

: 9h d'ateliers, et suivis réguliers
: Anglais
Logiciels : /
Documents pédagogiques : /
Pré-requis : /

Modalités d'évaluation :

Le projet méthodologique consiste en la production d'un article de synthèse sur un sujet de recherche à choisir parmi un catalogue. L'évaluation tient compte de l'article rédigé et de la réalisation d'une soutenance.

Acquis d'apprentissage (objectifs) :

Les objectifs du projet méthodologique, et donc les compétences qui sont renforcées grâce à celui-ci, sont multiples:

- familiarisation avec la forme des productions académiques (articles notamment), en lecture comme en écriture
- capacité à faire une revue de littérature mélangeant ouvrages scientifiques et professionnels
- mise en œuvre d'une démarche scientifique rigoureuse
- prise de conscience des enjeux autour de la reproductibilité des résultats de recherche
- communication sur des sujets techniques

À cela s'ajoute les objectifs spécifiques à la production d'un travail technique en langue anglaise: mise en œuvre d'un projet complexe en langue anglaise, communication écrite et orale, acquisition d'un vocabulaire spécialisé, maîtrise de différents niveaux de langues en terme de style (oral vs. écrit) et de technicité (vulgarisation vs. spécialisation), mise en place de stratégies pour faire face à des difficultés linguistiques.

Principales notions abordées :

Travail de recherche en groupe suivi par un chercheur (env. 5 séances) et un professeur d'anglais (4 séances).

UE Projets

PROJET DE FIN D'ETUDES

Methodological project

Enseignant : Divers intervenants
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)

Répartition des enseignements
Langue d'enseignement : 2,5
: Entre 60h et 75 h

: 9h d'ateliers, et suivis réguliers
: Français
Logiciels : /
Documents pédagogiques : /
Pré-requis : /

Modalités d'évaluation :

Le projet de fin d'études consiste en la production d'une étude statistique de niveau professionnel dans le monde de l'entreprise ou de la recherche, parmi un catalogue de sujet mis à disposition des élèves. Le projet est évalué à travers un rapport et une soutenance.

Acquis d'apprentissage (objectifs) :

Les objectifs du projet de fin d'études, et donc les compétences qui sont renforcées grâce à celui-ci, sont multiples:

- mise en situation professionnelle
- capacité à définir une stratégie d'étude en réponse à une demande client
- mobilisation des compétences techniques (statistiques, économiques, informatiques)
- compromis entre rigueur scientifique et contraintes pratiques (limitations financières, logicielles, cognitives, temporelles…)
- travail de groupe
- gestion d'un projet sur le temps long
- communication (écrite, orale) sur des sujets techniques

.

Principales notions abordées :

Travail autonome en groupe suivi par un professionnel de l'entreprise ou de la recherche (env. 5 séances).

UE Projets

DATA CHALLENGE

Data Challenge

Enseignant : Divers intervenants industriels (correspondante : Salima El Kolei)
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)

Répartition des enseignements
Langue d'enseignement : Pas d'attribution d'ECTS
: 2 journées

: 12h d'ateliers
: Français
Logiciels : /
Documents pédagogiques : /
Pré-requis : Méthodes de travail des projets, Compétences statistiques et informatiques de 3ème année

Modalités d'évaluation :

Les élèves participent au data challenge proposé à l'Ensai ouvert également aux élèves de deuxième année. Il n'y a pas d'évaluation.

Acquis d'apprentissage (objectifs) :

Le data challenge permet de rassembler sur une période très courte différentes équipes de profils variés afin de collaborer sur un projet. Cette expérience se rapproche des conditions réelles dans laquelle évoluent les datascientists au sein des entreprises. Il permet, à partir des mécanismes du jeu, de dynamiser et d'articuler la pédagogie autour d'un besoin concret d'entreprise et d'un événement qui s'achève par une évaluation objective. De nombreux challenges sont proposés autour de la Data ou présentant des problématiques Data importantes.
L'objectif de ce cours est de valoriser les compétences transversales acquises dans ce contexte opérationnel. Les compétences qui sont renforcées grâce à celui-ci sont multiples:

- Comprendre les problèmes à résoudre.
- Travailler en mode projet avec des contraintes.
- S'intégrer et s'adapter dans un contexte pluridisciplinaire. Selon les challenges, les compétences seront mobilisées à géométrie variable.
- S'adapter à la réalité de la Data d'entreprise (données non structurées, manquantes, volumétrie…)
- Communication orale des résultats (pitch…)

Principales notions abordées :

Travail en groupe sur un temps court.

UE 0

UE : PROJET PROFESSIONNEL ET STAGES

Correspondant de l'UE : Patrick Gandubert
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)
Nombre d'heures d'enseignement : 30
: Travail en entreprise

: 30h (séminaires)

Finalité de l'UE :

Cette UE correspond à des temps pédagogiques en lien direct avec les entreprises. Les séminaires professionnels ont pour objectif de présenter aux étudiants diverses problématiques auxquelles ils seront confrontés dans leur environnement professionnel. Il permet d'apporter des compléments par rapport à certains cours, et fait le lien entre les enseignements et les applications pratiques qui en découlent. Le projet professionnel permet de préparer les étudiants à leur entrée dans la vie professionnelle et aux stages, il est réalisé sur la 2ème et 3ème année de formation. Des simulations d'entretien de recrutement sont organisées en 3e année. Elles sont assurées par des recruteurs d'entreprises et d'organisations partenaires de l'Ensai. Les stages (application en 2ème année, fin d'études en 3ème année) permettent aux élèves de mettre en pratique les enseignements de mathématiques appliquées, d'informatique et d'économie dans un cadre professionnel. Le stage de fin d'études, d'une durée de 20 semaines minimum, vise à appliquer les enseignements de 3ème année et à acquérir de l'expérience pour assurer la transition vers l'emploi. Il constitue une étape essentielle de mise en situation professionnelle pour le futur ingénieur qui dispose à ce stade de l'ensemble des bagages techniques de la formation.

