

Royaume du Maroc

Haut Commissariat au Plan

Institut National de Statistique
et d'Economie Appliquée
INSEA



المملكة المغربية

المنووية السامية للتخطيط

المعهد الوطني لإحصاء
والاقتصاد التطبيقي

CENTRE D'ETUDES DOCTORALES

Sciences, Ingénierie et Développement Durable

(CeDoc-SIDD)

Appel à candidature pour inscription au Doctorat au titre de l'année 2026

Liste des sujets proposés

30 Septembre 2025

INSEA B.P. c217, Madinat Al Irfane, Rabat-Instituts, Rabat, Maroc
Tél. : +212 (0)5 37 77 48 55/c0 Fax : + 212 (0) 537 77 54 57

Laboratoire SI2M

Systemes d'informations, systemes intelligents et modelisation mathematique.

SISI 1 : Autonomous Optimization in Distributed Database Systems using Machine Learning Techniques

Directrice de these : Rajaa SAIDI, Professeure de l'Enseignement Superieur a l'INSEA

Mail : r.saidi@insea.ac.ma

Profil : <https://sites.google.com/site/rajaasaidi/>

Présentation

L'optimisation autonome dans les systemes de bases de donnees distribuées a l'aide de techniques d'apprentissage automatique est un domaine de recherche emergent qui vise a améliorer la performance, l'efficacité et la gestion des ressources des bases de données réparties sur plusieurs noeuds ou serveurs.

En effet, les bases de données distribuées sont conçues pour gérer de grandes quantités de données en les répartissant sur plusieurs emplacements, ce qui permet une meilleure scalabilité et une disponibilité accrue. Cependant, la gestion de ces systemes peut être complexe, notamment en ce qui concerne l'optimisation des requêtes, la distribution des données et la gestion des ressources.

Objectifs de la these

Cette these vise a apporter les contributions suivantes :

- Développement de méthodes d'optimisation autonomes pour les systemes de bases de données distribuées.
- Intégration efficace de l'apprentissage automatique dans le processus de gestion des bases de données.
- Amélioration des performances et de la réactivité des systemes face aux charges de travail dynamiques.

Applications

- Optimisation des requêtes : Améliorer le plan d'exécution des requêtes en adaptant les stratégies en fonction des charges de travail observées.
- Partitionnement et réplique des données : Utiliser des modèles prédictifs pour décider comment partitionner et répliquer les données de manière optimale.
- Gestion des ressources : Ajuster dynamiquement l'allocation des ressources (CPU, mémoire, stockage) en fonction des besoins en temps réel des applications.

SISI 2 - Apport de l'Intelligence Artificielle dans la Cybersécurité : vers un modèle d'Apprentissage Automatique et Génératif pour la Détection et la Réaction aux Cybermenaces dans les Systèmes Distribués.

Prof. Imane CHLIOUI & Prof. Maryam RADGUI
SI2M Laboratory, INSEA
ichlioui@insea.ac.ma, m.radgui@insea.ac.ma

Descriptif :

Dans un contexte international caractérisé par la prolifération des cybermenaces et la complexité croissante des systèmes d'information notamment distribués, ainsi que les limites et lacune des systèmes actuels de cybersécurité face aux nouvelles menaces, qui de manière intrinsèque, sont devenues de plus en plus systémiques du fait de l'étendue de la surface d'attaque des acteurs ciblés.

Face à ces risques avérés, les approches traditionnelles de détection d'intrusions (IDS) basées sur les signatures et les anomalies de comportements normaux ont montré leurs limites, et il devient primordial de découvrir le potentiel émergent offert par les techniques de l'intelligence artificielle (IA) et l'IA générative (genAI), qui ouvrent de nouvelles perspectives pour les entreprises et organismes, mais présentent également des risques significatifs qui doivent être bien maîtrisés. Ainsi, la présente thèse étudie et explore les applications et techniques des différents modèles de l'IA (ML, DL) et de la genAI en cybersécurité. L'objectif principal de ce sujet est de proposer des solutions innovantes et sécurisées pour la détection proactive et précoce des menaces et une réponse rapide et efficace dans un environnement dynamique. Cette thèse contribue aux efforts déployés par les entreprises qui manifestent une volonté croissante de renforcer leur niveau de cybersécurité afin de mieux anticiper et contrer les menaces émergentes.

Problématique

Comment concevoir un modèle intégrant apprentissage automatique et IA générative capable de :

1. Détecter efficacement des comportements anormaux ou malveillants dans des environnements distribués, même lorsqu'ils sont inconnus ou masqués.
2. Réagir de manière autonome, adaptative et en temps réel aux cyberattaques détectées.

3. Maintenir la robustesse et la fiabilité face à des attaques adversariales visant les modèles d'IA eux-mêmes.

Objectifs scientifiques

- Développer une architecture hybride combinant :
 - Apprentissage supervisé/non supervisé pour la détection d'anomalies et d'intrusions,
 - Modèles génératifs (GAN, VAE, Diffusion Models) pour la simulation d'attaques, l'augmentation de données et la prédiction de comportements adverses,
 - Mécanismes adaptatifs pour la réaction automatique (isolement de nœuds, mise à jour dynamique des politiques de sécurité).

Mots-clés: Cybersécurité, Cybermenaces, Cyber risques, Système de Détection d'Intrusion (IDS), Détection proactive, Intelligence artificielle, IA générative, Machine Learning, Deep Learning, Attaques adversariales GenAI, Prompt injection, GenAI défensive et défensive, Agentic AI, intégration RAG

SISI 3 - Information incomplète et apprentissage : vers une théorie des jeux bayésienne de l'intelligence artificielle

Prof. Imane CHLIOUI & Prof. Mohamed Nabil Saidi
SI2M Laboratory, INSEA
ichlioui@insea.ac.ma, msaidi@insea.ac.ma

Contexte

Dans de nombreux environnements d'Intelligence Artificielle (IA), les agents intelligents doivent prendre des décisions sans connaître parfaitement l'état du monde ni les intentions des autres agents. On parle alors de jeux à information incomplète.

La théorie des jeux bayésienne fournit un cadre mathématique pour modéliser cette incertitude :

- Chaque agent possède une information privée (type, préférences, capacités, stratégies possibles).
- Les agents ne connaissent que des probabilités sur les types des autres.

- Les décisions optimales sont définies par des équilibres bayésiens, généralisant l'équilibre de Nash.

En parallèle, l'apprentissage automatique (machine learning et deep learning) permet aux agents de mettre à jour leurs croyances, d'anticiper les comportements adverses ou coopératifs et d'adapter leurs stratégies au fil du temps.

Problématique de recherche

Comment développer une théorie des jeux bayésienne adaptée à l'IA, intégrant :

1. Apprentissage des distributions de probabilité à partir de données incomplètes ou bruitées.
2. Prise de décision adaptative dans des environnements dynamiques et multi-agents.
3. Robustesse face à des comportements stratégiques, adversariaux ou imprévisibles.

Objectifs scientifiques

- Étendre la théorie des jeux bayésiens classique pour la rendre apprenante (agents qui ajustent croyances et stratégies).
- Proposer des algorithmes d'équilibre bayésien approximatif exploitant apprentissage supervisé, renforcement ou apprentissage inverse.

Mots-clés : Théorie des jeux, Apprentissage Automatique & IA, Applications IA & systèmes multi-agents, Adversarial Learning, Apprentissage collaboratif, Théorie de l'information

SISI 4 « Ingénierie logicielle augmenté par l'IA (AI-Driven Software Engineering) : vers une génération et une maintenance automatique de code »

Pr. RADGUI Maryam

m.radgui@insea.ac.ma

Le développement logiciel requiert aujourd'hui une réactivité extrême et une qualité irréprochable. Malgré les avancées de l'automatisation (CI/CD, DevOps), les étapes clés tels que la génération de code, la détection de bugs, le refactoring ...etc, demeurent chronophages et sujettes à l'erreur humaine. Les modèles d'IA, notamment les grands modèles de langage (LLM), ouvrent la voie à un génie logiciel "AI-driven", capable de proposer, valider et même corriger du code en temps réel. Les objectifs scientifiques de cette thèse s'articulent autour de la :

1. Modélisation : Développement des modèles IA capables de comprendre les spécifications fonctionnelles (texte, user stories, UML).
2. Génération : Production du code conforme aux bonnes pratiques, avec prise en compte des contraintes de performance et de sécurité.
3. Maintenance prédictive : Détection et correction automatique des bugs techniques.

4. Qualité logicielle : Intégration des métriques de qualité (maintenabilité, couverture de tests) dans le processus d'IA.

Mots clés : Ingénierie logicielle, IA, CI/CD, DevOps, LLM, automatisation, génération de code, qualité logicielle.

Références :

1. Terragni, Valerio, et al. "The future of AI-driven software engineering." *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology* 34.5 (2025): 1-20.
2. Anand, Avinash, et al. "A Comprehensive Survey of AI-Driven Advancements and Techniques in Automated Program Repair and Code Generation." *arXiv preprint arXiv:2411.07586* (2024).
3. Dong, Yihong, Xue Jiang, Jiaru Qian, Tian Wang, Kechi Zhang, Zhi Jin, and Ge Li. "A Survey on Code Generation with LLM-based Agents." *arXiv preprint arXiv:2508.00083* (2025).
4. KANTEK, B. P. AI-driven Software Development Source Code Quality.
5. Rasheed, Z., Sami, M. A., Waseem, M., Kemell, K. K., Wang, X., Nguyen, A., ... & Abrahamsson, P. (2024). Ai-powered code review with llms: Early results. *arXiv preprint arXiv:2404.18496*.

SISI 5 : Fusion multimodale et Large Language Models pour l'analyse des sentiments et la reconnaissance des émotions

Encadrants : Said Jabbour — Mohamed Nabil Saidi

La reconnaissance des émotions (Emotion Recognition, ER) a connu des avancées significatives, passant des systèmes unimodaux (texte, voix, image) à des approches multimodales intégrant plusieurs sources d'information : expressions faciales, signaux vocaux, signaux physiologiques (ECG, EEG, GSR) et langage corporel. Cette évolution a montré le potentiel des approches multimodales à mieux capter la complexité des états affectifs humains. Malgré des progrès notables, les stratégies de fusion adoptées jusqu'à présent demeurent largement mécaniques et peu adaptatives. La fusion précoce, qui consiste à concaténer les représentations brutes ou extraites de chaque modalité avant classification, peine à gérer les asynchronies temporelles et les différences de granularité

entre les signaux. La fusion tardive, quant à elle, combine les décisions issues de modèles unimodaux indépendants, au prix d'une perte d'information contextuelle cruciale pour la résolution des ambiguïtés émotionnelles. Même les approches plus sophistiquées, fondées sur des mécanismes d'attention croisée ou des réseaux dédiés à la modélisation des interactions intermodales, restent fondamentalement des systèmes spécialisés, figés dans leur logique de combinaison, incapables de raisonner sur les contradictions, d'expliquer leurs choix, ou de s'adapter à de nouveaux contextes sans réentraînement coûteux. Ces limites deviennent particulièrement criantes lorsqu'il s'agit d'intégrer des modalités aussi hétérogènes que le texte, l'audio, l'image dynamique et les signaux physiologiques, dont les dynamiques temporelles et les niveaux d'abstraction varient considérablement. Parallèlement, l'émergence des grands modèles de langage (Large Language Models (LLMs)) a révolutionné le traitement automatique des langues en apportant des capacités sans précédent en compréhension contextuelle, généralisation et apprentissage par transfert. Aujourd'hui, ces modèles sont de plus en plus intégrés dans des architectures multimodales (par ex. GPT-4, LLaVA, Flamingo), permettant de traiter conjointement le texte, l'audio, l'image et bientôt les signaux physiologiques. Cependant, plusieurs défis persistent liés à la fusion multimodale et LLMs. Premièrement, comment tirer parti des LLMs pour intégrer efficacement des

modalités hétérogènes et temporelles (texte, voix, signaux physiologiques) au-delà du langage ?. Second, il s’agit de l’adaptation multilingue et langues à faibles ressources : les LLMs sont principalement entraînés sur des langues à forte couverture (anglais, chinois), ce qui limite leur efficacité sur l’arabe ou les dialectes régionaux (ex. dialecte marocain). Enfin, pour les contraintes temps réel et efficacité : l’utilisation des LLMs implique une complexité computationnelle importante, posant la question de l’équilibre entre performance, latence et déploiement dans des environnements interactifs.

