Programme des enseignements de 3e année Filière GDR

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 GESTION DES RISQUES ET INGÉNIERIE FINANCIÈRE

ANNÉE SCOLAIRE 2020/2021

RISK MANAGEMENT AND FINANCIAL ENGINEERING SPECIALIZATION

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.

L'objectif de la filière Gestion des Risques et Ingénierie Financière est de former des ingénieurs spécialistes de la finance quantitative, capables d'innover et de proposer de nouvelles méthodes d'analyse. Pour cela, une grande importance est accordée à la mise en situation des élèves sur des cas concrets. Ainsi, la part des ateliers traitant de problématiques réelles représente plus du tiers de la totalité des enseignements. L'accent est mis aussi sur les enseignements à forte spécialisation et à caractère innovant qui permettront aux élèves d'aiguiser leur esprit critique et leur créativité, essentiels aujourd'hui dans une industrie financière de plus en plus concurrentielle.

DÉVELOPPEMENT DE COMPÉTENCES-MÉTIERS INNOVANTES ET D'AVENIR

La spécialisation de la filière permet de développer des compétences-métiers solides de data scientist dans les domaines de la gestion des risques et de l'ingénierie financière.

La Gestion des Risques bancaires a acquis depuis une vingtaine d'années une dimension incontournable. Les banques ont besoin de s'appuyer sur des statisticiens, spécialistes de la gestion des risques et de méthodes statistiques avancées, capables de développer des modèles internes robustes. La récente crise financière confirme la nécessité de former des ingénieurs à la pointe de la réglementation et de ses techniques quantitatives.

L'Ingénierie Financière couvre une large palette de compétences et requiert des spécialistes connaissant parfaitement leur domaine d'application. La formation développe deux de ces domaines d'application : la gestion des actifs et la recherche quantitative des salles de marché.
Construire des outils quantitatifs efficaces pour bien gérer l'épargne financière reste indispensable dans un monde avec beaucoup d'incertitude. Les institutions financières ont alors besoin d'ingénieurs financiers compétents dans la gestion et la création de performance.
La recherche quantitative des salles de marché est composée de plusieurs métiers dont celui du "quant" statisticien. L'un de ses objectifs est de fixer le prix de produits dérivés complexes, dits "exotiques". La crise des "subprimes" a mis en évidence, entre autres, une mauvaise évaluation de produits dérivés de crédit. Les cellules de recherche quantitative ont donc besoin de statisticiens confirmés capables de donner un prix à des produits innovants tout en étant au fait des problématiques de la modélisation et de ses possibles manquements.

Le développement de ces compétences-métiers nécessite un enseignement spécifique, exigeant et passionnant. La formation représente un aboutissement à la pluridisciplinarité développée lors des deux premières années en statistique, probabilités, économie/finance, informatique et anglais. Ces savoirs maîtrisés à l'issue des deux premières années sont appliqués au domaine de la gestion des risques et de l'ingénierie financière.

Pour répondre aux exigences de la filière, en plus du tronc commun à tous les élèves de troisième année, l'enseignement est divisé en plusieurs grands domaines.

GESTION DES RISQUES : FONDEMENTS

Enseignement des fondements de la gestion des risques bancaires : réglementation du comité de Bâle, typologie des risques, techniques et méthodes de scoring appliquées à la gestion des risques. Une dose de séries temporelles y est ajoutée, développant une culture générale poussée en techniques économétriques, indispensable à tout ingénieur financier (Méthode des Moments Généralisée, GARCH, cointégration).

GESTION DES RISQUES : APPROFONDISSEMENTS

Approfondissement des techniques de gestion des risques via la théorie des valeurs extrêmes, pour déterminer des mesures de risque extrême précises, et la théorie des copules, pour mesurer de manière robuste des modèles de dépendance des risques multiples.

INGÉNIERIE FINANCIÈRE AVANCÉE ET CULTURE QUANT

Construction d'un socle solide de connaissances sur la gestion des actifs et les produits dérivés : théorie d'évaluation des actifs, calcul stochastique, modèles de courbes de taux, techniques de calibration et de simulation, Investissement socialement responsable. L'objectif est de comprendre la "fabrication" des produits dérivés, dans le but de les calibrer, de mesurer leur risque, ou encore de les utiliser dans un processus d'investissement.

Transversalement à ces domaines d'enseignement, les applications en informatique (R, Python, C++, VBA) sont omniprésentes. Des séminaires professionnels présentent la richesse des métiers du monde de la gestion des risques et de l'ingénierie financière à travers des sujets d'actualité et des témoignages de professionnels. La langue anglaise n'est pas négligée puisqu'un enseignement donne lieu à l'écriture d'un mémoire en anglais ainsi qu'à une soutenance dans cette langue ; un enseignement est également dispensé en anglais.