Structuration de l'UE :

Le stage de fin d'études constitue la majeure partie de l'évaluation de cette UE (25 ECTS). L'Ensai exige une forte adéquation entre le contenu du stage et la filière de spécialisation de 3e année. Il fait l'objet d'une procédure de validation par le responsable de filière et par le département des relations avec les entreprises. L'évaluation tient compte de la capacité d'intégration de l'étudiant dans l'entreprise, ses capacités d'initiative et de satisfaction au regard des objectifs du stage, et de la qualité du rapport et de la soutenance réalisée devant un jury composé d'un président, d'un vice-président, tous les deux issus du monde de l'entreprise et d'un permanent de l'école. Le stage d'application de 2ème année est pris en compte dans cette UE (5 ECTS). Les séminaires professionnels ne sont pas évalués.

Compétences ou acquis d'apprentissage à l'issue de l'UE :

Le stage de fin d'études (et l'UE) comprend un objectif technique - il s'agit de répondre à la commande, à la problématique inscrite dans le thème du stage à l'aide des connaissances acquises - et un objectif professionnel – il s'agit de parfaire la connaissance du monde du travail, de développer des capacités relationnelles et d'adopter une démarche d'insertion dans le monde professionnel.

Les pré-requis de l'UE :

Aucun

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

Descriptifs des enseignements de la filière

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

UE Spécifiques filière ISTS

UE SPÉCIFIQUES FILIÈRE ISTS

Correspondant de l'UE : Samuel Danthine
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)
Nombre d'heures d'enseignement : 17
: De 25 à 30h par ECTS

: 270h

Finalité des UE :

La filière ISTS et ces UE spécifiques donnent un bagage en ingénierie statistique et économétrie appliqué à la connaissance des dynamiques territoriales et à la santé, et permettant l'évaluation des politiques publiques. Cette filière ouvre sur de très nombreux domaines de la décision économique, principalement dans le secteur privé (cabinets d'étude, laboratoires pharmaceutiques, bureaux de conseils…) mais également dans le secteur public (ministères, santé, sécurité sociale...).

Structuration de l'UE :

La filière IST inclut 3 UE spécifiques : territoire, santé et protection sociale, et économétrie avancée.

Compétences ou acquis d'apprentissage à l'issue de l'UE :

- Comprendre les problématiques socio-économiques liées à la santé et aux territoires, et à leurs interactions ;
- Maîtriser les méthodes et outils nécessaires aux évaluations médicaux économiques ;
- Maîtriser la modélisation économique portant sur la santé et le territoire ;
- Capacité à mettre en œuvre les méthodes économétriques adaptées aux données socio-économiques ;
- Capacité à mobiliser la théorie économique pour interpréter les résultats de modélisation statistique et à éclairer la prise de décisions.

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

UE2 – Territoire

Démographie
Demography

Cours : 12h ● Atelier : 3

Enseignant : Giancarlo CAMARDA (Ined)

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière « Ingénierie Statistique des Territoires et de la Santé»

Objectif pédagogique

Cet enseignement a deux objectifs principaux, d'une part présenter les modes de calcul des principaux indicateurs démographiques en temps continu afin de construire un bilan démographique classique sur un territoire ad-hoc, d'autre part elle permet de comprendre les causes et conséquences possibles des phénomènes démographiques constatés.

Contenu de la matière

1. Demographic accounting:
   - the balancing equation and growth rates
   - rates and person-years
   - the Lexis diagram
   - rates vs. probabilities
   - age-specific rates
   - age-standardization
   - decomposition of differences between rates
2. Life-table construction
   - a toy example
   - period life-tables
   - the issues of the ax , rate/probability conversion and open-ended interval
   - life-table in a continuous frame
   - life-table as a stationary population
3. Demographic models for aggregate data
   - parametric models over age
   - Relational models
   - Lee-Carter model and its variations
4. Smoothing methods in mortality
   - Quick Smoothing
   - Generalized Additive Model: a short overview
   - Direct Smoothing
   - P-splines
5. Fertility and reproduction
   - Period fertility rates
   - Cohort Fertility
   - Tempo effects
   - Reproduction measures
   - Coale-McNeil and Coale-Trussell models
   - Henry's "Natural Fertility"
6. Population projection
   - Cohort component method

Projection matrix and age-classified model
Forecasting model parameters
The Lee-Carter model for forecasting mortality

Pré-requis

Programme des enseignements statistique de 2A (modélisation linéaire et non linéaire, analyse de données…)

Références bibliographiques

- Preston, Heuveline et Guillot. Demography: Measuring and Modeling Population Processes, Blackwell Pub