Objectifs de recherche

L’objectif de cette thèse est d’explorer l’usage des LLMs comme noyau central de la fusion multimodale pour la reconnaissance des émotions et l’analyse des sentiments. Il s’agit de développer des architectures hybrides basées sur LLMs multimodaux capables d’intégrer des représentations issues de signaux vocaux, textuels et physiologiques. Il s’agit également d’explorer des stratégies de prompting multimodal et de fine-tuning spécialisé pour adapter les LLMs aux tâches de reconnaissance émotionnelle.

Un second objectif de cette thèse est de proposer des mécanismes de fusion hiérarchique et attentionnelle guidés par les LLMs pour mieux exploiter les corrélations entre modalités et enfin enrichir et adapter des corpus multimodaux multilingues. Les travaux issus de cette thèse seront exploités comme outils de détection précoce et suivi des troubles émotionnels.

Références bibliographiques

1. Li, X., Wang, Y., & Zhang, H. (2023). Self-supervised Learning for Multimodal Sentiment Analysis : A Comprehensive Review. *IEEE Access*, 11, 12345–12360.
2. Poria, S., Cambria, E., Bajpai, R., & Hussain, A. (2022). Multimodal Sentiment Analysis : Advances and Challenges. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 13(2), 456–470.
3. Chen, M., Wei, Y., Wang, L., Chen, L., & Li, J. (2021). Masked Multimodal Transformer for Emotion Recognition. *AAAI*, 35(3), 2456–2463.
4. OpenAI (2023). GPT-4 Technical Report. arXiv :2303.08774.
5. Alayrac, J.-B., et al. (2022). Flamingo : a Visual Language Model for Few-Shot Learning. *NeurIPS*.
6. Liu, H., et al. (2023). Visual Instruction Tuning. arXiv :2304.08485 (LLaVA).
7. Baltrušaitis, T., Ahuja, C., & Morency, L. P. (2018). Multimodal Machine Learning : A Survey and Taxonomy. *IEEE TPAMI*, 41(2), 423–443.

SISI 6 : IA générative et hyper-personnalisation : vers une nouvelle ère du marketing relationnel

Encadrants : Walid Cherif — Mohamed Nabil Saidi

Descriptif : Ce projet de recherche vise à étudier comment les modèles d'intelligence artificielle générative (tels que GPT ou diffusion models) transforment les stratégies de personnalisation dans le marketing. L'objectif est d'analyser leur potentiel pour générer des contenus sur-mesure (textes, images, vidéos) adaptés aux préférences individuelles des consommateurs, tout en tenant compte des enjeux éthiques (vie privée, biais, manipulation). La thèse cherchera à proposer un cadre conceptuel et des modèles opérationnels permettant aux entreprises de passer de la personnalisation de masse à l'hyper-personnalisation interactive, créant ainsi de nouvelles formes de valeur relationnelle.

SISI 7 : Conception et évaluation de modèles et techniques d'interprétabilité pour le Deep Learning

Encadrants : Walid Cherif — Mohamed Nabil Saidi

Contexte et problématique Les modèles de deep learning se sont imposés comme des outils incontournables dans de nombreux domaines (vision, langage, santé, finance). Cependant, leur opacité en fait de véritables « boîtes noires », ce qui rend la prise de décision difficile ou injustifiable, en particulier dans les contextes critiques où la transparence et la confiance sont indispensables. Ce manque d'explicabilité freine l'adoption de l'IA dans des environnements sensibles et soulève des enjeux éthiques, réglementaires et sociétaux majeurs.

Objectifs de recherche Ce projet vise à explorer et concevoir des approches permettant de renforcer l'interprétabilité des modèles de deep learning, selon une démarche progressive :

1. **Phase initiale :** expérimenter et évaluer des méthodes d'interprétation post-hoc appliquées à des modèles existants, afin d'en mesurer la valeur ajoutée et la pertinence.
2. **Phase évolutive :** si les résultats obtenus ne satisfont pas aux exigences de performance, de compréhension et d'impact, évoluer vers la conception d'un *modèle hybride intrinsèquement interprétable*, développé *from scratch*, combinant performance et transparence.

Originalité Tester systématiquement les deux pistes (post-hoc vs. intrinsèque) et retenir celle qui offre la meilleure valeur scientifique et applicative.

Valeur ajoutée scientifique et sociétale

- **Scientifique :** proposer soit de nouvelles techniques d'interprétation adaptées aux modèles existants, soit un modèle hybride intrinsèquement interprétable (contribution à l'XAI).
- **Sociétale :** favoriser la confiance et l'adoption de l'IA dans des domaines sensibles (santé, finance, droit) via des décisions plus transparentes, compréhensibles et justifiables.
- **Industrielle :** répondre à la demande de solutions d'IA responsables et conformes aux exigences réglementaires émergentes (p. ex. *AI Act* en Europe).

SISI 8 : Cybersécurité proactive et adaptative pour les dispositifs IoT médicaux basée sur l'IA : détection, défense et résilience face aux attaques sophistiquées

Encadrants : Bouchra Honnit — Mohamed Nabil Saidi

Les appareils médicaux IoT, tels que les dispositifs de surveillance cardiaque, les pompes à insuline et les équipements connectés pour les soins à distance, sont devenus essentiels pour le suivi et le traitement des patients [1]. Leur interconnexion et leur dépendance aux réseaux numériques les exposent à une variété de cyberattaques, allant des intrusions classiques aux ransomwares [2][3], ainsi qu'aux attaques adversariales ciblant les modèles d'intelligence artificielle utilisés pour l'analyse des données médicales [4]. Les approches traditionnelles de cybersécurité, souvent statiques et réactives, ne suffisent plus à protéger ces systèmes critiques [3][6], ce qui nécessite l'élaboration de stratégies proactives et adaptatives capables de détecter les anomalies en temps réel, de répondre aux menaces émergentes et de renforcer la résilience des dispositifs médicaux IoT.

L'objectif principal de cette thèse est de concevoir un cadre de cybersécurité proactif et adaptatif basé sur l'intelligence artificielle, spécifiquement destiné aux dispositifs IoT médicaux. Ce cadre intégrera des modèles de machine et deep learning capables d'analyser les flux de données en séries temporelles provenant des capteurs biomédicaux afin de détecter des anomalies ou des comportements suspects [5]. Il comprendra également un système adaptatif capable de modifier dynamiquement les mesures de sécurité en fonction de l'évolution des menaces détectées, garantissant ainsi la continuité des soins et la protection des données sensibles [6]. La thèse analysera également la vulnérabilité des modèles d'IA face aux attaques adversariales [4] et proposera des mécanismes de défense appropriés pour renforcer la robustesse globale du système.

Pour valider ce travail, la méthodologie combinera la collecte et le prétraitement des données IoT médicales [1][5], la conception et l'entraînement de modèles IA pour la détection proactive [4], ainsi que la mise en œuvre d'un système adaptatif capable de répondre aux attaques en temps réel [2][6]. Les tests expérimentaux seront réalisés sur des environnements simulés ou à partir de données anonymisées représentatives, permettant d'évaluer l'efficacité du système face aux attaques adversariales et aux ransomwares [3][4].

Ce projet vise à produire des résultats à la fois scientifiquement rigoureux et directement applicables dans le domaine hospitalier [6], offrant un potentiel de transfert industriel vers les fabricants de dispositifs médicaux et les établissements de santé. Il apportera également une contribution significative à la sécurité et à la résilience des infrastructures médicales connectées, en proposant un cadre intégré qui combine détection proactive, défense adaptative et robustesse face aux attaques avancées.

Mots-clés : IoT médical, cybersécurité adaptative, détection proactive d'attaques, machine learning, deep learning, attaques adversariales, ransomware.

Références

1. Panahi, O. (2025). Secure IoT for healthcare. *European Journal of Innovative Studies and Sustainability*, 1(1), 17–23.
2. ElSayed, Z., Abdelgawad, A., & Elsayed, N. (2025). Cybersecurity and Frequent Cyber Attacks on IoT Devices in Healthcare : Issues and Solutions. *arXiv preprint arXiv :2501.11250*.
3. Mirzaaxmedov, D. (2025). REVIEW IOT CYBERSECURITY : EMERGING RISKS AND MITIGATION APPROACHES – A COMPREHENSIVE SURVEY. *Modern American Journal of Engineering, Technology, and Innovation*, 1(6), 117–126.
4. Jamshidi, S., Nikanjam, A., Nafi, K. W., Khomh, F., & Rasta, R. (2025). Application of deep reinforcement learning for intrusion detection in Internet of Things : A systematic review. *Internet of Things*, 101531.
5. Khanizadeh, F., Ettefaghian, A., Wilson, G., Shirazibeheshti, A., Radwan, T., & Luca, C. (2025). Smart data-driven medical decisions through collective and individual anomaly detection in healthcare time series. *International Journal of Medical Informatics*, 194, 105696.
6. Bhatt, S. I. (2025). Cybersecurity Risks in Connected Medical Devices : Mitigating Threats to Patient Safety. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 9(2), 433–444.

SISI 9 : Apprentissage auto-supervisé multimodal pour la compréhension et la prédiction des crimes urbains

Encadrants : Lahcen El Bouny — Mohamed Nabil Saidi

La criminalité urbaine constitue un défi majeur pour les sociétés contemporaines. Grâce aux initiatives d'*open data*, de nombreuses villes (Chicago, New York, Londres) mettent à disposition des bases publiques de criminalité comprenant des informations textuelles, tabulaires et parfois visuelles (rapports d'incidents, données géospatiales, vidéos de surveillance). Ces données offrent un terrain fertile pour le développement de modèles prédictifs capables d'anticiper des événements criminels et d'aider les décideurs publics à mieux planifier leurs interventions.