A l'issue de leur formation, les étudiants de cette filière auront les compétences spécifiques suivantes :

- Identifier, modéliser, estimer et mesurer les grandes classes de risques financiers ;
- Savoir mobiliser une culture du risque, théorique, historique et empirique, dans le contexte réglementaire, juridique et opérationnel de l'environnement bancaire ;
- Capacité à mettre en œuvre plusieurs méthodes statistiques pour éclairer la prise de décision et la gestion des risques bancaires (analyse discriminante, arbres de décision, régression logistique);
- Capacité à évaluer le prix des produits financiers complexes et de maîtriser les techniques de calibration des modèles populaires utilisés en finance de marché ;
- Capacité à mesurer quantitativement le risque de marché d'un portefeuille d'instruments financiers ainsi que le risque de défaut de remboursement de crédit et de changement de notation;
- Capacité à concevoir et mettre en œuvre des stratégies de gestion de portefeuille à forte dominante quantitative.

Partenariats entreprises

Pour appuyer son savoir-faire et son expertise, la filière a signé des partenariats avec deux des plus prestigieuses institutions financières françaises : la Société Générale et le Crédit Agricole S.A., ainsi qu'avec l'Autorité du Contrôle Prudentiel.

Ces partenariats, en plus de la reconnaissance de la formation, permettent de développer des échanges privilégiés via: des cours et des séminaires professionnels, des entretiens blancs avec les ressources humaines sur le campus de l'Ensai, et des journées de recrutement privilégiées pour le stage de fin d'études.

De nombreux stages puis propositions d'emploi sont ainsi proposés aux étudiants.

Certification AMF

Depuis le 1er juillet 2010, la certification professionnelle AMF (Autorité des Marchés Financiers) des acteurs de marché implique une vérification obligatoire du niveau des connaissances réglementaires et techniques des nouveaux employés exerçant une fonction de conseil, de vente, de contrôle ou encore d'analyse sur les produits financiers.

Un partenariat avec Bärchen, habilité à délivrer la certification AMF, a été signé pour permettre aux étudiants de l'Ensai de passer l'examen dans des conditions tarifaires et de travail très favorables : 1 examen, 1 session de rattrapage, 4 examens blancs et 1 accès complet à la base des questions pendant 6 mois.

En outre, l'Ensai est le centre d'examen pour des salariés ainsi que d'autres étudiants de Rennes et de ses environs.

Option Formation Par la Recherche

Une formation par la recherche en Finance est ouverte aux étudiants de haut niveau de la filière Gestion des Risques et Ingénierie Financière désirant compléter leur cursus ingénieur par une formation universitaire en Finance de grande qualité à l'Institut de Gestion de Rennes.

Le diplôme proposé à l'IGR est le Master « Finance » de l'Université de Rennes 1, spécialité *Etudes et recherche en Finance*, dirigé par Nadia Saghi.

	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 Gestion des risques 1					
Gestion des risques bancaires	24			24	2
Techniques et méthodes de scoring	12	18		30	2
Gestion de la liquidité des actifs	12	6		18	1
Total	**48**	**24**		**72**	**5**
UE3 Gestion des risques 2					
Théorie des valeurs extrêmes	16,5			16,5	1
Statistique des risques extrêmes	6	12		18	1
Gestion des risques multiples	18			18	1
Séries temporelles avancées	3	21		24	2
Total	**43,5**	**33**		**76,5**	**5**
UE4 Ingénierie financière					
Investissement socialement responsable	3	15		18	1
Théorie d'Évaluation des Actifs	9	9		18	1
Calcul stochastique	15	9		24	1,5
Calibration de processus stochastiques	15	15		30	2
Modèles de courbes de taux	6	18		24	1,5
Total	**48**	**66**		**114**	**7**
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	**241,5**	**228**	**54**	**523,5**	**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

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 GDR

UE SPÉCIFIQUES FILIÈRE GDR

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

: 263h

Finalité des UE :

La filière GDR à travers ces enseignements spécifiques forme des ingénieurs spécialistes de la finance quantitative, capables d'innover et de proposer de nouvelles méthodes d'analyse. Elle s'articule autour de trois grands domaines de compétences : la réglementation et la gestion des risques bancaires - l'allocation et les stratégies d'investissement – l'innovation en ingénierie financière.

Structuration de l'UE :

La filière GDR inclut 3 UE spécifiques : gestion des risques 1&2, et ingénierie financière.

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

- Identifier, modéliser, estimer et mesurer les grandes classes de risques financiers ;
- Savoir mobiliser une culture du risque, théorique, historique et empirique, dans le contexte réglementaire, juridique et opérationnel de l'environnement bancaire ;
- Capacité à mettre en œuvre plusieurs méthodes statistiques pour éclairer la prise de décision et la gestion des risques bancaires (analyse discriminante, arbres de décision, régression logistique);
- Capacité à évaluer le prix des produits financiers complexes et de maîtriser les techniques de calibration des modèles populaires utilisés en finance de marché ;
- Capacité à mesurer quantitativement le risque de marché d'un portefeuille d'instruments financiers ainsi que le risque de défaut de remboursement de crédit et de changement de notation;
- Capacité à concevoir et mettre en œuvre des stratégies de gestion de portefeuille à forte dominante quantitative.

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 - Gestion des Risques 1

Gestion des risques bancaires
Banking Risk Management

Cours : 24h

Enseignant : Ali ZERRAD (HSBC)

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière "Gestion des Risques et Ingénierie Financière".