Langue

Anglais

UE2 – Territoire

Dynamique de l'emploi
Labor dynamics

Cours : 15 h

Enseignant : Samuel DANTHINE (Ensai)

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière « Ingénierie Statistique des Territoires et de la Santé»

Course Description:
The objective of this course is to provide an introduction to modern dynamic labor economics and its empirical implications

Topics:

1. Neoclassical model
2. Human Capital Theory
3. Signalling
4. One sided search
5. Two-sided search:
    1. Random search
    2. Directed search
6. Applications

Evaluation

Article replication, joint project with Urban Economics and Program Evaluation

References :

- Pissarides, C.: *Equilibrium Unemployment Theory*, 2nd edition, MIT Press, 2000
- Shimer, R.: *Labor Markets and Business Cycles*, Princeton UP, 2010
- Cahuc, P. and A. Zylberberg : *Labor Economics*, MIT Press, 2004

Langue d'enseignement
Anglais

UE2 – Territoire

Public economics

Cours : 15h (9h30 en présentiel, 5h30 en autonomie)

Enseignant	:	Noemí NAVARRO (Noemi.Navarro@u-bordeaux.fr)
Correspondant	:	Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière « Ingénierie Statistique des Territoires et de la Santé»

Overview

Public Economics is the study of the role of the State in the economy. This includes the justifications for any economic intervention by the State as well as the design of tools for such an intervention and the study of its consequences. This is a broad sub-field of economics that is at the interstice of many other sub-fields: both at the macro and micro level. We will start by discussing the role of the State from a classical perspective and we will afterwards cover topics that can be of interest to students specializing in health and territories.

Content

Chapter 1. Introduction: The fundamental theorems of welfare and the "early" role of the state
a) Individual endowments: education, taxes
b) Market failures: externalities, public goods, market power
c) Incomplete markets: insurance, repugnant goods

Chapter 2. Consumption of an unhealthy good: Tax incidence and behavioral strategies ("nudges")

Chapter 3. Externalities, polluting goods and Pigouvian taxes

Chapter 4. Public goods and Lindahl prices

Chapter 5. Information asymmetries: moral hazard, adverse selection and health insurance

Chapter 6. Public choice and market design: matching, allocation mechanisms, kidney exchange and school allocation

Pré-requis

Modélisation micro et macroéconomique, économie du risque, calcul algébrique, vectoriel et différentiel, analyse des fonctions (optimisation sous contraintes)

Références

- Jean Hindriks and Gareth D. Myles "Intermediate Public Economics" Second Edition. Cambridge, Massachusetts and London, England: Massachusetts Institute of Technology. 2013
- Guillaume Haeringer "Market Design: Auctions and Matching" Cambridge, Massachusetts and London, England: Massachusetts Institute of Technology. 2018
- Alvin E. Roth "Who Gets What - and Why: the New Economics of Matchmaking and Market Design" Boston, New York: Houghton Mifflin Harcourt. 2016
- Alvin E. Roth (2008), "What Have We Learned from Market Design?" Hahn Lecture, Economic Journal 118: 285-310. Updated version available in this link.

Évaluation

Mini-tests concernant les lectures obligatoires pour chaque chapitre (début de séance)	6 pts
Exercices à rendre	6 pts
Examen écrit récapitulatif	8 pts

Langue d'enseignement
Anglais

UE5 Optionnelle

Economie urbaine
Urban economics

Cours : 15h

Enseignant : Samuel DANTHINE (Ensai)

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière « Ingénierie Statistique des Territoires et de la Santé»

Objective

Urban Economics is the economic study of urban areas. As such, it involves using the tools of economics to analyze urban issues such as crime, education, public transit, housing, and local government finance. More narrowly, it is a branch of **microeconomics** that studies urban spatial structure and the location of households and firms. Much urban economic analysis relies on a particular model of urban spatial structure, the monocentric city model pioneered in the 1960s by William Alonso, Richard Muth, and Edwin Mills. While most other forms of neoclassical economics do not account for spatial relationships between individuals and organizations, urban economics focuses on these spatial relationships to understand the economic motivations underlying the formation, functioning, and development of cities.
Since its formulation in 1964, William Alonso's monocentric city model of a disc-shaped Central Business District (CBD) and surrounding residential region has served as a starting point for urban economic analysis. Monocentricity has become weaker over time due changes in technology, particularly due to faster and cheaper transportation (which makes it possible for commuters to live farther from their jobs in the CBD) and communications (which allow back-office operations to move out of the CBD). Additionally, recent research has sought to explain the polycentricity described in Joel Garreau's Edge City. Several explanations for polycentric expansion have been proposed and summarized in models that account for factors such as utility gains from lower average land rents and increasing (or constant returns) due to **economies of agglomeration.**

Description of the course

1: Stylized facts: Cities around the world

2: The basic urban economics mode with identical agents.

3: Optimality of the equilibrium allocation and comparative statics of the urban model.