Jusqu'à présent, les approches de prédiction de la criminalité reposent essentiellement sur des méthodes statistiques classiques ou des modèles d'apprentissage supervisé exploitant des données tabulaires (ex. lieu, heure, type d'incident). Toutefois, ces méthodes présentent des limites : difficulté à intégrer des modalités hétérogènes (texte, images, vidéos, données contextuelles), dépendance à des annotations coûteuses, et manque de généralisation à d'autres contextes urbains.

Parallèlement, l'émergence des approches d'**apprentissage auto-supervisé multimodal** (self-supervised multimodal learning) ouvre de nouvelles perspectives. Ces techniques, basées sur l'apprentissage contrastif ou la prédiction masquée, permettent de créer des représentations riches et transférables à partir de données massives non annotées. Combinées avec des modèles avancés (transformers multimodaux, réseaux spatio-temporels), elles peuvent capturer des corrélations complexes entre dimensions spatiales, temporelles et sociales de la criminalité.

Objectifs de recherche L'objectif de cette thèse est de développer des méthodes d'apprentissage auto-supervisé multimodal pour la compréhension et la prédiction des crimes urbains. Plus précisément :

- Créer des représentations multimodales robustes à partir de données publiques :
 - **Texte** : descriptions des crimes, rapports d'incidents ;
 - **Images/Vidéos** : scènes de caméras urbaines, bases vidéo (ex. *UCF-Crime*) ;
 - **Données tabulaires et contextuelles** : localisation, heure, météo, densité de population.
- Intégrer des modèles hybrides (transformers multimodaux + réseaux spatio-temporels) pour capturer les relations crime–espace–temps.
- Explorer des stratégies de prédiction d'événements criminels : détection de **hotspots** criminels, anticipation des périodes et zones à risque.

Un second objectif est de proposer des architectures généralisables à différents contextes urbains, tout en respectant les contraintes de confidentialité et d'éthique.

Applications envisagées

- **Outils d'aide à la décision** pour les municipalités et services de sécurité ;
- **Anticipation des zones à risque** pour optimiser la présence policière et les ressources de prévention ;
- **Politiques publiques basées sur les données** pour une meilleure allocation des moyens dans un cadre urbain intelligent.

Références

1. Wang, Z., Li, J., Xu, Y., & Liu, C. (2022). Multimodal Crime Prediction with Spatio-Temporal Graph Neural Networks. *IEEE Transactions on Big Data*.
2. Liu, J., Zhou, Z., & Wu, F. (2023). Self-Supervised Representation Learning for Multimodal Urban Data. *ACM SIGKDD*.
3. Soares, E., Ribeiro, M. H. D. M., & Prudêncio, R. B. C. (2021). Predicting Crime Using Spatio-Temporal Deep Learning. *Applied Soft Computing*, 113, 107918.
4. Sultani, W., Chen, C., & Shah, M. (2018). Real-world Anomaly Detection in Surveillance Videos. *CVPR (UCF-Crime)*.
5. Radford, A., et al. (2021). Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision (CLIP). *ICML*.
6. Chen, T., Kornblith, S., Norouzi, M., & Hinton, G. (2020). A Simple Framework for Contrastive Learning of Visual Representations (SimCLR). *ICML*.
7. Baltrušaitis, T., Ahuja, C., & Morency, L. P. (2018). Multimodal Machine Learning : A Survey and Taxonomy. *IEEE TPAMI*, 41(2), 423–443.

SISI 10: Developing an Expressive Multilingual Text-to-Speech System for Low-Resource North African Dialects

Supervised by: Pr. Imade Benelallam
Lab: SI2M

i.benelallam@insea.ac.ma

Neural text-to-speech (TTS) systems such as **Tacotron 2**, **VITS**, and **GPT-4o-voice** have reached near-human naturalness, synthesizing speech with prosody and emotion. However, these advances mainly target **high-resource languages**, leaving **Moroccan Darija** and **Tunisian Arabic** — rich in sociophonetic and cultural variation — largely unexplored.

This PhD aims to develop an **expressive, controllable, and multilingual TTS system** capable of generating **natural and culturally authentic speech** in North African dialects. By leveraging **self-supervised learning (SSL)**, **neural audio codecs**, and **emotion-aware fine-tuning**, the model will set new standards for **low-resource and dialectal voice synthesis**.

Research Objectives

1. **Design an end-to-end TTS model** for Moroccan and Tunisian dialects integrating prosody, emotion, and speaker control.
2. **Develop a phonetic–orthographic mapping** for dialectal Arabic to standardize text-to-phoneme conversion.
3. **Leverage transfer and self-supervised learning** for low-resource adaptation.
4. **Evaluate** intelligibility, expressiveness, and cultural authenticity across dialects.

Literature Review

Recent models (e.g., **StyleTTS2**, **NaturalSpeech 3**, **YourTTS**) achieve expressive speech synthesis through multimodal conditioning and neural vocoders (HiFi-GAN, EnCodec). Yet these rely on large, clean datasets unavailable for North African dialects.

In low-resource contexts, **transfer learning**, **phoneme sharing**, and **SSL representations** (e.g., **wav2vec2**, **HuBERT**) have shown strong generalization. However, **Darija** and **Tunisian Arabic** remain absent from expressive TTS research. This work proposes a **multilingual emotion-aware framework** bridging that gap.

Methodology

Data

- Build or extend a **North African speech corpus** including emotion, prosody, and speaker metadata.
- Normalize dialectal text through **phonetic transliteration** (Arabic ↔ Latin ↔ phoneme).
- Apply **data augmentation** (pitch shift, speed variation, emotion transfer) to increase diversity.

Model

- **Architecture:**
 - *Text Encoder* for phonetic embeddings
 - *Emotion–Prosody Encoder* using SSL features
 - *Decoder* for mel-spectrograms
 - *Neural Vocoder* (HiFi-GAN / EnCodec) for waveform synthesis
- **Training:** Multilingual pretraining (e.g., YourTTS), emotion-aware fine-tuning with multitask losses (reconstruction, adversarial, emotion consistency).
- **Evaluation:**
 - *MOS* for naturalness
 - *Emotion Similarity Score (ESS)*
 - *Speaker Similarity Score (SSS)*
 - *Cultural Appropriateness Index (CAI)* from human raters.

Key References

- Wang et al. *Tacotron 2*, Google (2018)
- Kim et al. *VITS*, NVIDIA (2021)
- Wang et al. *StyleTTS2* (2023)
- Kim et al. *NaturalSpeech 3* (2024)
- Benelallam et al. *DarijaBERT*, SI2M Lab / INSEA

SISI 11: Developing a Multimodal Enriched Speech-to-Text System for Moroccan and Tunisian Dialects

Supervised by: Pr. Imade Benelallam

Lab: SI2M / INSEA

Advances in automatic speech recognition (ASR) and multimodal AI—exemplified by **Whisper (OpenAI)**, **wav2vec2 (Meta)**, and **SpeechT5 (Microsoft)**—have achieved near-human transcription accuracy in high-resource languages. Yet **Moroccan Darija** and **Tunisian Arabic**, spoken by tens of millions, remain under-represented due to scarce data, phonetic diversity, and the absence of standardized orthography.

This PhD proposes a **multimodal, enriched speech-to-text (STT) system** that jointly models **prosody, emotion, and contextual cues**, enabling richer and culturally grounded transcription. The system will contribute to inclusive AI for North Africa and other low-resource regions.

Research Objectives

1. Develop a **multimodal STT architecture** integrating prosodic, emotional, and contextual signals for Moroccan and Tunisian speech.
2. Build and annotate a **multidimensional corpus** combining audio, text, and paralinguistic metadata.
3. Evaluate improvements in **accuracy (WER/CER)**, **semantic coherence**, and **cultural fidelity** over unimodal baselines.
4. Assess **cross-dialect generalization** between Moroccan and Tunisian Arabic.

Literature Review

Contemporary ASR relies on transformer architectures and large-scale datasets. Emerging **multimodal ASR** studies show that fusing acoustic, visual, and affective information enhances understanding in conversational tasks (e.g., Kim et al., 2023).

In the Arabic domain, models such as **DarijaBERT** and **TuniBERT** offer text-only resources but no integration of speech, emotion, or prosody. This research addresses that gap by designing a **multitask, multimodal STT framework** adapted to the sociophonetic and cultural features of North African dialects.

Key References

- Radford et al., *Whisper: Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision*, OpenAI (2023).
- Baevski et al., *wav2vec 2.0: Self-Supervised Learning of Speech Representations*, Meta (2020).
- Chen et al., *SpeechT5: Unified Modal-to-Modal Pre-Training for Speech and Text Tasks*, Microsoft (2022).
- Benelallam et al., *DarijaBERT: A Moroccan Dialectal Language Model*, SI2M Lab / INSEA (2023).
- Kim et al., *Multimodal ASR with Prosody-Emotion Fusion*, IEEE T-ASLP (2023).

SISI 12: Developing Efficient Small Language Models for Moroccan and Tunisian Dialects

Supervised by: Pr. Imade Benelallam

Lab: SI2M / INSEA

i.benelallam@insea.ac.ma

While **Large Language Models (LLMs)** like GPT-4, Claude, and Gemini have revolutionized natural language understanding, their computational cost, energy footprint, and linguistic bias toward high-resource languages limit their accessibility and fairness.

For **Moroccan Darija** and **Tunisian Arabic**, current LLMs often hallucinate, mistranslate, or misinterpret due to scarce dialectal data and the absence of linguistic standardization. The emerging class of **Small Language Models (SLMs)** — compact, efficient, and domain-adapted — provides a viable alternative for **resource-constrained and culturally specific environments**.

This PhD aims to design a **dialect-aware SLM ($\leq 1B$ parameters)** capable of understanding, reasoning, and generating text in Moroccan and Tunisian Arabic. The model will be optimized for **low-cost deployment** (edge and on-prem), fostering **linguistic sovereignty and inclusion** in AI systems across North Africa.

Research Objectives

1. Develop a **Small Language Model (SLM)** tailored for Moroccan and Tunisian dialects.
2. Integrate **sociolinguistic and multimodal cues** (emotion, code-switching, cultural intent).
3. Build scalable **data curation and distillation pipelines** from multilingual and speech sources.
4. Benchmark the **efficiency–accuracy–cultural fidelity trade-off** in low-resource LMs.

Literature Review

Recent SLMs such as **Phi-3 Mini (Microsoft)**, **Mistral 7B**, and **LLaMA-3 1B/3B** show that compact transformer architectures can rival larger models when trained with targeted data and efficient fine-tuning (LoRA, QLoRA).

In the Arabic context, models like **AraBERT**, **Jais**, and **Noor** focus on Modern Standard Arabic (MSA), neglecting **Maghrebi dialects**, which feature intense **code-switching**, **phonetic variability**, and **cultural idiomaticity**. Advances in **knowledge distillation**, **quantization (INT4/INT8)**, and **parameter-efficient tuning** now make it possible to develop **sub-billion-parameter models** specialized for dialectal understanding.

This research pioneers the development of **North African SLMs** that combine linguistic depth with computational efficiency.