Objectif pédagogique

L'objectif de ce cours est d'apporter aux étudiants des connaissances fondamentales, tant théoriques que pratiques, sur la gestion des risques au sein des institutions bancaires. Il présentera les différents types de risques et l'environnement réglementaire, ainsi que les modèles et indicateurs déployés pour quantifier les principaux risques que sont les risques de marché, de crédit et opérationnel.

Contenu de la matière

Chapter 1: Introduction

1. Risk Management
2. Panorama of banking risks
3. Bank balance sheet and bank capital
4. Theory of risk
5. The regulatory framework: from Basel 1 to Basel IV

Chapter 2: Market Risk

1. Market Risk generalities
2. Market Risk sensitivities
3. Value-At-Risk and Expected Shortfall
   - 3.1. Historical approach
   - 3.2. Parametric approach
   - 3.3. Monte Carlo approach
   - 3.4. Non-linear Instruments
   - 3.5. Backtesting
4. Stress Testing
5. Regulatory Framework
   - 5.1. Basel IV (FRTB): Standardized Approach
   - 5.2. Basel IV (FRTB): Internal Model Approach

Chapter 3: Credit Risk

1. Key Concepts of Credit Risk
   - 1.1. Credit Risk Definition
   - 1.2. Credit Risk measures
2. The market of Credit Risk
   - 2.1. Loan market
   - 2.2. Bond market
   - 2.3. Securitization and Credit Derivatives
3. Regulatory framework
   - 3.1. Basel II: The Standardized approach
   - 3.2. Basel II: Internal ratings-based approach

4. Credit Risk Modelling
   4.1. Probability of default
   4.2. Loss Given Default
   4.3. Exposure at Default

Chapter 4: Counterparty Credit Risk and Credit Value Adjustment

1. Counterparty Credit Risk
   1.1. Counterparty Credit Risk definition
   1.2. Counterparty risk exposure definition and metrics
   1.3. Counterparty risk mitigation
   1.4. Regulatory Framework (Basel III)
2. Credit Value Adjustment
   2.1. Credit Value Adjustment definition
   2.2. Unilateral and Bilateral Credit Value Adjustment
   2.3. Credit Value Adjustment in practice
   2.4. Regulatory Framework (Basel III)

Chapter 5: Operational Risk

1. Operational Risk definition
2. Operational Risk classification
3. Regulatory framework
   3.1. Basel II: Basic Indicator approach
   3.2. Basel II: Standardized approach
   3.3. Basel II: Advanced measurement approaches
   3.4. Basel IV Standardised Measurement Approach
4. Loss Distribution approach
   4.1. Loss Distribution estimation
   4.2. Capital charge calculation
   4.3. Incorporating scenario analysis

Pré-requis

Ce cours nécessite une bonne assimilation du cours de Finance de marché et des bases du calcul stochastique ainsi que la maîtrise des outils statistiques usuels.

Contrôle des connaissances

Examen écrit

Références bibliographiques

- DENUIT M. et CHARPENTIER A., 2004, *Mathématiques de l'assurance non-vie – Tome 1 : Principes fondamentaux de théorie du risque*, Economica, 2004.
- DIETSCH M., PETEY J., 2008, *Mesure et gestion du risque de crédit dans les institutions financières*, 2ème édition, Revue Banque Édition.
- ENGELMANN B., 2006, *The Basel II risk parameters: estimation, validation and stress testing*.
- FRACHOT A., MOUDOULAUD O. et RONCALLI T., 2003, *Loss Distribution Approach in Practice*, in *The Basel Handbook: A Guide for Financial Practitioners*, Risk Books.
- GOURIÉROUX C. et TIOMO A., 2007, *Risque de crédit : une approche avancée*, Economica.
- Green, A. (2015). XVA: Credit, Funding and Capital Valuation Adjustments. John Wiley & Sons
- JORION P., 2007, *Value-at-Risk: the new benchmark for controlling market risks (3rd ed.)*.
- McNEIL A.J., FREY R. et EMBRECHTS P., 2005, *Quantitative Risk Management: Concepts, Techniques and Tools*, Princeton Series in Finance.
- RONCALLI T., 2009, *La Gestion des Risques Financiers*, 2ème édition, Economica.
- Ruiz, I. (2015). XVA Desks-a New Era for Risk Management: Understanding, Building and Managing
- Counterparty, Funding and Capital Risk. Springer

Langue d'enseignement

Anglais.

UE2 - Gestion des Risques 1

Techniques et méthodes de scoring
Scoring Techniques and Methods

Cours : 12h • Atelier : 18h

Enseignants : Etienne DEMDAMI (LCL), Sitana VORASARN(LCL)

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière "Gestion des Risques et Ingénierie Financière".

Objectif pédagogique

L'objectif de ce cours est de présenter aux élèves de troisième année l'ensemble des outils de scoring et leur application dans différents secteurs d'activité. Le cours s'axera également sur l'approche métier et la gestion de projet en appliquant les diverses méthodologies abordées sur un exemple concret de mise en situation.