4: Agglomeration economics and city formation

5: Urban labor economics

6: Urban ghettos, poverty and spatial mismatch

7: Rural-urban migration

Prerequisites

Modélisation micro et macroéconomique

Bibliography

- Glaeser, Edward L., 2008. "Cities, Agglomeration, and Spatial Equilibrium," Oxford University Press.
- Fujita and Thisse, 2013 "Economics of Agglomeration: Cities, Industrial Location, and Globalization" Cambridge University Press.
- Brueckner, 2011 "Lectures on Urban Economics" MIT Press

Evaluation

Article replication, joint project with Labor Economics and Program Evaluation

Langue d'enseignement

Anglais

UE2 – Territoire

Social Network Analysis and Applications

Cours : 15h (9h30 en présentiel, 5h30 en autonomie) + Atelier 9h (autonomie)

Enseignant	:	Noemí NAVARRO (Noemi.Navarro@u-bordeaux.fr)
Correspondant	:	Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière « Ingénierie Statistique des Territoires et de la Santé»

Overview

The course begins with an overview of concepts used to describe and measure networks. We will then discuss a series of models on network formation. Students will get familiarized with programs and packages that are commonly used for analyzing and simulating networks (gephi, R – igraph, Python – networKx). We will later discuss how networks impact individual behavior and collective outcomes, including contagion, diffusion, and public good provision.

Content

Chapter 1. Introduction: representing a network and basic definitions

Chapter 2. Global and local measures and statistics on networks

Chapter 3. Random network formation models

Chapter 4. Strategic network formation

Chapter 5. Contagion and epidemics on networks

Chapter 6. Decisions, behavior, and games on networks

Pré-requis

Mathematics, economics and game theory. For example, it will be assumed that students are comfortable with basic concepts from linear algebra (e.g., matrix multiplication), probability theory (e.g., probability distributions, expected values), and game theory (e.g., games in normal form, in extensive form, strategy, equilibrium), and some light calculus (e.g., differentiation and integation)

Références

- Matthew O JACKSON “Social and Economic Networks” Princeton University Press: Princeton and Oxford. 2008
- Mark NEWMAN “Networks” Second edition. Oxford University Press: Oxford, 2018
- Sanjeev GOYAL “Connections: An Introduction to the Economics of Networks” Princeton University Press: Princeton and Oxford, 2007

Évaluation

Mini-tests concernant les lectures obligatoires pour chaque chapitre (début de séance)	6 pts
Exercices à rendre	6 pts
Atelier (programmation)	8 pts

Langue d’enseignement

Compétences : organizing/visualizing a large data set as a network, simulating network-based phenomena, reading and interpreting data that are organized as a network, understanding how certain characteristics of the network structure affect socio-economic phenomena

UE3 –Santé et protection sociale

Modélisation économique de la santé
Economics modeling for health

Cours : 24h

Enseignant : Alain PARPONARIS et Bruno Ventelou (Aix-Marseille Université)
Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière « Ingénierie Statistique des Territoires et de la Santé»

Objectif pédagogique

This course uses theoretical economic themes, both at micro and macro levels, to offer applications in the domain of health and healthcare: demand, supply and equilibrium in the healthcare markets; macroeconomics of health; development economics and health (epidemic trap). Some additional topics should include: Health and employability; population aging, etc

Introduction
Why using theoretical models in “health economics”?
Part 1. Microeconomics of Health
1 The demand for health and healthcare
Different ways of introducing heath in the utility function/ different way of deriving healthcare demand (Grossman, 1972)
2 Health supply
Self employed physicians
Groups and networks of physicians
Payment schemes
3 Public regulations in the healthcare market
Asymmetry of information: the consumer sovereignty in health
Public health policies: prevention programs; reducing social inequalities in health
Part 2. Health and the macro-economy
4 Health as a sector in the macro-economy
The contribution of health to the economy in France and in the European Union
5 Health, development and growth
Jeffrey Sachs: Health, Human capital, the development process
The econometrics of the health/growth relationship: The burden of diseases in Africa
6 Health macro-dynamics
An augmented health Solow-model
Modelling health in an macroeconomic design: epidemic trap
Part 3. Topics
7 Health and employability
Health and the labour market
8 Health expenditures and population aging
Agent-based models, simulations, and mathematical models of aging

Prerequisites
Public economy, micro and macro modelling

Evaluation
A préciser

Références bibliographiques

- Baltagi, B.H., Bratberg, E., Holmas, T.H. (2005) A panel data study of physicians' labor supply: the case of Norway. Health Economics 14(10), 1035-1045.
- Clerc, I., L'Haridon, O., Paraponaris, A., Ventelou, B. (2012) Fee-for-service payment and consultation length in general Practice. A work-leisure trade-off model for French GPs. Applied Economics 44(25), 3323-3333.
- McGuire, T. (2000) Physician Agency. In: Culyer, A., Newhouse, J.P. (eds.) The Handbook of Health Economics. North-Holland
- Nicholson, S, Propper, C. (2011) Medical Workforce. In: Culyer, A., Newhouse, J.P. (eds.) The Handbook of Health Economics. North-Holland
- Rizzo, J.A, Blumenthal A. (1994) Physician labor supply: Do income effects matter? Journal of Health Economics 13, 433-453.
- Rochaix, L. (1993) Financial incentives for physicians: the Quebec experience. Health Economics 2(2), 163-176.
- Sæther, E.M. (2006) Physicians' Labour Supply: The Wage Impact on Hours and Practice Combinations. Labour 19(4), 673-703.
- Scott, A. (2000) Economics of general practice. In: Culyer, A., Newhouse, J.P. (eds.) The Handbook of Health Economics. North-Holland

Langue d'enseignement
Français

UE3 Santé et protection sociale

Evaluation des préférences de santé
Valuing Health

Cours : 18h

Enseignants : Stéphane LUCHINI (Inserm – Aix-Marseille Université)

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière « Ingénierie Statistique des Territoires et de la Santé»

Objectif pédagogique

Ce cours est une introduction à l'évaluation économique de la santé, en se focalisant sur l'évaluation des préférences en matière de santé. Il présentera les enjeux et difficultés de l'exercice et dressera un panorama des méthodes utilisées dans le champ. Les fondements théoriques de ces méthodes seront présentés ainsi que les modalités pratiques de leur mise en œuvre, y compris les outils statistiques mobilisés.