Key References

- Microsoft Research. *Phi-3 Mini: Language Models for the Real World* (2024).
- Abouelnaga et al. *Noor: The Arabic Large Language Model* (2024).
- Mistral AI. *Mixtral 8×7B & Tiny Models* (2024).
- SI2M-Lab / INSEA. *DarijaBERT: A Moroccan Dialectal Language Model* (2023).
- Hounsby et al. *AdapterFusion: Parameter-Efficient Transfer Learning for NLP* (2021).
- Touvron et al. *LLaMA 3: Open and Efficient Foundation Models*, Meta AI (2024).

Mathématiques Appliquées (Optimisation et/ou Recherche Opérationnelle)

Pr. KADRANI (Laboratoire SI2M, INSEA)

Email. akadrani@insea.ac.ma

MA 1 : Développement d’algorithmes exploitant la dualité pour résoudre les MPCC

Les programmes mathématiques avec contraintes de complémentarité (MPCC) apparaissent dans de nombreux domaines d'application : économie, transport, énergie, ingénierie des systèmes, etc. Ils modélisent des situations dans lesquelles une décision est soumise à un équilibre.

Ces problèmes sont notoirement difficiles à résoudre, en raison notamment de la non-régularité des contraintes de complémentarité, qui empêche l’application directe des conditions classiques de qualification des contraintes, comme celle de Mangasarian-Fromovitz. Cela complique à la fois l’analyse théorique et la conception d’algorithmes efficaces.

Cette thèse vise à développer un cadre de dualité adapté aux MPCC. Plus précisément, les objectifs sont les suivants :

1. Étudier les limitations des théories de dualité classiques (Lagrangienne, Wolfe) appliquées aux MPCC.
2. Définir une formulation de dualité de type Lagrangienne généralisée pour les MPCC.
3. Établir des résultats théoriques : théorèmes de dualité faible, dualité forte et conditions de régularité adaptées.
4. Explorer les cas particuliers : MPCC linéaires, quadratiques, etc.
5. Développer ou adapter des algorithmes exploitant la dualité pour résoudre des MPCC (Méthodes de relaxation, reformulations, etc.).

Profil du candidat :

- Ingénieur et/ou Master de recherche en mathématiques appliquées, optimisation, ou recherche opérationnelle.

- Bonne maîtrise de l'analyse convexe et de l'optimisation non linéaire.
- Intérêt pour la rigueur théorique, la modélisation appliquée et l'implémentation des algorithmes

Contacter Pr. A. Kadrani : akadrani@insea.ac.ma

MA 2 : Développement d'un système de maintenance prédictive basé sur l'IA pour le matériel roulant ferroviaire

L'industrie ferroviaire est confrontée à des enjeux majeurs en matière de sécurité, de fiabilité du matériel roulant et de maîtrise des coûts de maintenance. Les approches traditionnelles de maintenance (préventive ou corrective), encore largement utilisées, présentent des limites notables : elles sont souvent basées sur des intervalles fixes ou des inspections planifiées, sans toujours tenir compte de l'état réel des composants.

Ces méthodes peuvent mener à :

- Des interventions inutiles, donc coûteuses,
- Des défaillances imprévues provoquant des interruptions de service,
- Une inefficience globale des processus de maintenance.

À l'inverse, la maintenance prédictive, notamment lorsqu'elle est assistée par l'intelligence artificielle (IA), permet d'anticiper les pannes. Cette approche offre un potentiel considérable pour optimiser les opérations de maintenance dans le ferroviaire.

Cette thèse propose de répondre à la question suivante :

Comment concevoir et implémenter un système de maintenance prédictive basé sur l'intelligence artificielle pour le matériel roulant ferroviaire, afin d'améliorer la sécurité, la disponibilité des trains et la rentabilité des opérations ?

Profil du candidat :

- Ingénieur et/ou Master de recherche en Génie Industriel ou Recherche Opérationnelle.
- Le candidat devra disposer des compétences suivantes :
 - Modélisation de problèmes ;
 - Recherche opérationnelle ;
 - Méthodes d'optimisation exactes ou approchées ;
 - Bonne maîtrise d'au moins un langage de programmation (C, C++, Python, etc..)

MA 3 : Optimisation de la gestion et de l'ordonnancement des ressources dans les blocs opératoires hospitaliers

Les blocs opératoires sont des centres stratégiques et complexes où la planification est cruciale pour l'efficacité, mais aussi très difficile en raison des aléas (retards, urgences, indisponibilité du personnel).

L'objectif de cette thèse est de développer et d'évaluer des modèles de planification pour améliorer la gestion des ressources (chambres, chirurgiens, anesthésistes, personnel, etc.) en comparant les performances des modèles déterministes et stochastiques.

Méthodologie :

- **Revue de littérature** : Étudier les modèles existants en planification, ordonnancement et gestion de blocs opératoires, avec un accent sur les approches déterministes et stochastiques.
- **Modélisation** : Proposer des outils d'aide à la décision pour les gestionnaires de blocs opératoires.
- **Simulation** : Utiliser des outils de simulation pour évaluer les modèles sur des scénarios variés, simulant la réalité d'un bloc opératoire.

Profil du candidat :

- Ingénieur et/ou Master de recherche en Optimisation ou Recherche Opérationnelle.
- Le candidat devra disposer des compétences suivantes :
 - Modélisation de problèmes ;
 - Méthodes d'optimisation exactes ou approchées.
 - Bonne maîtrise d'au moins d'un langage de programmation (C, C++, Python, etc..)

Contacteur Pr. A. Kadrani : akadrani@insea.ac.ma

Pr. Benmansour Rachid (Laboratoire SI2M, INSEA)

Email : r.benmansour@insea.ac.ma

Sujet de Thèse 1 : Analyse et modélisation de la chaîne logistique seaside-yardside pour les terminaux de vrac.

Sujet de Thèse 2 : Conception d'un système d'aide à la décision pour la planification et la coordination des parcours de soins.

Sujet de Thèse 3 : Développement d'un cadre méthodologique pour la maintenance prédictive et le pilotage proactif des systèmes industriels complexes.

Sujet de Thèse 4 : Problèmes d'ordonnancement sous contraintes de ressources critiques partagées : complexité et modèles pour machines parallèles.

Profil recherché :

Titulaire d'un diplôme de Master ou d'ingénieur dans l'un des domaines suivants : génie industriel, recherche opérationnelle, informatique, mathématiques appliquées, ou domaine équivalent.

Compétences techniques requises :

- Solide formation en méthodes d'optimisation exactes,
- Expérience avérée avec les méthodes métaheuristiques,
- Maîtrise avancée d'un langage de programmation (Python, C, C++,...),
- Excellente maîtrise de l'anglais.

Laboratoire MASAFEQ

Laboratoire de Recherche en Mathématique Appliquée aux Sciences de données en Statistique, Actuariat, Finance et Economie Quantitative.

Sujets pour la formation Mathématiques Appliquées

MA 4: Optimisation multi-objectif pour la planification énergétique urbaine au Maroc.

Sujet proposé par :

Pr. Mohamed OUZINEB, INSEA.

Possibilité de financement ou de soutien financier par des partenaires industriels.

Résumé du sujet :

L'objectif de cette thèse est de développer une méthodologie d'optimisation multi-objectif pour la gestion efficace de l'énergie dans des systèmes urbains marocains, en tenant compte à la fois de la fiabilité, des contraintes économiques et environnementales, et de la disponibilité des ressources énergétiques. Les algorithmes proposés viseront une adéquation optimale entre la disponibilité des sources (renouvelables et conventionnelles) et la consommation énergétique, tout en minimisant les coûts totaux de production. Ces algorithmes s'appuieront sur des prévisions de la demande énergétique et la disponibilité des différentes technologies, avec une capacité à modéliser différentes configurations du système énergétique. L'intégration d'une technique efficace d'estimation de la fiabilité globale, telle que le facteur de capacité, permettra d'identifier les configurations les plus performantes au regard des critères de coût, de fiabilité et de durabilité.

Afin de garantir la pertinence et l'applicabilité des résultats, l'étude sera illustrée par des cas concrets issus de firmes situées dans des régions urbaines marocaines, pour lesquelles des données de conception et d'exploitation sont disponibles.

Axes de recherche :

1. **Modélisation du système énergétique hybride** (solaire, éolien, cycle combiné, etc.) adapté au contexte marocain.
2. **Définition d'un indicateur global de performance énergétique** basé sur le **facteur de capacité**.
3. **Optimisation multi-objectif** (fiabilité vs coût vs impact environnemental).
4. **Comparaison de différents scénarios de développement énergétique** (100% renouvelable, mix énergétique, etc.).

5. **Cas d'étude réel** : Application à un centre urbain marocain (Casablanca, Marrakech, Rabat, etc.).

Outils et Méthodes :

- Programmation mathématique / linéaire / non linéaire
- Métaheuristiques pour l'optimisation
- Simulation de profils de charge urbaine (courbes de charge cumulées)
- Analyse de sensibilité et évaluation des incertitudes.

Mots-clés :

Mix énergétique, Algorithmes d'optimisation, Planification énergétique, Modélisation mathématique, Heuristique, Machine learning.

MA 5: Analyse et optimisation de la fiabilité des systèmes miniers pour la réduction du coût global de production

Sujet proposé par :

Pr. Mohamed OUZINEB, INSEA.

Possibilité de financement ou de soutien financier par des partenaires industriels.

Résumé du sujet :

L'objectif de cette thèse est de développer une méthodologie intégrée pour analyser et optimiser la fiabilité des systèmes de production dans les opérations minières, en tenant compte de la performance individuelle de chaque composante (machines, convoyeurs, équipements de traitement, etc.). L'approche proposée vise à minimiser le coût total de production en équilibrant les coûts d'investissement, d'entretien, et les pertes de production dues aux défaillances.

L'étude portera sur la modélisation du système de production en chaîne (système en série, en parallèle, ou mixte) et utilisera des outils d'analyse probabiliste et d'optimisation pour évaluer les compromis entre fiabilité et coûts.

Axes de recherche :

1. **Modélisation des systèmes de production miniers** selon leur structure (série, parallèle, hybride).
2. **Analyse de fiabilité** des composantes (MTBF, taux de défaillance, réparabilité, disponibilité).
 - **Estimation des coûts** : coût d'investissement initial, coût de maintenance et d'entretien, Coût des arrêts de production
3. **Méthode d'évaluation globale** (fonction objectif) intégrant fiabilité et coût.
4. **Optimisation globale du système** pour atteindre un compromis optimal entre fiabilité et coût total.
5. **Étude de cas** sur un site minier réel.

Outils et Méthodes :

- Programmation mathématique / linéaire / non linéaire
- Calcul de la fiabilité des systèmes de production
- Outils logiciels : MATLAB, Python, R, ou logiciels spécialisés
- Analyse de sensibilité et évaluation des incertitudes

Mots-clés : Fiabilité, Algorithmes d'optimisation, Modélisation mathématique, Heuristique, Machine learning.

MA 6: Apport de l'optimisation multiobjectif aux modèles d'apprentissage automatique : application aux machines à vecteurs de support (SVM). Sujet proposé par :

Pr. Mohamed OUZINEB, INSEA.

Pr. Fatima zahra RAHOU, INSEA.

Résumé du sujet :

Cette thèse propose d'étudier l'intégration des méthodes d'optimisation multiobjectif (MOO) dans l'entraînement et la configuration des modèles d'apprentissage automatique, en se concentrant sur les machines à vecteurs de support (SVM) pour des problèmes de classification.