Contenu de la matière

1. Principes du scoring
2. Les modèles classiques (Analyse discriminante, régression logistique)
3. Autres types de modèles (Régression polytomique, durée de vie…)
4. Performance d'un score, choix de seuil et suivi
5. Choix des données et biais de sélection
6. Traitement et sélection des variables

Pré-requis

Régression sur variable catégorielle, statistique inférentielle, statistique non paramétrique, durée de vie.

Contrôle des connaissances

Projet.

Références bibliographiques

- ARDILLY, P., 2006, *Les techniques de sondage*, Technip.
- CELEUX, G., 1990, *Analyse discriminante sur variables continues*, INRIA, Collection
- didactique.
- DAUXOIS, J.Y., 1999, *Statistique de durée de vie*, Polycopié ENSAI.
- DAVIDSON, R. & MACKINNON, J.G., 1993, *Estimation and Inference in Econometrics,* Oxford University Press.
- DROESBEKE, J.J., FICHET, B. & TASSI, P., 1989; *Analyse statistique des durées de vie — Modélisation des données censurées*, Economica.
- FAUSSET, L., 1994, *Fundamentals of Neural Networks — Architectures, Algorithms and applications*, Prentice Hall.
- GOURIEROUX, C., 1989, *Econométrie des variables qualitatives (2e éd.)*, Economica.
- LECOUTRE, J.P. & TASSI, P., 1987, *Statistique non-paramétrique et robustesse*, Economica.
- LOLLIVIER, S., 1990, *Modèles univariés et modèles de durée sur données individuelles*, ENSAE.
- MAROT, E. & GEORGES, P, 2006, *Techniques de scoring et applications bancaires*, Polycopié ENSAI.
- MOREAU, A., 1999, *Econométrie des modèles de durée*, ENSAE.
- PASQUIER, N., 2000, *Data Mining : Algorithmes d'Extraction et de Réduction des Règles d'Association dans les Bases de Données*, Laboratoire d'Informatique et de Modélisation des Organisations et des Systèmes, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- PIQUEPE, O., 2006, *Technique d'analyse de données.* Central Paris ?
- SAPORTA, G., 2011, *Probabilités, analyse des données et statistique (3 éd.)*, Technip.

Langue d'enseignement

Français.

UE2 - Gestion des Risques 1

Gestion de la liquidité de actifs
Asset Liquidity Management

Cours : 12h • Atelier : 6h

Enseignants : Hugo ROUSSE

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière "Gestion des Risques et Ingénierie Financière".

Objectif pédagogique

Ce cours constitue une introduction aux problématiques ALM bancaires, problématiques tenant une place essentielle dans la gestion financière courante d'un établissement bancaire. Ce module s'articule autour de deux grandes parties – qui seront précédées d'une introduction générale sur l'ALM -, la première consacrée aux risques de liquidité, la seconde au risque de taux d'intérêt général.

S'agissant du risque de liquidité, l'objectif est de définir ce pan de l'ALM au centre des préoccupations des banquiers et superviseurs depuis 2007 ; puis de présenter les différentes mesures existantes aujourd'hui, qu'elles émanent des autorités de supervision ou des banques via leurs modèles internes. En dernier lieu, un TD sera consacré à la construction d'un modèle de stress test de liquidité.

La deuxième partie explique pourquoi la banque est exposée au risque de variation de taux et comment ce risque est mesuré. Le cours présente ensuite les modèles utilisés pour évaluer le risque de taux, comment ces modèles sont mis en place et enfin comment ils sont validés. Le dernier chapitre est consacré à des exemples précis de modélisation pour 2 produits d'épargnes communs : le compte courant et le plan épargne logement.

Chaque partie comporte des TD qui se feront en Excel/VBA. Ces TD permettront aux étudiants d'acquérir les notions de base pour mesurer et quantifier le risque de liquidité et le risque de taux.

Contenu de la matière

Introduction

Partie A : Risque de liquidité

I- Définition(s) du risque de liquidité

- ❑ Risque d'illiquidité (risque de transformation)
- ❑ Risque de prix sur la liquidité (coût de financement)
- ❑ Risque lié à la liquidité de marché (prix des actifs)

II- Sources et conséquences du risque de liquidité

- ❑ Analyse des différents canaux de transmission d'une crise de liquidité
- ❑ Analyse de cas concrets (Northern Rock, Dexia, …)

III- Mesure du risque de liquidité

- ❑ Ratios
- ❑ Gap statique ou dynamique, notion de convention d'écoulement

IV- Réglementation

- ❑ Ratios réglementaires : ratio de liquidité français, LCR, NSFR

V- Stress Tests

❑ TD

Partie B : Risque de taux

I- Rappel sur l'ALM

II- Définition du risque de taux

III- La mesure du risque de taux

❑ Exemple avec un bilan simplifié

❑ Gap (ou impasse) de taux

IV- Couverture du risque de taux

V- Production nouvelle et écoulement du bilan

VI- Convention d'écoulement

VII- Stratification

VIII- Backtesting

IX- Exemples

❑ Compte courant

❑ Plan épargne logement

Références bibliographiques

- Introduction à la gestion Actif-Passif, P. Demey, A. Frachot, G. Riboulet, Economica
- Handbook of Asset and Liability Management, A. Adam, Wiley Finance
- Gestion Actif-Passif et tarification des services bancaires, M. Dubernet, Economica
- www.afgap.org/