Contenu de la matière

1 Introduction : Evaluation en matière de santé -- enjeux et difficultés.
2 Le concept de Quality adjusted life year (qaly) : théorie, méthodes et discussion.
3 Méthodes alternatives: Evaluation contingente des programmes de santé
4 Efficacité, inégalités et évaluation : le revenu équivalent

Pré-requis

1 Théorie du consommateur
2 Econométrie : modèles de régression linéaires et non-linéaires

Contrôle des connaissances

Dossier

Références bibliographiques

- M.F. DRUMMOND et Coll. : “Méthodes d'Evaluation Economique des programmes de santé”, Economica, 1998.

Langue d’enseignement

Français et anglais

UE5 Optionnelle

Evaluation médico-économique
Economic Evaluation in Health Care

Cours : 12h ● Atelier : 12h

Enseignants : Nicolas Jamet (Amaris)

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves des filières « Ingénierie Statistique des Territoires et de la Santé» *et « Statistique pour les sciences de la vie »*

Objectif pédagogique

L'objectif de ce cours est de présenter les méthodes de l'évaluation économique dans le domaine de la santé. Ce cours abordera d'abord les principes fondamentaux de l'évaluation sur le terrain, puis les différentes méthodes seront présentées et discutées, notamment du point de vue de résultats utilisés : l'évaluation coût-efficacité, l'évaluation coût-utilité, l'évaluation coût-bénéfice. Les aspects théoriques et techniques de l'évaluation médico-économique seront abordés, en particulier les techniques de modélisation statistique avancés permettant d'intégrer l'incertitude dans le calcul économique.

Contenu de la matière

1. Introduction à l'évaluation économique en santé
   1.1.Concepts
   1.2.Méthodes d'évaluation
2. Modélisation économique
   2.1.Arbres de décision
   2.2.Modèles de MARKOV
3. Analyse de l'incertitude
   3.1.Analyse classique
   3.2.Analyse probabiliste
4. Analyse critique d'un article

Pré-requis

Contrôle des connaissances

Atelier et rédaction d'un mini projet + examen écrit

Références bibliographiques

- M.F. DRUMMOND, B.J. O'BRIEN, G.L. STODDART, G.W. TORRANCE, Méthodes d'évaluation économique des programmes de santé, Economica, 2ème édition, 1998
- M.F. DRUMMOND, McGUIRE A, Economic evaluation in health care, 2001.

Langue d'enseignement

Français

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

UE5 Optionnelle

Méta-Analyse
Meta Analysis

Cours : 12h ● Atelier : 6h

Enseignant : Drifa BELHADI (Creativ Ceutical)

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves des filières « Ingénierie Statistique des Territoires et de la Santé» *et « Statistique pour les sciences de la vie »*

Objectif pédagogique

"La méta-analyse est une démarche, plus qu'une simple technique, qui a pour but de combiner les résultats de plusieurs essais thérapeutiques, pour en faire une synthèse reproductible et quantifiée. Cette synthèse produit un gain de puissance statistique dans la recherche de l'effet d'un traitement, une précision optimale dans l'estimation de la taille de l'effet et permet en cas de résultats apparemment discordants d'obtenir une vue globale de la situation".
Trois types de méta-analyses sont distingués, en fonction des données utilisées:

1. La méta-analyse des données résumées de la littérature, donc uniquement des essais publiés (ce qui expose au biais de publication)
2. La méta-analyse exhaustive sur données résumées se basant sur les études publiées et sur les travaux non publiés
3. La méta-analyse sur données individuelles se basant sur les données de tous les patients inclus dans les essais pris en considération dans la méta-analyse.

Dans la démarche de la méta-analyse, la variabilité (l'hétérogénéité) est considérée comme un paramètre de nuisance; elle contredit l'hypothèse de l'existence d'un effet traitement commun à tous les essais. La méta-analyse est très utilisée, notamment dans les analyses médico-économiques qui utilisent dans leur modélisation des indicateurs de résultats issus de publications diverses.