Axes de recherche / Plan de travail :

- État de l'art
 - Optimisation multiobjectif : théorie, méthodes classiques.
 - Apprentissage automatique et SVM : principe, formulation mathématique, hyperparamètres critiques.
 - Travaux existants sur la combinaison MOO + SVM, lacunes et opportunités.
- Formulation du problème multiobjectif
 - Identification des critères à optimiser simultanément (précision, complexité, robustesse, etc.).
 - Modélisation mathématique et conditions d'existence d'optima.
- Développement des méthodes
 - Mise en place d'approches MOO pour SVM (algorithmes évolutionnaires, métaheuristiques hybrides).
- Applications et expérimentations
- Perspectives
 - Extension à d'autres modèles de ML (réseaux de neurones, arbres de décision).
 - Applications à des problèmes réels de grande dimension et temps réel.

Méthodes et outils :

- Méthodes : Optimisation multiobjectif, SVM supervisé, sélection de variables.
- Outils informatiques : Python (scikit-learn, DEAP, pymoo), MATLAB, R (analyses statistiques et visualisation Pareto).

- Données : jeux de données publics (UCI, Kaggle), éventuellement données locales pour applications spécifiques.

Mots-clés :

- Optimisation multiobjectif (MOO)
 - Machine Learning / Apprentissage automatique
- Support Vector Machines (SVM)
- Classification supervisée
- Sélection de variables / hyperparamètres
- Algorithmes évolutionnaires
- Frontière de Pareto
- Applications réelles (santé, finance, énergie)

MA 7: Deep Neural Architectures and Optimization Frameworks for Intelligent Mobility Management in Smart Cities: Application to the 2030 FIFA World Cup in Morocco

Sujet proposé par :

Pr. Mohamed OUZINEB, INSEA. Pr.

Safae RBIHOU, INSEA.

Résumé du sujet :

La préparation de la Coupe du Monde 2030 au Maroc représente un défi majeur pour la mobilité urbaine, compte tenu de l'afflux massif de visiteurs, de la pression sur les infrastructures et des exigences de durabilité. Ce projet de thèse propose de concevoir un cadre intelligent basé sur les réseaux de neurones profonds et les techniques avancées d'optimisation pour modéliser, prédire et gérer en temps réel les flux de mobilité dans les smart cities hôtes.

L'approche combinera des réseaux neuronaux récurrents et des graph neural networks pour capturer la dynamique spatio-temporelle des flux de circulation, tout en intégrant des méthodes d'apprentissage par renforcement profond pour optimiser les itinéraires, la régulation des feux et la répartition des ressources de transport.

Un accent particulier sera mis sur l'évaluation de scénarios liés à la Coupe du Monde 2030, en développant un jumeau numérique des villes hôtes marocaines afin de tester les politiques de gestion de trafic avant leur mise en œuvre réelle.

Axes de recherche ou le plan de travail :

1. État de l'art : revue des approches IA appliquées à la mobilité intelligente et aux grands événements sportifs.
2. Modélisation prédictive : conception de modèles neuronaux (LSTM, GNN, Transformers) pour la prédiction des flux de trafic urbain.
3. Optimisation adaptative : intégration de l'apprentissage par renforcement profond pour la gestion dynamique des feux de signalisation, le reroutage et la gestion multimodale (bus, tram, navettes).
4. Simulation et jumeau numérique : développement d'un simulateur urbain (SUMO/AnyLogic) intégrant les données réelles des villes marocaines.

5. Étude de cas Coupe du Monde 2030 : expérimentation des modèles sur Fès comme cas de référence.
6. Évaluation et généralisation : comparaison avec les méthodes classiques (optimisation exacte, métaheuristiques), validation sur d'autres contextes de smart cities.

Outils et méthodes :

- IA et Deep Learning : LSTM, GNN, Transformers.
- Optimisation : Deep Reinforcement Learning (DQN, PPO), optimisation multi-objectifs.
- Simulation : SUMO, AnyLogic, Digital Twin urbains.
- Langages et frameworks : Python (TensorFlow, PyTorch), MATLAB, big data analytics

Mots-clé :

Smart Mobility, Deep Learning, Graph Neural Networks, Reinforcement Learning, Real-Time Optimization, Digital Twin, Mega-Events, FIFA World Cup 2030.

MA 8: AI-Driven and advanced risk management in demand forecasting

Sujet proposé par :

Pr. Badreddine BENYACOUB, INSEA.

Demand forecasting today faces increasing complexity due to fluctuating consumer demand, global sourcing and market volatility. The integration of artificial intelligence in supply chain management has emerged as a transformative approach to improving operational efficiency and reducing costs.

Traditional demand forecasting methods often struggle to provide accurate predictions, leading to inefficiency such as stock outs, overproduction, and higher costs. This research explores how ai-driven demand forecasting influences the performance of supply chains, focusing on accuracy, Inventory management and responsiveness to the market fluctuations. using a combination of case studies, industry data, and comparative analysis, the study investigates how ai tools influence decision making and operational performance. the research contributes to understanding the strategic role of AI in modern supply chain and its potential to drive more sustainable and efficient operations.

MA 9: Primal Dynamic Programming-based Approaches to solve a variety of Combinatorial Problems

Sujet proposé par :

Pr. Ilyas HIMMICH, INSEA.

Prerequisite: A Master's degree or Bachelor in Operations Research, Data Science, Computer Science, Applied Mathematics, or a related Engineering discipline.

Project description

The paper by Ilyas Himmich et al. introduced a **primal adjacency-based algorithm for the Shortest Path Problem with Resource Constraints (SPPRC)** [1]. Unlike classical dual or pricing-based methods, this approach exploits the **polyhedral structure of feasible paths space** and uses adjacency relations to guide the exploration of the solution space using dynamic programming schemes. The contribution opens new avenues for extensions to broader classes of combinatorial optimization problems. This PhD project builds on the afore mentioned work and aims to advance primal approaches for combinatorial optimization. The research will follow three main directions:

1. **Extension to the Elementary SPPRC:** improve theoretical understanding and algorithmic performance and introduce new primal solution approaches.
2. **Application to column generation frameworks**, including set-off and set-on machine problems, and the use of primal dynamic programming across different problem classes.
3. **Generalization to other combinatorial problems:** combining polyhedral analysis and decomposition techniques to broaden the applicability of primal approaches.

Required skills

- A **Master's degree** or **Bachelor** in **Operations Research, Data Science, Computer Science, Applied Mathematics, or Engineering disciplines**.
- Strong background in **algorithm design, numerical optimization, and computational mathematics**.
- Proficiency in programming languages such as **Python, or C/C++**.
- Experience with **optimization solvers** (e.g., Gurobi, CPLEX) and numerical libraries.
- Familiarity with **high-performance computing (HPC)** and parallel programming is a plus.
- Strong analytical and problem-solving skills.
- Ability to work independently and collaboratively within a research team.

References

[1] HIMMICH, Ilyas, BEN AMOR, Hatem, EL HALLAOUI, Issmail, *et al.* A primal adjacency-based algorithm for the shortest path problem with resource constraints. *Transportation Science*, 2020, vol. 54, no 5, p. 1153-1169.

Économie Quantitative et Finance

Laboratoire MASAFEQ

Année Universitaire 2025-2026

EQF 9: Contribution aux marchés financiers dirigés par un processus de Lévy via les équations différentielles stochastiques rétrogrades

Mohamed El Jamali, Yassine El Qalli

National Institute of Statistics and Applied Economics, Rabat, B.P. 6217, Morocco.
m.eljamali@insea.ac.ma ; elqalli@insea.ac.ma

Abstract

La théorie des équations différentielles stochastiques rétrogrades (EDSR) connaît un développement significatif, motivé notamment par ses importantes applications en finance.

Ce projet de thèse vise à étudier les problèmes d'existence et d'unicité des solutions pour des EDSR réfléchies, avec des barrières càdlàg ou làdlàg, dirigées par un processus de Lévy (homogène ou non homogène). L'approche méthodologique mobilisera plusieurs outils fondamentaux de l'analyse stochastique : le théorème de représentation des martingales, le théorème du point fixe, la méthode de pénalisation, ainsi que la théorie des enveloppes de Snell. Un volet important sera consacré à l'exploration des liens avec les équations aux dérivées partielles (EDP).

Les résultats attendus présentent des applications directes en finance quantitative, particulièrement pour la valorisation d'options financières vanilles et exotiques (européennes, américaines, américaines des jeux, asiatiques, etc.).

Mots-clés : EDSR réfléchies, Processus de Lévy, Barrières càdlàg, Mathématiques financières.

Références

- (1) **M. El Jamali**, "Contributions to American Game Options and PDEs in the Context of Doubly Reflected BSDEs driven by normal martingales", *Journal of Dynamics and Games*, 13: 1-15, 2026.
- (2) **M. El Jamali et M. El Otmani**, *Reflected BSDEs driven by inhomogeneous simple Lévy processes with RCLL barrier*, *Journal of Integral Equations and Applications*, 34(2): 201-214, Summer 2022.
- (3) **R. Cont et P. Tankov**, *Financial Modelling With Jump Processes*, Financial Mathematics Series, Chapman & Hall/CRC, 2004.
- (4) **P. Protter**, *Stochastic Integration and Differential Equations*, 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2003.

EQF 10: Équilibre des marchés SREC via les équations différentielles stochastiques progressives et rétrogrades

Mohamed El Jamali, Yassine El Qalli

National Institute of Statistics and Applied Economics, Rabat, B.P. 6217, Morocco.
m.eljamali@insea.ac.ma ; elqalli@insea.ac.ma

Abstract

Les marchés de certificats d'énergie solaire renouvelable (SREC) encouragent la production solaire en attribuant un certificat échangeable pour chaque MWh généré. Ces marchés peuvent être modélisés comme un jeu stochastique, dans lequel les agents interagissent via le prix des SREC. Les stratégies optimales des entreprises sont décrites par des équations différentielles stochastiques progressives et rétrogrades de type McKean–Vlasov (MV-FBSDE). Nous établissons l'existence et l'unicité de la solution, démontrons que ces stratégies forment un équilibre ϵ -Nash pour le jeu à nombre fini de participants et proposons un schéma numérique accompagné de simulations.

Mots-clés : SREC, MV-FBSDE, Équilibre ϵ -Nash.

Références

- (1) **A.V. Shrivats, D. Firoozi, S. Jaimungal**, "A mean-field game approach to equilibrium pricing in solar renewable energy certificate markets", *Mathematical Finance*, **32**(3), 779-824, 2022.
- (2) **D. Firoozi, A.V. Shrivats, S. Jaimungal**, "Principal agent mean field games in Renewable Energy Certificate (REC) markets", *arXiv preprint arXiv:2112.11963*, 2021.