UE 2– Modélisation

THÉORIE DES VALEURS EXTREMES

Extreme Value Theory

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

Répartition des enseignements

Langue d'enseignement : 1
: 25

: 16h30 de cours
dont 4h30 en autonomie

: Français
Logiciels : R/Python
Documents pédagogiques : Notes de cours, exercices intégrés, correction des exercices, code R
Pré-requis : Intégration, Probabilités et Statistique de 1A

Modalités d'évaluation :

Examen écrit

Acquis d'apprentissage (objectifs) :

- Comprendre la différence entre la statistique classique et celle des valeurs extrêmes ;
- Maîtriser la gamme des modèles statistiques usuels de la théorie des valeurs extrêmes ;
- Savoir utiliser les procédures d'estimation standard des paramètres extrêmes d'une distribution.

Principales notions abordées :

Modèles de valeurs extrêmes : théorème de Fisher-Tippett-Gnedenko, famille de lois GEV, théorème de Pickands-Balkema-de Haan, famille de lois GP. Domaines d'attraction de Fréchet, Weibull et Gumbel. Exemples classiques.
Estimation dans les modèles à queue lourde : définition, méthode d'extrapolation de Weissman, estimation de l'indice de queue par quasi-vraisemblance (estimateur de Hill), biais, choix du seuil, estimation de quantile extrême. Cas pratique sur données actuarielles (avec R).
Estimation hors des modèles à queue lourde : extrapolation via l'approximation GP, estimation des paramètres (estimateur de Pickands, estimateur des moments, pseudo-vraisemblance), estimation de quantile extrême. Cas pratique sur données environnementales (avec R).

Références bibliographiques :

Beirlant, J., Goegebeur, Y., Segers, J., Teugels, J. (2004). *Statistics of Extremes: Theory and Applications*, John Wiley & Sons, Chichester.

Billingsley, P. (1995). *Probability and measure (third edition)*, John Wiley and Sons.

Coles, S. (2001). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*, Springer-Verlag, London.

Dekkers, A.L.M., Einmahl, J.H.J., de Haan, L. (1989). A moment estimator for the index of an extreme-value distribution, *Annals of Statistics* 17(4): 1833-1855.

Diebolt, J., Guillou, A., Rached, I. (2007). Approximation of the distribution of excesses through a generalized probability-weighted moments method, *Journal of Statistical Planning and Inference* 137(3): 841-857.

Drees, H., Ferreira, A., de Haan, L. (2004). On maximum likelihood estimation of the extreme value index, *Annals of Applied Probability* 14(3): 1179-1201.

Embrechts, P., Klüppelberg, C., Mikosch, T. (1997). *Modelling Extremal Events for Insurance and Finance*, Springer-Verlag, Berlin.

de Haan, L., Ferreira, A. (2006). *Extreme Value Theory: An Introduction*, Springer, New York. Erratum : https://personal.eur.nl/ldehaan/EVTbook.correction.pdf

Hall, P. (1982). On estimating the endpoint of a distribution, *Annals of Statistics* 10(2): 556-568.

Hill, B.M. (1975). A simple general approach to inference about the tail of a distribution, *Annals of Statistics* 3(5): 1163-1174.

Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. (1987). Parameter and quantile estimation for the generalized Pareto distribution, *Technometrics* 29(3): 339-349.

Pickands, J. (1975). Statistical inference using extreme order statistics, *Annals of Statistics* 3(1): 119-131.

Resnick, S.I. (2007). *Heavy-Tail Phenomena: Probabilistic and Statistical Modeling*, Springer, New York.

Weissman, I. (1978). Estimation of parameters and large quantiles based on the k largest observations, *Journal of the American Statistical Association* 73(364): 812-815.

Zhou, C. (2009). Existence and consistency of the maximum likelihood estimator for the extreme value index, *Journal of Multivariate Analysis* 100: 794-815.

UE3 - Gestion des Risques 2

Statistique des risques extrêmes
Statistics of extreme risks

Cours : 6h00 • Atelier : 12h00

Enseignant : Nicolas JEANNELLE (Crédit Agricole S.A.)

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière "Gestion des Risques et Ingénierie Financière".

Objectif pédagogique

L'objectif de ce cours est d'étudier les méthodes statistiques inhérentes à la mesure des risques extrêmes et d'appliquer différents modèles paramétriques à l'estimation de Value-at-Risk. Dans ce cadre, la théorie des valeurs extrêmes, ainsi que des modèles à volatilité conditionnelle (GARCH) seront mis en œuvre pour déterminer des Value-at-Risk précises.

Contenu de la matière

1. Value-at-Risk : fondements et premières formalisations
   1.1. Fondements de la VaR
   1.2. Méthodes non-paramétriques
   1.3. Modèlisations paramétriques
2. Value-at-Risk et modélisation des extrêmes
   2.1. Modélisation des maxima par blocs
   2.2. Modélisation de la distribution des excès
   2.3. Value-at-Risk statique
   2.4. Value-at-Risk dynamique

Pré-requis

Théorie des valeurs extrêmes, inférence statistique, modèle GARCH.