Contenu de la matière

1. Introduction
   - 1.1. What is it? / Why do we do it?
   - 1.2. The use of meta-analysis in clinical trial / Health economic evaluation
   - 1.3. Meta-analysis vs. randomised clinical trials
2. Protocol development
   - 2.1. Objectives
   - 2.2. Outcome measure and baseline information
   - 2.3. Data sources / Study selection
   - 2.4. Data extraction
   - 2.5. Analyses / Sensitivity analyses
   - 2.6. Presentation of results
3. Estimating treatment difference
   - 3.1. Binary data
     - 3.1.1. Log-odds ratio
     - 3.1.2. Log-relative risk
   - 3.2. Normally distributed data
     - 3.2.1. Absolute mean difference

3.2.2. Standardised mean difference
3.3. Ordinal data
3.3.1. Log-odds ratio (prortional odds model)
3.4. Survival data
3.4.1. Log hazard ratio
4. Combining estimates of treatment difference
4.1. Fixed-effects parametric approach (FE)
4.1.1. Definition/assumption
4.1.2. Model
4.1.3. Estimation of the treatment difference and hypothesis test
4.1.4. Testing for heterogeneity
4.2. Random-effect parametric approach (RE)
4.2.1. Definition/assumption
4.2.2. Model
4.2.3. Estimation of the treatment difference and hypothesis test
4.2.4. Testing for between studies heterogeneity
5. Dealing with heterogeneity
5.1. Limited power of heterogeneity tests
5.2. Choice between FE and RE models
5.3. Can we always present an overall estimate of treatment difference?
5.4. Choice of appropriate measure of treatment difference
5.5. Meta regression
6. Presentation of results
7. Selection / publication bias
8. Direct comparison vs. Indirect comparison
8.1. Eg. Drug A vs placebo & Drub B vs. placebo => Drug A vs. Drug B
9. An introduction to Bayesian approach
10. Conclusion
10.1. The use of meta-analysis
10.2. Contrast between useful and useless meta-analysis

Pré-requis

Basic Winbugs knowledge

Contrôle des connaissances

A déterminer

Références bibliographiques

- Higgins JPT, Green S (editors). Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. Chichester (UK): John Wiley & Sons, 2008.
- Dias, S., Welton, N.J., Sutton, A.J. & Ades, A.E. NICE DSU Technical Support Document 2: A Generalised Linear Modelling Framework for Pairwise and Network Meta-Analysis of Randomised Controlled Trials. 2011; last updated September 2016; available from htAtelier://www.nicedsu.org.uk

Langue d'enseignement

Anglais

Campus de Ker Lann, 51 rue Blaise Pascal - BP37203 - 35172 BRUZ CEDEX
Tél : 33 (0)2 99 05 32 32 / scolarite@ensai.fr

www.ensai.fr

UE 2– Modélisation

STATISTIQUE BAYESIENNE

Bayesian Statistics

Enseignant : Sophie Ancelet (IRSN)
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)

Répartition des enseignements

Langue d'enseignement : 1
: 23

: 9h de cours, 6h TP

: Français
Logiciels : R & WINBUGS, OPENBUGS & JAGS
Documents pédagogiques : Cliquez ici pour taper du texte.
Pré-requis : Cours de calcul bayésien 2A

Modalités d'évaluation :

Examen écrit

Acquis d'apprentissage (objectifs) :

- Maîtriser les connaissances de base pour l'analyse de données par approche statistique bayésienne.
- Avoir une connaissance des modèles hiérarchiques, réseau bayésien et graphes d'indépendance.
- Etre capable de mettre en œuvre les méthodes enseignées pour mener des inférences bayésiennes de données, notamment à l'aide des logiciels WINBUGS, OPENBUGS et JAGS.

Principales notions abordées :

Un rappel de cours est fait concernant les principes de la modélisation statistique bayésienne. L'accent sera mis sur l'analyse bayésienne par les méthodes de Monte Carlo par Chaînes de Markov (MCMC). Aux travers d'exemples, seront abordés les notions de graphe d'indépendance conditionnelle, réseau bayésien, convergence des Chaînes de Markov, inférence, prédiction, validation et comparaison de modèles dans un cadre bayésien. Les exemples seront traîtés sous le logiciel WINBUGS ou JAGS en salle informatique.

Références bibliographiques :

- Collectif BIOBAYES: Albert I., **Ancelet S**., David O., Denis J.B., Makowski D., Parent E., Soubeyrand S. **(2015)** Méthodes statistiques bayésiennes. Bases théoriques et applications en alimentation, environnement et

génétique. *ELLIPSES, ISBN : 978234000501*

- Carlin, B. P. and Louis, T.A. (2009). Bayesian Methods for Data Analysis. Chapman & HALL/CRC, third edition, (535 pp.)
- Gelman, A., Carlin, J. B., Stern, H. S. and. Rubin, D. B (2004). Bayesian data analysis. Texts in Statistical Science. Chapman & HALL/CRC, second edition, (668 pp.)
- Robert, C. P. (2001). The Bayesian choice. Springer, (second edition) (604 pp.)
- Lunn, D.J., Thomas, A., Best, N. and Spiegelhalter, D. (2000). WinBUGS -- a Bayesian modelling framework: concepts, structure, and extensibility. Statistics and Computing, 10: 325-337.
- Gilks, W. R., Richardson, S. and Spiegelhalter, D. J. (1996). Markov chain Monte Carlo in practice. Chapman and Hall, (486 pp.)