EQF 11: Pricing weather Derivatives with Long Memory: Weather Risk Transfer in Green Finance to Enhance Environmental Sustainability

Yassine El Qalli, Mohamed El Jamali

National Institute of Statistics and Applied Economics, Rabat, B.P. 6217, Morocco.
elqalli@insea.ac.ma ; m.eljamali@insea.ac.ma

This thesis project aims to address a critical gap at the intersection of financial innovation and climate risk: the lack of pricing models that account for the persistent dependence structures in weather data. Standard derivative pricing frameworks, which typically assume short-memory processes, fail to capture the long-term persistence characteristic of climate variables, leading to significant mispricing of weather risk. This project aims to develop a novel pricing methodology incorporating long memory processes to create more accurate and robust weather derivatives, thereby enhancing the financial resilience of green investments crucial for the sustainability transition.

This project builds upon the foundational quantitative models for weather derivative valuation established by Jewson et al. [1] and engages with the critical analysis of climate risk as a systemic threat to financial stability [2]. The methodological approach specifically extends recent research on pricing models for weather derivatives [3] and the integration of climate risk hedging into sustainable investment portfolios [4]. Furthermore, it is contextualized by the evolving landscape of the green bond market [5] and draws insights from the analysis of macroeconomic climate vulnerability [6].

The aimed core contribution of this project is the development of a continuous-time pricing framework where the underlying weather indices are modeled as **long memory processes**, specifically using **Fractional Brownian Motion (fBm)** and **ARFIMA** models. This approach explicitly captures the persistent autocorrelation in climate data, addressing limitations in existing weather derivative pricing models. The research will employ advanced stochastic calculus for fractional processes and numerical methods to derive pricing formulas. This sophisticated modeling framework will be complemented by **FIGARCH** models for volatility clustering in long-memory settings, **Monte Carlo simulations** for path-dependent derivative pricing, and an analysis of hedging effectiveness within green investment portfolios [4].

Keywords: Derivative Pricing, Long Memory Processes, Weather Derivatives, Green Finance, Fractional Brownian Motion, FIGARCH, Climate Risk Management.

References

- [1] S. Jewson, A. Brix, and C. Ziehmann, *Weather Derivative Valuation: The Meteorological, Statistical, Financial and Mathematical Foundations*. Cambridge University Press, 2005.

- [2] S. Battiston, A. Mandel, I. Monasterolo, F. Schütze, and G. Visentin, “A climate stress-test of the financial system,” *Nature Climate Change*, vol. 7, no. 4, pp. 283–288, 2017.
- [3] P. Li, X. Lu, and S.-P. Zhu., “Pricing weather derivatives with the market price of risk extracted from the utility indifference valuation,” *Computers & Mathematics with Applications*, vol. 79, no. 12, pp. 3394–3409, 2020.
- [4] K. Brown and J. T., “Hedging climate risk in green investment portfolios: The role of weather derivatives,” *Journal of Sustainable Finance & Investment*, vol. 11, no. 4, pp. 345–367, 2021.
- [5] Climate Bonds Initiative, “Green bond market summary: Q4 2022,” Climate Bonds Initiative, 2023.
- [6] S. Cevik and J. T. Jalles, “This changes everything: Climate shocks and sovereign bonds,” *IMF Working Paper*, no. 2022/201, 2022.

EQF 12: Real-World Pricing of Commodities: Estimation Techniques for Stochastic Volatility Models under the Benchmark Approach

Yassine El Qalli

National Institute of Statistics and Applied Economics, Rabat, B.P. 6217, Morocco.
elqalli@insea.ac.ma

The pricing and hedging of commodity derivatives are fundamental problems in financial engineering. The standard approach relies on the concept of an equivalent risk-neutral measure. However, commodity markets are characterized by incompleteness, strong mean-reversion, and stochastic volatility, making them a prime application for the Benchmark Approach [1]. This framework, pioneered by Platen and Heath [1], uses the GOP as the natural pricing benchmark and operates directly under the real-world probability measure, avoiding the need for risk-neutral valuation.

The objective of this thesis project is to bridge the theoretical elegance of the Benchmark Approach with the empirical realities of commodity markets by incorporating a stochastic volatility model. While El Qalli [2] demonstrated the feasibility of Recursive Bayesian Estimation for real-world pricing models, a comprehensive comparison of estimation techniques for this specific problem is lacking. This project aims to fill that gap by evaluating methods ranging from SMM [3] to advanced particle filtering [4].

This thesis project investigates the empirical implementation of stochastic volatility models for commodity futures within Platen and Heath [1] Benchmark Approach. The core challenge lies in the estimation of the unobservable growth-optimal portfolio (GOP) and the latent volatility process under the real-world probability measure. Moving beyond a single methodological framework, this project will implement and compare the performance of several advanced estimation techniques. These may include *Simulated Method of Moments* (SMM) [3], *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) via Particle Filtering [4], building on the foundational work of El Qalli [2], and *Non-Parametric Calibration*. The empirical analysis will be conducted on a major commodity market (e.g., crude oil), extending the classical frameworks of Schwartz [5]. The primary objective is to determine the most robust and efficient technique for calibrating Real-World Pricing models to market data, assessing them on criteria such as pricing accuracy, hedging performance, and computational efficiency.

References

- [1] E. Platen and D. Heath, *A Benchmark Approach to Quantitative Finance*. Berlin, Heidelberg: Springer Finance, 2006.
- [2] Y. El Qalli, "Recursive bayesian estimation in forward price models implied by fair pricing," *International Journal of Theoretical and Applied Finance (IJTAF)*, vol. 13, no. 02, pp. 301–333, 2010.

- [3] D. Duffie and K. J. Singleton, "Simulated moments estimation of markov models of asset prices," *Econometrica*, vol. 61, no. 4, pp. 929–952, 1993.
- [4] D. Creal, "A survey of sequential monte carlo methods for economics and finance," *Econometric Reviews*, vol. 31, no. 3, pp. 245–296, 2012.
- [5] E. S. Schwartz, "The stochastic behavior of commodity prices: Implications for valuation and hedging," *The Journal of Finance*, vol. 52, no. 3, pp. 923–973, 1997.

EQF 13: Deep Learning for Pricing and Hedging Derivatives on Illiquid Assets with Price Jumps

Yassine El Qalli, Mohamed El Jamali

National Institute of Statistics and Applied Economics, Rabat, B.P. 6217, Morocco.
elqalli@insea.ac.ma ; m.eljamali@insea.ac.ma

This thesis project aims to propose an innovative framework for pricing and hedging derivatives on illiquid assets subject to price jumps. Building on recent advancements in [1] on deep learning for hedging illiquid assets and [2] on neural jumps for option pricing, the project aims to develop a comprehensive approach that combines deep neural networks with physics-informed constraints from financial theory. The planned methodology expect to move beyond the restrictive assumptions of classical models by explicitly incorporating market illiquidity and price discontinuities within an integrated deep learning framework, offering a robust alternative to traditional Black-Scholes-Merton models while addressing the challenges identified in both hedging and pricing literature.

Recent work by [1] demonstrates the power of LSTM networks for hedging illiquid assets, while [2] introduces neural jumps for capturing discontinuous price movements in option pricing. The objective of this project is to bridge these two approaches, creating a unified framework for both pricing and hedging under realistic market conditions.

References

- [1] Y. Wang, L. Tong, and Y. Zhao, "Revolutionizing hedge fund risk management: The power of deep learning and lstm in hedging illiquid assets," *Journal of Risk Financial Management*, vol. 17, p. 224, 2024.
- [2] D. Zheng, H. Guo, Y. Liu, and W. Huang, "Neural jumps for option pricing," *arXiv preprint*, 2025, arXiv:2506.05137v1 [q-fin.GN] 5 Jun 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2506.05137>

Sujets pour la formation Statistique –Actuariat

SA 1 : Contribution aux méthodes d'estimation non paramétriques intégrant des algorithmes de machine learning pour les modèles d'équations structurelles

Sujet proposé par :

Pr. Ahmed OUAAZA INSEA.

Résumé :

Les modèles d'équations structurelles (SEMs) constituent une famille de méthodes statistiques permettant d'analyser les relations de causalité entre plusieurs variables observées et non observées (latentes). Ils sont largement utilisés en sciences sociales, en économie, en gestion et en psychologie pour l'étude de concepts théoriques inobservables tels que la satisfaction, la confiance, l'engagement, la motivation....

L'estimation des SEMs constitue un enjeu majeur. Dans la littérature, plusieurs méthodes paramétriques, semi-paramétriques et non paramétriques ont été proposées afin d'estimer les paramètres du modèle et les liens entre les variables.

Les méthodes non paramétriques, telles que les estimateurs à noyau ou les splines, ainsi que certaines approches de machine learning, permettent de dépasser plusieurs hypothèses restrictives des méthodes paramétriques classiques, notamment la normalité des distributions, la linéarité des relations et l'indépendance des erreurs.

Parmi les objectifs des travaux qui doivent être réalisés dans le cadre de cette thèse :

- ✓ Etudier de manière approfondie les méthodes d'estimation non paramétriques appliquées aux modèles d'équations structurelles.
- ✓ Explorer l'apport des algorithmes de machine learning dans l'amélioration des méthodes d'estimation des SEMs.
- ✓ Proposer de nouvelles approches hybrides combinant non paramétrique et machine learning pour l'estimation des SEMs.
- ✓ Valider les approches proposées à travers des applications sur données réelles et simulées.



***Laboratoire en Genre, Économie, Actuariat, Statistique,
Démographie et Développement Durable.***

Campagne doctorale 2025–2026

Liste des sujets proposés

**Responsable du laboratoire
Adresse professionnelle**

**Adresse électronique
Page du laboratoire
Téléphone**

Khalil SAID
INSEA, Bureau 21
BP 6217, Rabat-Instituts
10100, Rabat
ksaid@insea.ac.ma
www.insea.ac.ma/. . /lab-geas3d
+212 6 66 04 26 67

Septembre 2025

Liste des sujets par discipline

| | |
|---|-----------|
| 1 Économie Quantitative et Finance | 3 |
| Sujet EQF-1 : Politiques publiques et viabilité budgétaire | 4 |
| Sujet EQF-2 : Impacts économiques et sociaux des politiques d'industrialisation au Maroc..... | 5 |
| Sujet EQF-3 : Impacts économiques et sociaux des politiques agricoles au Maroc | 6 |
| Sujet EQF-4 : Ouverture commerciale vers l'Afrique, opportunités et défis..... | 7 |
| Sujet EQF-5 : Impact des transferts dans l'amélioration des niveaux de vie | 8 |
| Sujet EQF-6 : Capital humain, productivité et croissance | 9 |
| Sujet EQF-7 : Dépense d'éducation, formation du capital humain et équilibre macroéconomique séquentiel | 10 |
| Sujet EQF-8 : Politique industrielle, chaînes d'approvisionnement et croissance verte..... | 11 |
| | |
| 2 Statistique Appliquée et Actuariat | 13 |
| Sujet SAA-1 : Gaspillage alimentaire | 14 |
| Sujet SAA-2 : Copules dynamiques..... | 16 |
| Sujet SAA-3 : Apprentissage statistique pour le risque | 17 |
| Sujet SAA-4 : Théorie de la ruine multidimensionnelle..... | 18 |
| Sujet SAA-5 : Risque climatique et assurance | 19 |
| Sujet SAA-6 : Risque cyber et assurance..... | 20 |
| Sujet SAA-7 : Assurance paramétrique | 21 |
| Sujet SAA-8 : Stratégies de réassurance | 22 |
| Sujet SAA-9 : Finance et assurance islamiques | 23 |
| Sujet SAA-10 : Régimes de retraite au Maroc | 24 |
| Sujet SAA-11 : Solvabilité des compagnies d'assurance..... | 25 |
| Sujet SAA-12 : Microassurance en Afrique..... | 26 |
| Sujet SAA-13 : Communication assurantielle..... | 27 |
| Sujet SAA-14 : Communication publique et institutions..... | 28 |
| Sujet SAA-15 : Gestion des risques..... | 29 |
| Sujet SAA-16 : Statistique génétique | 30 |

1 Économie Quantitative et Finance

EQF-1 — Politiques publiques et viabilité budgétaire

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

Pour assurer son développement économique et social, le Maroc s'est engagé depuis son indépendance dans des projets de développement structurants. Aujourd'hui de grands chantiers d'infrastructure, de construction et de rénovation sont ouverts sur tout le territoire national pour répondre à des exigences nationales et internationales. Cependant, la problématique du financement de ces projets de développement et les contraintes des équilibres macroéconomiques dont l'équilibre budgétaire s'imposent avec acuité et suppose une meilleure gouvernance des finances publiques.