Contrôle des connaissances

Projet.

Références bibliographiques

- CLAUSS, P., 2011, *Gestion de Portefeuille*, Dunod.
- EMBRECHTS, P., KLUPPELBERG, C. & MIKOSCH, T., 1997, *Modelling Extremal Events for Insurance and Finance*, Springer, Berlin.
- FREY, R & MCNEIL, J., 2000, *Estimation of Tail-Related Risk Measures for Heteroscedastic Financial Time Series: an Extreme Value Approach*, Journal of Empirical Finance, 7, 271-300.

Langue d'enseignement

Français.

UE3 - Gestion des Risques 2

Gestion des risques multiples
Multiple Risk Management

Cours : 18h00

Enseignant : Ali ZERRAD (HSBC)

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière "Gestion des Risques et Ingénierie Financière".

Objectif pédagogique

L'objectif de ce cours est tout d'abord de définir le concept de copule, outil mathématique permettant d'isoler la structure de dépendance entre plusieurs variables aléatoires. Il abordera en suite l'application de la théorie des copules à la modélisation de la dépendance entre actifs financiers afin de quantifier précisément le niveau de risque.

Contenu de la matière

Partie I : Théorie des copules

1. Définition et propriétés des copules
   - 1.1. Définition
   - 1.2. Propriétés
   - 1.3. Mesures de dépendance
   - 1.4. Dépendance de queue
2. Copules paramétriques
   - 2.1. Copule gaussienne
   - 2.2. Copule Student
   - 2.3. Copules archimédiennes
   - 2.4. Copules de valeurs extrêmes
3. Mise en œuvre des copules
   - 3.1. Méthodes de simulation
   - 3.2. Méthodes d'inférence statistique
   - 3.3. Critères d'ajustement

Partie II : Application

1. Aspects multidimensionnels du risque
   - 1.1. Agrégation des risques de marché
   - 1.2. Charge en capital pour le risque opérationnel
2. Modélisation de la probabilité de défaut
   - 2.1. Approche par les ratings
   - 2.2. Modèle de Merton
   - 2.3. Modèle à intensité constante
3. Mesure du risque crédit
   - 3.1. Modélisation du taux de recouvrement
   - 3.2. Modélisation de la dépendance des défauts
   - 3.3. Estimation d'une CreditVaR

Pré-requis

Probabilités, inférence statistique, méthodes de simulation, calcul stochastique, chaînes de Markov, Gestion des Risques Bancaires.

Contrôle des connaissances

Examen écrit et Projet.

Références bibliographiques

- GENEST, C., RÉMILLARD, B., & BEAUDOIN, D., 2007, *Goodness-of-fit tests for copulas : A review and a power study*, Insurance Mathematics and Economics, 199-213.
- NELSEN, R.B., 2006, *An Introduction to Copulas (2nd ed.)*, Springer.
- RONCALLI, T., 2009, *La Gestion des Risques Financiers (2e éd.)*, Economica.

Langue d'enseignement

Français.

UE 4– Processus et prévision

SERIES TEMPORELLES AVANCEES

Advanced Times Series

Enseignant : Vincent Lefieux (RTE, UPMC)
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)

Répartition des enseignements

Langue d'enseignement : 2
: 36h

: 3h de cours, 21h ateliers

: Français
Logiciels : R/ SAS
Documents pédagogiques :
Pré-requis : cours de séries temporelles en 2A

Modalités d'évaluation :

Projet

Acquis d'apprentissage (objectifs) :

- Maitriser les techniques d'analyse des séries temporelles multivariées couramment utilisées dans les applications
- Savoir utiliser les procédures d'estimation dans le cadre non stationnaire (présence de racines unités et cointégration)
- Mettre en œuvre les méthodes d'estimation et de test présentées dans le cours sur données réelles

Principales notions abordées :

1 : Processus stationnaire (rappels et extensions) : Estimation et tests processus ARMA, SARIMA, GARCH, EGARCH…

2 : Processus non stationnaire : estimation et tests processus à racine unité et estimation des relations de cointégration.

Références bibliographiques :

- BANERJEE, A., DOLADO, J.J., GALBRAITH, J.W., & HENDRY, D.F., 1993, *Co-integration, Error Correction, and the Econometric Analysis of non-stationary data*, Oxford University Press, New-York.
- BROCKWELL, P.J., & DAVIS, R.A., 1998, *Time Series : Theory and Methods*, Springer Series in Statistics, Springer Verlag, Second Edition.
- BROCKWELL, P.J., & DAVIS, R.A., 2002, *Introduction to Time Series and Forecasting (2nd ed.)*, Springer-Verlag, New-York.
- BOURBONNAIS,R., 2011, *Econométrie*, 8ème ed, Dunod.
- FRANCQ, C.,& ZAKOIAN, J., 2009, *Modèles GARCH*, Economica.
- GOURIEROUX, G., 1992, *Modèles ARCH et applications financières*, Economica.
- GOURIEROUX, G., & MONFORT, A., 1995, *Séries temporelles et modèles dynamiques*, 2ème ed., Economica.
- HAMILTON, J.D., 1994, *Time Series Analysis,* Princeton Univ. Press.
- MADDALA, G.S., & KIM, I.M., 1998, *Unit Roots, Cointegration and Structural Change*, Cambridge University Press.
- MIGNON, V., LARDIC, S., 2002, *Econométrie des séries temporelles macroéconomiques et financières*, Economica.
- PFAFF, B., 2008, *Analysis of Integrated and Cointegrated Time Series with R*, 2nd ed., Springer.
- TSAY, R.S, 2010, *Analysis of Financial Time Series*, 3rd edition, Wiley.