UE4 – Econométrie avancée

Modélisation avancée des choix discrets

Advanced microeconometrics of discrete choices

Cours : 21h ● TD : 3h

Enseignant : Alain CARPENTIER (INRA Rennes)

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière « Ingénierie Statistique des Territoires et de la Santé»

Objectif pédagogique

Ce cours se situe dans le prolongement des cours d'Econométrie 2A et de Micro-économétrie appliquée. Il a pour objectif principal de présenter les avancées récentes en matière de modélisation des choix discrets.
Après quelques rappels quant à la structure des modèles économétriques de choix discret (modèles à utilités aléatoires) et au modèle de référence employé par les économètres (le modèle Logit Multinomial), le cours vise à tout d'abord à présenter deux extensions essentielles des modèles de choix discret de référence : (a) les modèles de choix discret à paramètres aléatoires et (b) les modèles de choix discret avec effets d'agglomération et/ou de congestion. Ces modèles sont employés dans tous les domaines utilisant la micro-économétrie appliquée : choix des modes et des voies de transport, choix de localisation d'activité ou d'habitation, modélisation des parts de marchés en situation de concurrence imparfaite, choix de sites récréatifs, …
Le cours abordera les questions liées à la spécification et à l'estimation de ces modèles, en théorie et à partir d'exemples traités en détail.

Contenu de la matière

1. Rappels
    a. Modèles à utilités aléatoires
    b. Le modèle Logit Multinomial
    c. Cas des grands ensembles de choix
2. Modèles à paramètres aléatoires
    a. Intérêt et spécification des modèles à paramètres aléatoires
    b. Loi mélangeante continue : estimation par le MV
    c. Loi mélangeante discrète : estimation par le MV via l'algorithme EM
    d. Quelques aspects pratiques
3. Modèles de localisation avec effets de congestion et/ou d'agglomération
    a. Effets de congestion et d'agglomération et équililibres
    b. Spécification et estimation des modèles de choix discrets avec effets de congestion ou d'agglomération
4. Supplément. Modèles de parts de marché

Pré-requis

Econométrie 2A, Micro-économétrie appliquée, Micro-économie, Micro-économétrie avancée.

Contrôle des connaissances

Examen écrit.

UE4 – Econométrie avancée

Econométrie des données de panels
Econometric analysis of panel data

Cours : 18h ● Atelier : 6h

Enseignant : Ambre NICOLLE

Correspondant :

Enseignement destiné aux élèves de la filière « Marketing Quantitatif et Revenue management» et « Ingénierie Statistique des Territoires et de la Santé»

Objectif pédagogique

L'objectif de ce cours est de fournir les outils utiles à l'estimation de modèles économétriques sur données de panel. Ce cours décrit les méthodes et leur mise en application pratique. Des exemples numériques ainsi que des travaux de recherche empiriques sont présentés tout au long du cours pour illustrer l'utilisation de ces méthodes.

- Introduction
  - Quelques exemples de jeux de données de panels
  - Spécificités des données de panel : avantages et défis
  - Définitions et notations

- Description des données
  - Structure du panel
  - Nature et variabilité des variables
  - Représentations graphiques

- Modèles linéaires statiques
  - Modèles empilés (*pooled models*)
  - Modèles à effets fixes (*fixed effects models*)
  - Modèles à effets aléatoires (*random effects models*)
  - Modèles avec variables instrumentales (*instrumental variables*)

- Modèles non linéaires statiques
  - Modèles avec données discrètes (*binary outcome/count data models*)
  - Modèles avec données censurées (*censored data models*)

- Modèles dynamiques
  - L'estimateur Arellano-Bond (*Arellano-Bond estimator*)

- Extensions
  - Modèles à effets mixtes (*mixed models*)
  - Modèles à coefficients aléatoires (*random coefficient models*)

- Analyses d'articles

Les étudiants devront lire un article d'économétrie appliquée qui reprendra et prolongera les différentes méthodes du cours. Les thèmes abordés seront l'économie de la santé, l'économie spatiale et le marketing.

Pré-requis

Micro-économétrie avancée.

Contrôle des connaissances

Examen écrit.

Références bibliographiques

- Baltagi, B. (2008). *Econometric analysis of panel data*. John Wiley & Sons.
- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2005). *Microeconometrics: methods and applications*. Cambridge University Press.
- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2009). *Microeconometrics using Stata*. Stata Press.
- Hsiao, C. (2014). *Analysis of panel data*. Cambridge University Press.
- Pirotte, A. (2011). *Econométrie des données de panel: théorie et applications*. Economica.
- Stock, J. H., & Watson, M. W. (2019). *Introduction to econometrics,* Pearson.
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data*. MIT Press.

Langue d'enseignement

Anglais (Cours, ateliers et matériel mis à dispositions des étudiants, notamment les articles de recherche).

UE4 – Econométrie avancée

Statistique et économétrie spatiale
Spacial statistics and econometrics

Cours : 21h ● Atelier 3h

Enseignant : Salima BOUAYAD AGHA (U du Maine) et Lionel VEDRINE (INRA Dijon)

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière « Ingénierie Statistique des Territoires et de la Santé» « Marketing » « MasterE »

Objectif pédagogique

L'utilisation de données spatiales connaît un développement important du fait de son utilisation dans de nombreux domaines : sciences de la terre, environnement et climatologie, épidémiologie, économétrie, analyse d'image, etc….. Pris dans son sens méthodologique le plus large, la statistique spatiale désigne toute analyse utilisant l'outil statistique et ayant une dimension spatiale, que cette dimension concerne l'outil proprement dit, l'objet analysé ou les variables utilisées comme descripteur de cet objet. Comme pour les séries temporelles, la statistique spatiale se différencie de la statistique classique par le fait que les observations sont dépendantes. Son originalité tient au fait que dans l'espace, les interactions peuvent être multidirectionnelles. Pour analyser des objets localisés il existe des outils statistiques spécifiques. L'un des plus classiques est la mesure de l'**autocorrélation s**patiale, qui rend compte à un niveau global de la tendance des lieux proches à se ressembler (autocorrélation positive) ou au contraire à s'opposer (autocorrélation négative). Les méthodes de l'économétrie spatiale permettent de tenir compte de cette dépendance spatiale dans les analyses statistiques classiques et d'éviter que celle-ci n'introduise des biais dans l'estimation des paramètres

Après avoir passé en revue les différents types de données spatiales le cours présente les outils de base de la statistique spatiale qui permettent de mesurer le degré de signification statistique des configurations et des relations spatiales de données géoréférencées, qui vont ainsi compléter et enrichir l'approche strictement cartographique.