En effet, le Maroc n'a cessé d'utiliser des nouvelles stratégies de financement, en plus de l'endettement extérieur, comme par exemple la privatisation ou plus récemment le Partenariat Public Privé (PPP ou 3P) pour assurer une plus grande soutenabilité de son cycle économique tout en respectant la souveraineté nationale.

L'objectif de ce sujet est d'analyser par des modèles adéquats, la politique budgétaire au Maroc dans le cadre des normes internationales et d'évaluer sa viabilité et ses retombées sur les équilibres macroéconomiques. Une analyse comparative au niveau international est aussi demandée.

MOTS-CLES

Politique budgétaire ; Soutenabilité ; Viabilité ; Financement du développement ; Analyse spatiale.

ENCADREMENT

N. ZAOUJAL — Professeure de l'enseignement supérieur, INSEA — zaoujal@insea.ac.ma

EQF-2 — Impacts économiques et sociaux des politiques d'industrialisation au Maroc

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

Le Maroc s'est engagé dans une politique d'industrialisation (Plan Emergence 1, Pacte National pour l'Emergence Industrielle, le plan d'accélération industrielle, ...). Suite à cet intérêt particulier au secteur industriel, des réalisations importantes sont à citer : accroissement des exportations du secteur manufacturier, évolution des infrastructures et surtout l'augmentation des investissements directs étrangers (IDE) par l'implantation de leaders industriels mondiaux dans des filières de pointe (automobile, aéronautique, ...). Ces performances ont, certainement, permis d'améliorer la situation du Maroc sur les chaînes de valeur mondiale et d'augmenter ses capacités productives et cognitives. Mais, elles ont aussi contribué à améliorer la situation sur le marché de l'emploi et peut-être à changer la structure de ce dernier.

Cette catégorie de sujets cherche à répondre à des questions relatives à la contribution des politiques d'industrialisation au développement économique et social du Maroc, à l'amélioration des indicateurs du marché du travail (le chômage des jeunes, notamment) et aussi à mettre en exergue les contraintes et les défis relatifs au développement industriel du Maroc. Une analyse comparative au niveau internationale ainsi qu'une analyse régionale pour mettre en évidence les disparités sont recherchées.

MOTS-CLES

Politiques industrielles ; IDE ; Productivité ; Croissance ; Emploi ; Disparités régionales.

ENCADREMENT

N. ZAOUJAL — Professeure de l'enseignement supérieur, INSEA — zaoujal@insea.ac.ma

EQF-3 – Impacts économiques et sociaux des politiques agricoles au Maroc

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

Depuis son indépendance, le Maroc n'a cessé de donner un intérêt particulier au secteur agricole. Plusieurs politiques et programmes des gouvernements ont visé l'amélioration de la productivité agricole et des conditions de vie de la population rurale. Le plan Maroc vert, par exemple, dresse un schéma complet de la stratégie de développement agricole au Maroc. Plusieurs programmes publics sont consacrés à la réalisation de ce plan.

Les défis climatiques liés principalement à la sécheresse et au stress hydrique touchent directement le secteur agricole au niveau national et confrontent le Maroc à la nécessité d'adapter ces plans et d'adopter de nouvelles stratégies.

Ce sujet vise à analyser le secteur agricole au Maroc et à évaluer, par des modèles adéquats, les politiques publiques dédiées à son développement. Une analyse régionale pour mettre en évidence les disparités et les inégalités est recherchée.

MOTS-CLES

Politique agricole au Maroc ; Souveraineté ; Sécurité alimentaire ; Changement climatique ; Stress hydrique ; Disparités régionales.

ENCADREMENT

N. ZAOUJAL — Professeure de l'enseignement supérieur, INSEA — zaoujal@insea.ac.ma

EQF-4 — Ouverture commerciale vers l’Afrique, opportunités et défis

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

Les relations commerciales entre le Maroc et l’Afrique subsaharienne ne cessent de se renforcer et de se dynamiser. En effet, le volume des échanges et des investissements directs qui n’a cessé de croître au cours des dernières années, traduit la volonté du Maroc à devenir un acteur majeur dans le développement de l’Afrique.

Ce sujet propose d’étudier, les opportunités offertes au Maroc mais aussi les défis qui s’imposent par son ouverture vers les pays de l’Afrique subsaharienne au niveau économique (global et sectoriel) et aussi au niveau social.

Les questions auxquelles le sujet cherche à répondre sont : Quels sont les facteurs qui favorisent l’ouverture du Maroc vers l’Afrique subsaharienne ? Quel est l’impact économique et social de cette ouverture sur le Maroc ? Quels sont les défis qui s’imposent avec cette ouverture ?

MOTS-CLES

Ouverture commerciale ; Compétitivité ; Equilibre commercial ; Opportunités et défis économiques et sociaux.

ENCADREMENT

N. ZAOUJAL — Professeure de l’enseignement supérieur, INSEA — zaoujal@insea.ac.ma

EQF-5 — Impact des transferts dans l'amélioration des niveaux de vie

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

Les transferts, forme de solidarité sociale, sont souvent une source régulière voire principale des revenus des ménages. Les transferts publics aux ménages constituent aussi des filets de sécurité pour préserver leur niveau de vie dans un environnement de crises et de défaillances des marchés, comme l'a montré la crise pandémique Covid-19.

Ce sujet propose d'étudier et d'analyser l'impact des transferts, publics et/ou privés, perçus par les ménages et leur contribution dans la préservation voire l'amélioration de leur niveau de vie.

Le sujet s'étend aussi à une analyse spatiale et dynamique des transferts qui tient compte de leur transmission intergénérationnelle.

Les données à utiliser dans ce sujet sont issues des statistiques administratives et des enquêtes nationales auprès des ménages, principalement. Des sources de données non conventionnelles peuvent aussi être utilisées.

MOTS-CLES

Filets de sécurité ; Solidarité ; Transferts ; Niveaux de vie ; Analyse spatiale ; Analyse dynamique.

ENCADREMENT

N. ZAOUJAL — Professeure de l'enseignement supérieur, INSEA — zaoujal@insea.ac.ma

EQF-6 — Capital humain, productivité et croissance

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

L'accumulation de capital humain permet de réaliser des gains de productivité favorables à la croissance et à l'emploi. En effet, les économistes de la croissance (**Romer, Barro et Lucas, par exemple**) reconnaissent que les compétences et les capacités de la population active représentent des atouts concurrentiels importants. Ils considèrent que le capital humain est un facteur déterminant de la croissance économique.

Par ailleurs, **l'éducation et la santé** sont considérées comme des pivots de la formation du capital humain. Ces deux secteurs sont au cœur des analyses du capital humain. L'éducation, par exemple, comprend la formation initiale : scolaire, universitaire et professionnelle. Cependant, l'accumulation du capital humain peut être réalisée aussi par d'autres formes d'apprentissage et d'adaptation destinées aux adultes, en particulier : recyclage, formation continue, programmes d'alphabétisation alors que la santé regroupe les deux systèmes public et privé et toutes les infrastructures liées, . . .

Les conditions sur le marché de travail représentent aussi un autre enjeu important du capital humain. Le chômage de longue durée, le chômage des jeunes, l'emploi inadéquat et le travail informel peuvent, en effet, entraîner une détérioration du capital humain par la dégradation des connaissances et des compétences.

Cette thématique propose d'étudier la relation entre le capital humain, la productivité et la croissance à travers l'analyse des politiques publiques dédiées à la formation du capital humain et à sa valorisation, notamment les politiques éducatives, les politiques de santé et leur interaction avec le marché de travail. Une analyse régionale pour mettre en exergue les disparités et les inégalités est aussi demandée.

MOTS-CLES

Capital humain ; Productivité ; Croissance ; Education ; Santé ; Marché de travail ; Disparités régionales.

ENCADREMENT

N. ZAOUJAL — Professeure de l'enseignement supérieur, INSEA — zaoujal@insea.ac.ma

EQF-7 — Dépense d'éducation, formation du capital humain et équilibre macroéconomique séquentiel (Dynamique)

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

Depuis son indépendance, le système éducatif marocain connaît un retard structurel dans, un taux d'analphabétisme élevé et des disparités scolaires. Ainsi, les autorités ont engagé des politiques visant à développer le capital humain, moderniser le système et l'adapter aux nécessités structurelles du marché du travail (avec un investissement public important, représentant près de 6 % du PIB). Toutefois, on rappelle que malgré ce grand effort, le système éducatif reste défaillant en termes de qualité de l'enseignement, des in- égalités sociales et de l'efficacité des ressources mobilisées, renvoyant ainsi aux débats de l'impact des dépenses d'éducation sur la formation du capital humain et sur la capacité de l'économie à générer une croissance durable et inclusive.

Cette thèse propose d'examiner l'impact des dépenses publiques en éducation sur la dynamique macroéconomique du Maroc en adoptant un cadre séquentiel de type Modèle d'Equilibre Général Calculable à Générations Imbriquées. L'objectif est de spécifier une fonction de production nationale intégrant explicitement le capital humain, et d'analyser comment les investissements éducatifs influencent les variables macroéconomiques à court et à long terme, telles que la croissance, l'emploi et la productivité globale. L'étude mettra également l'accent sur les externalités positives générées par l'éducation, qui dépassent les gains privés, justifiant ainsi l'intervention publique et la nécessité d'une allocation optimale des ressources.

Enfin, cette recherche aura une dimension comparative régionale, en situant le Maroc par rapport aux autres pays de la région MENA, afin d'identifier les leviers d'amélioration et les bonnes pratiques susceptibles de renforcer l'efficacité de la dépense éducative. L'approche adoptée combinera une modélisation macroéconomique dynamique avec une analyse empirique des données nationales et internationales, permettant d'évaluer l'impact séquentiel de l'investissement dans le capital humain sur l'équilibre économique et la résilience structurelle du pays.

MOTS-CLES

Éducation ; Capital humain ; Croissance durable ; Équilibre macroéconomique ; Modèle séquentiel.