UE5 - Culture Quant

Calcul stochastique
Stochastic Calculus

Cours : 15h • Atelier : 9h

Enseignant : Basile DE LOYNES (Ensai))

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière "Gestion des Risques et Ingénierie Financière".

Objectif pédagogique

Ce cours vise à fournir une présentation de la théorie des processus stochastiques et du calcul d'Itô, et à montrer comment ces notions et outils entrent dans des problématiques d'évaluation et de gestion des risques, auxquels les praticiens de la finance sont constamment confrontés. Le but est alors :

- d'expliquer les motivations pour l'emploi des processus stochastiques comme outils de modélisation des grandeurs économiques et financières,
- de motiver l'investissement mathématique spécifique nécessaire à la manipulation des processus stochastiques,
- de fournir les résultats mathématiques principaux des théories abordées,
- de présenter des exemples concrets d'emploi des processus stochastiques en évaluation et gestion des risques.

Contenu de la matière

1. Introduction : Rappel sur quelques notions de finance (marchés, arbitrage, options, etc.).
2. Processus à temps continu et mouvement brownien.
3. Intégration stochastique et formule d'Itô.
4. Modèle de Black-Scholes et évaluation d'options.
5. Intégrale stochastique par rapport à une martingale continue.
6. Equations différentielles stochastiques. Théorème de Girsanov.
7. Evaluation des produits dérivés.
8. Introduction des modèles avec processus à sauts

Pré-requis

Une bonne maîtrise des outils probabilistes étudiés à l'Ensai, en particulier du cours de martingales de 2ème année.

Contrôle des connaissances

Examen écrit.

Références bibliographiques

- CONT R. & TANKOV P., *Financial Modeling with Jumps Processes*, Chapman and Hall.
- EL KAROUI, N. & GOBET E., *Les outils stochastiques des marchés financiers*. Editions Ecole Polytechnique.
- KARATZAS, I. & SHREVE S.E. *Brownian motion and Stochastic Calculus*, Springer.
- KARATZAS, I. & SHREVE S.E. *Methods of Mathematical Finance*, Springer.
- LAMBERTON, D. & LAPEYRE, B. *Introduction au calcul stochastique appliqué à la finance (3e éd.)*, Ellipses.
- OKSENDAL, B. *Stochastic Differential Equations*, Springer.
- REVUZ D. & YOR M. *Continuous Martingales and Brownian Motion*, Springer.

Langue d'enseignement

Français (et une partie en anglais).

UE 5– Culture Quant

CALIBRATION DES PROCESSUS

Calibration of Processes

Enseignant : Salima El Kolei (ENSAI)
Nombre d'ECTS
Volume horaire de travail élève
(enseignements + travail personnel)

Répartition des enseignements

Langue d'enseignement : 2
: 45h

: 15h de cours, 15h de TP
dont 6h en autonomie

: Français
Logiciels : R/Python/ Matlab
Documents pédagogiques : Slides/ Manuscrit
Pré-requis : statistique inférentielle, chaine de Markov, calcul bayésien, calcul stochastique

Modalités d'évaluation :

Projet

Acquis d'apprentissage (objectifs) :

- Connaître les méthodes standards de discrétisation d'équation différentielles stochastiques ;
- Savoir utiliser les techniques d'estimation des modèles à volatilité stochastique (Heston) et modèles à sauts (Merton) ;
- Maitrise des techniques de pricing par Monte Carlo et réduction de la variance.

Principales notions abordées :

1. Revue des modèles : Modèle de Black-Scholes, volatilité implicite, modèle Orstein Uhlenbeck, modèle à volatilité stochatique d'Heston, modèles à saut de Merton…
2. Méthodes de pricing/hedging et calcul des Grecs par Monte Carlo
3. Discrétisation des processus (schéma d'Euler-Maruyama & schéma de Milshtein)
4. Techniques de réduction de la variance dans le cadre du pricing

Références bibliographiques :

- ∀ HULL, J., 2012, *Options futures and other derivatives (8th ed.)*, Prentice Hall. ∀ NEFTCI, S.N., 2008,
- *Introduction to Calibration Methods in Finance*, Wiley Finance .
- KWOK Y.W. (1998) : Mathematical models of financial derivatives, Springer .
- CONT, R. & TANKOV, P., 2004, *Finance Modelling with Jump Processes*, Chapman & Hall.