Le cours s'attache ensuite plus spécifiquement à l'étude des données économiques. Les méthodes de l'économétrie spatiale sont de plus en plus utilisées dans de nombreux domaines (croissance, économie régionale et urbaine, marketing, étude des marchés immobiliers, …). Favorisées par le développement des systèmes d'information géographique qui permettent de disposer simultanément des valeurs prises par les variables d'intérêt et de leur localisation géographique, ces méthodes permettent de prendre en compte dans la modélisation les phénomènes d'interaction spatiale de différentes manières.

Il s'agit d'étendre les méthodes de l'économétrie standard en considérant les principaux problèmes rencontrés dans l'utilisation de ces données (hétérogénéité des observations, interaction spatiale). Après avoir présenté les différentes manières de formaliser les effets spatiaux (effet de débordement et de dépendance spatiale, hétérogénéité) seront exposés les différentes spécifications économétriques spatiales ainsi que leur estimation par différentes méthodes (maximum de vraisemblance et méthode des moments généralisés). Les tests de spécifications les plus courants seront également exposés. Les exposés seront illustrés par des exemples issus de la littérature récente dans ce domaine.

De nombreux exemples utilisant R ou STATA illustrent les sujets abordés. Le cours sera complété de 3 ATELIER, l'un sur la cartographie et les méthodes exploratoires des données, les 2 autres sur l'économétrie.

Plan

Introduction générale : nécessité de la prise en compte de la dimension spatiale

- Statistiques spatiales et séries temporelles
- L'intérêt de prendre en compte la dimension spatiale
- Les étapes d'une étude spatiale
- Divers types de données spatiales
- Spécificité des données spatiales : hétérogénéité et autocorrélation

PARTIE 1 : Statistique Spatiale

La boite à outils d'analyse des données spatiales

- Matrices de voisinage
- Matrices de pondération spatiale
- Autres outils spécifiques de la statistique spatiale

Analyse exploratoire des données spatiales et tests

- Outils de représentation
- Tests d'autocorrélation spatiale
- Indices locaux d'autocorrélation spatiale
- Tests d'homogénéité

PARTIE 2 : Econométrie spatiale sur données en coupe

L'étude de l'autocorrélation spatiale en économétrie

- Une typologie des modèles spatiaux
- L'effet multiplicateur et l'effet de diffusion spatial
- Le modèle spatialement autorégressif
- Le modèle à erreur spatialement autocorrélée
- Le modèle de Durbin spatial
- Les tests de spécification
- Les modèles en présence de données spatiales manquantes
- Le choix de la matrice de pondération affecte-t-il l'interprétation des résultats? Rationaliser son choix
- Critiques de l'identification dans les modèles autorégressifs spatiaux
- L'approche quasi-expérimentale dans l'estimation de modèles spatiaux

L'étude de l'hétérogénéité spatiale en économétrie

- Instabilité des paramètres et inférence statistique
- La régression géographique pondérée
- Les modèles à régimes spatiaux
- La régression spatiale par quantile
- Interactions entre autocorrélation et hétérogénéité spatiale

PARTIE 3 : Introduction à l'économétrie spatiale sur données de panel

L'économétrie spatiale en données de panel

- Typologie des modèles
- Les panels statiques avec effets spatiaux
- Les panels dynamiques avec effets spatiaux
- Les tests de spécifications

Pré-requis :

Econométrie 2A, R, statistiques exploratoire

Modalités d'évaluation :

Mini projet

Bibliographie :

- Droesbeke, J.J., Lejeune, M. et Saporta, G. (2006), *Analyse statistique des données spatiales*, Technip
- Anselin, L., Florax, R.J.G.M. et Rey, S.J. (2004), *Advances in Spatial Econometrics*, Springer
- LeSage, J. et Pace, K.R. (2009), *Introduction to Spatial Econometrics*, CRC Press
- Anselin, L, Le Gallo, J., et Jayet, J. (2007), *Spatial Panel Econometrics*, In L. Matyas and P. Sevestre (Eds.), *The Econometrics of Panel Data, Fundamentals and Recent Developments in Theory and Practice* (3rd Edition). Dordrecht, Kluwer
- Arbia, G. (2006), *Spatial Econometrics: Statistical Foundations and Applications to Regional Growth Convergence*, New York: Springer
- Corrado, L. and Fingleton, B. (2011), Where is the economics in spatial econometrics ?, *Journal of Regional Science*, 52(2)
- McMillen, Daniel P. (2010), Issues in spatial data analysis, *Journal of Regional Science,* 50(1)

Langue d'enseignement

Français