UE5 - Ingénierie Financière Avancée

ENSAI

Modèles de courbes de taux
Yield Curves Models

Cours : 6h • Atelier : 18h

Enseignant : Faïçal HIHI (Natixis)

Correspondant : Samuel DANTHINE

Enseignement destiné aux élèves de la filière "Gestion des Risques et Ingénierie Financière".

Objectif pédagogique

L'objectif de ce cours est de présenter les méthodes d'évaluation et de couverture des produits vanilles et exotiques de taux d'intérêt.
La première partie du cours détaille la multitude de courbes de taux que l'on peut rencontrer sur le marché et aborde la question de leur comportement empirique.
La deuxième partie se propose de former les étudiants aux différentes méthodes de construction d'une courbe de taux à partir de la cotation des instruments standards (futures, swaps…). Nous verrons en détail les techniques dites de bootstrapping et de stripping d'une courbe des taux Zéro-Coupon.
La troisième partie est consacrée aux modèles stochastiques de la courbe de taux permettant la valorisation et la couverture des produits de taux. Nous reviendrons alors sur la description et la valorisation d'options vanilles (caps, floors, swaptions) avant d'aborder certains produits plus exotiques nécessitant l'utilisation d'un modèle plus avancé (modèles de taux court, HJM, etc.).
Enfin les deux dernières parties donnent un aperçu des univers du change et de l'inflation en introduisant les briques de base. Nous y aborderons notamment – de la même manière que nous l'avons fait dans le monde des taux - la problématique de la construction des courbes de taux de change forward et d'inflation anticipé.
Les applications se feront en VBA.

Contenu de la matière

1. Définition de la courbe de Taux
   1.1. Définition de la courbe de taux
   1.2. Définition des différents taux
   1.3. Comportement empirique d'une courbe de taux

2. Méthodologies de construction de la courbe des taux
   2.1. Les différents types de courbe de taux
   2.2. Le bootstrapping
   2.3. Le stripping
   2.4. Une méthode alternative de reconstitution

3. Modèles de courbe de taux
   3.1. Rappels de probabilité
   3.2. Le modèle de Black
   3.3. Les modèles de taux court
   3.4. Le modèle de HJM
   3.5. Le modèle de BGM
   3.6. Les modèles Markov-Functional

4. Introduction au marché des changes
   4.1. Principales caractéristiques
   4.2. Relations d'arbitrage
   4.3. Les Instruments de base

4.4. Les options de change
4.5. Les dérivés de première et deuxième génération

5. Introduction au marché de l'Inflation
   5.1. Concepts de base
   5.2. Les obligations indexées sur inflation
   5.3. Introduction aux dérivés sur inflation
   5.4. Un rapide aperçu des modèles

Pré-requis

Probabilités, Processus stochastiques, Black & Sholes, Produits dérivés, Finance de marché.

Contrôle des connaissances

Projet.

Références bibliographiques

- ANDERSEN, L. & PITERBARG, V., *Interest Rate Modeling*, Atlantic Financial Press, 2010
- BIANCHETTI, M., 2008, *Two Curves, One Price: Pricing & Hedging Interest Rate Derivatives Using Different Yield Curves for Discounting and Forwarding*, Working Paper.
- BOENKOST, W. & SCHMIDT, W., 2005, *Cross currency swap* valuation, Working Paper, HfBBusiness School of Finance & Management.
- BRIGO, D. & MERCURIO, F., 2006, *Interest- Rate Models: Theory and Practice - With Smile, Inflation and Credit (2nd ed.)*, Springer Finance.
- BURDA, M. & WYPLOSZ, C., *Macroéconomie : Une perspective européenne*, 6ème édition, De Boeck, 2012
- EL KAROUI, N, *Couverture des risques dans les marchés financiers*, Cours Ecole Polytechnique
- FRACHOT, A, *Théorie et pratique des instruments financiers*, Cours Ecole Polytechnique
- HAGAN, P.S. & WEST, G., 2006, *Interpolation methods for curve construction*, Applied Mathematical Finance, 13(2):89-129.
- HAGAN, P.S. & WEST, G., 2008, *Methods for constructing a yield curve*, Wilmott Magazine, May, 70-81.
- HAKALA, J., WYSTUP, U, 2002, *Foreign Exchange Risk: Models, Instruments and Strategies*, Riskbooks.
- HULL, J., 2012, *Options, Futures, and Other Derivatives* (8th Edition), Prentice Hall.
- HUNT, P.J. & KENNEDY, J.E., *Financial Derivatives in Theory and Practice (rev. ed.)*, Wiley, 2004
- KERKHOF, J., *Inflation Derivatives Explained : Markets, Products and Pricing*, Lehman Brothers, 2005
- MARTELLINI, L., PRIAULET, P. & PRIAULET, S., 2003, *Fixed-Income Securities: Valuation, Risk Management and Portfolio Strategies*, Wiley.
- PATTERSON, B. & LYGNERUD, K., *Détermination des taux d'intérêt*, Parlement Européen, Direction Générale des Etudes, Série Affaires économiques, ECON-116 FR, 1999

Langue d'enseignement

Français.