PROFIL RECHERCHE

Candidats titulaires d'un diplôme d'ingénieur ou d'un Master en économie appliquée, statistiques, recherche opérationnelle, génie industriel, supply chain, ou disciplines connexes. Les lauréats en sciences économiques ou en économétrie sont également éligibles.

ENCADREMENT

A. FADLALLAH — Professeur Habilité, INSEA — a.fadlallah@insea.ac.ma

EQF-8 — Politique industrielle, chaînes d’approvisionnement et croissance verte

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

De nos jours, la politique industrielle constitue aujourd’hui un levier central de la transformation économique des pays, et son efficacité dépend étroitement de la structuration et de la performance des chaînes d’approvisionnement. Fondamentalement, ces chaînes représentent la canalisation logistique et organisationnelle, reliant ainsi, d’une part la production nationale aux marchés mondiaux et conditionnant l’intégration durable des industries dans les chaînes de valeur globales. Au Maroc, le développement des secteurs stratégiques tels que l’automobile, l’aéronautique, l’agro-industrie ou encore les énergies renouvelables montre dépend de la solidité, de la résistance et de la durabilité de ses réseaux d’approvisionnement.

Dans ce cadre, il est à rappeler que l’évolution des chaînes d’approvisionnement dans un contexte international marqué par la pandémie de la COVID-19, les chocs énergétiques et les perturbations géopolitiques a révélé la fragilité des modèles traditionnels, trop dépendants de quelques nœuds critiques et insuffisamment intégrés. Ainsi, les dysfonctionnements des économies industrialisées et émergentes ont montré le rôle déterminant de la résilience logistique pour la continuité productive d’une part et pour la souveraineté industrielle d’autre part. Dès lors, la politique industrielle doit intégrer la résilience et de la durabilité des chaînes d’approvisionnement comme piliers de la compétitivité structurelle.

Au Maroc, on rappelle que la stratégie d’accélération industrielle, de diversification de son tissu productif, l’articulation entre chaînes d’approvisionnement et l’objectif de développement de taux d’intégration locale, de renforcement de la valeur ajoutée nationale et de positionnement de l’économie repose sur la capacité à développer des chaînes logistiques à la fois robustes face aux chocs exogènes et alignées avec les impératifs de la transition écologique. Ainsi, la durabilité devient un vecteur stratégique, une contrainte environnementale, un atout de compétitivité et d’attractivité pour les investisseurs et partenaires internationaux.

La présente recherche vise ainsi à analyser, sous un cadre économique et quantitatif, les liens entre résilience des chaînes d’approvisionnement, durabilité et croissance verte, dans le cadre plus large de la politique industrielle marocaine. Elle se propose de modéliser les interactions entre la robustesse logistique, la performance sectorielle et les dynamiques de croissance, en mobilisant des outils économétriques, des modèles d’optimisation et des méthodes issues de l’intelligence artificielle. L’objectif est de tester les mécanismes par lesquels la résilience et la durabilité des chaînes peuvent renforcer la compétitivité industrielle, accroître la valeur ajoutée et consolider la trajectoire de croissance verte. Globalement, on signale ce travail s’inscrit principalement dans une double ambition : contribuer d’une part à méthodes d’analyse d’impact sur l’articulation entre supply chain, durabilité et économie appliquée, et d’autre part de développer, déterminer et appliques les méthodes empiriques de la performance de la politique industrielle au Maroc dans le cadre de la transition vers une croissance verte et inclusive.

MOTS-CLES

Politique industrielle ; Chaînes d’approvisionnement ; Résilience ; Durabilité ; Croissance verte.

PROFIL RECHERCHE

Candidats titulaires d’un diplôme d’ingénieur ou d’un Master en économie appliquée, statistiques, recherche opérationnelle, génie industriel, supply chain, ou disciplines connexes. Les lauréats en sciences économiques ou en économétrie sont également éligibles.

ENCADREMENT

A. FADLALLAH — Professeur Habilité, INSEA — a.fadlallah@insea.ac.ma

2 Statistique Appliquée et Actuariat

SAA-1 — Modélisation des comportements de gaspillage alimentaire par l'analyse de données et le machine learning

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

Le gaspillage alimentaire est un enjeu mondial majeur qui affecte toute la chaîne d'approvisionnement, avec une intensité marquée au niveau des ménages et de la restauration. En 2022, le PNUE estimait à 1,05 milliard de tonnes les déchets alimentaires, dont 60 % issus des ménages. Ce phénomène exerce une pression croissante sur les ressources naturelles et freine l'atteinte des Objectifs de Développement Durable (ODD).

Chaque année, près d'un tiers des aliments produits sont perdus ou gaspillés, entraînant des impacts économiques, sociaux et environnementaux significatifs. La cible 12.3 de l'ODD 12 vise à réduire de moitié le gaspillage alimentaire par habitant d'ici 2030. Pour y parvenir, des stratégies multisectorielles sont nécessaires, associant politiques publiques, innovations technologiques et actions éducatives.

Au niveau de la consommation finale, les comportements individuels jouent un rôle déterminant : planification des achats, gestion du stockage, interprétation des dates de péremption, habitudes culinaires. Malgré l'intérêt croissant pour les interventions comportementales, aucune étude n'a évalué l'efficacité de ces stratégies en Afrique, ce qui souligne un besoin urgent de recherche contextualisée.

Ce projet vise à identifier puis modéliser les facteurs comportementaux qui contribuent au gaspillage alimentaire chez les consommateurs. L'utilisation de techniques de machine learning (Random Forest, LSTM, etc.) permettra de classer les profils de consommateurs et d'orienter efficacement les stratégies de communication afin de favoriser des pratiques de consommation responsables et de réduire le gaspillage.

MOTS-CLES

Gaspillage alimentaire ; Machine learning ; Données de consommation ; Comportements individuels ; ODD.

PROFIL RECHERCHE

Candidat(e) titulaire d'un Master ou d'un diplôme d'ingénieur en statistiques, data science, économie appliquée ou mathématiques appliquées. Solides compétences en analyse de données, apprentissage automatique et modélisation prédictive. Intérêt marqué pour les thématiques liées à la durabilité et aux ODD.

ENCADREMENT

F. BADAoui — Professeure Habilitée, INSEA — fbadaoui@insea.ac.ma

REFERENCES

1. Martínez-Martínez, M. A., García-Sánchez, A., & López-Sánchez, J. I. (2024). Machine learning models for short-term demand forecasting in food catering services : A solution to reduce food waste. *Journal of Cleaner Production*, 440, 140877. [doi:10.1016/j.jclepro.2023.140877](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140877)
2. Singh, A., Kumar, V., & Yadav, S. (2025). Leveraging LSTM and ensemble classifiers for enhanced food waste classification. *Discover Sustainability*, 6(2), 1330. [doi:10.1007/s43621-025-01330-6](https://doi.org/10.1007/s43621-025-01330-6)
3. Zou, Y., Bezuidenhout, R., & Ishrat, R. (2024). An application of machine learning to classify food waste interventions from a food supply chain perspective. *British Food Journal*, 126(6), 1420–1436. [doi:10.1108/BFJ-02-2024-0135](https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2024-0135)

SAA-2 — Étude des copules dynamiques pour séries temporelles : modélisation, estimation et applications aux risques extrêmes

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

La modélisation de la dépendance entre séries temporelles multivariées constitue un enjeu central en finance, assurance et sciences de l'environnement, notamment lorsqu'il s'agit de représenter des relations non linéaires ou asymétriques entre variables. Les approches classiques, fondées sur des copules statiques, restent limitées car elles ne capturent pas l'évolution temporelle de la dépendance.

Ce projet de recherche porte sur les copules dynamiques (time-varying copulas), dont les paramètres évoluent dans le temps en fonction de l'information passée. L'objectif est de développer un cadre méthodologique rigoureux pour la modélisation, l'estimation et l'évaluation de la dépendance dynamique, en mobilisant des approches paramétriques, semi-paramétriques et bayésiennes. Une attention particulière sera accordée à l'estimation des marges et à la comparaison de différentes familles de copules dynamiques, appliquées à des données réelles à fort enjeu (séries financières, risques climatiques, propagation épidémique).

Ce travail comprendra également le développement d'outils logiciels en R ou Python pour automatiser le processus de modélisation. Il contribuera à une meilleure compréhension de la dépendance temporelle complexe et à l'amélioration des outils de prévision du risque extrême.

MOTS-CLES

Copules dynamiques ; Séries temporelles ; Dépendance temporelle ; Risques extrêmes ; Modélisation statistique.

PROFIL RECHERCHE

Candidat(e) titulaire d'un Master ou d'un diplôme d'ingénieur en mathématiques appliquées, statistique, data science, ou actuariat. Solides compétences en théorie des copules, économétrie des séries temporelles et programmation (R ou Python). Intérêt pour les applications à la gestion du risque.

ENCADREMENT

F. BADAoui — Professeure Habilitée, INSEA — fbadaoui@insea.ac.ma

REFERENCES

1. Sklar, A. (1959). Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges.
2. Patton, A. J. (2006). Modelling Asymmetric Exchange Rate Dependence. *International Economic Review*.
3. Chen, X., Fan, Y., & Patton, A. J. (2004). Simple tests for models of dependence between multiple financial time series.
4. Hafner, C. M., & Manner, H. (2012). Dynamic stochastic copula models : Estimation, inference and applications.
5. Joe, H. (2014). Dependence Modeling with Copulas. Chapman and Hall/CRC.

SAA-3 — Apprentissage statistique en gestion des risques financiers et actuariels

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

Les avancées en puissance de calcul et en disponibilité de données massives ont favorisé l'essor de l'apprentissage statistique dans les sciences actuarielles et financières. Dans le secteur de l'assurance, ces approches offrent de nouvelles perspectives pour la tarification, l'évaluation des provisions et la mesure de la solvabilité. En finance, elles permettent d'améliorer l'estimation des mesures usuelles de risque, telles que la Value-at-Risk (VaR) et l'Expected Shortfall (CTE), et d'explorer de nouvelles approches de couverture des portefeuilles.

Ce projet de thèse vise à étudier comment les méthodologies issues de l'apprentissage statistique, et en particulier de l'apprentissage profond, peuvent être intégrées à la gestion des risques. L'objectif est double : développer des modèles prédictifs robustes et interprétables, et analyser leur contribution à la prise de décision sous contrainte réglementaire. Une attention particulière sera portée à la comparaison entre modèles classiques (GLM, GARCH) et approches modernes (réseaux neuronaux, modèles explicables), ainsi qu'à leur mise en œuvre pratique en assurance et en finance.

MOTS-CLES

Apprentissage statistique ; Apprentissage profond ; Mesures de risque ; VaR ; CTE.

PROFIL RECHERCHE

Candidat(e) titulaire d'un Master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur en actuariat, statistiques, mathématiques appliquées ou économie quantitative. Solide expertise en modélisation statistique et apprentissage automatique, maîtrise des outils de programmation (R ou Python), et intérêt marqué pour la recherche appliquée en gestion des risques.

ENCADREMENT

F. BADAoui — Professeure Habilitée, INSEA — fbadaoui@insea.ac.ma

K. SAID — Professeur Habilité, INSEA — ksaid@insea.ac.ma

REFERENCES

1. Buehler, H., Gonon, L., Teichmann, J., & Wood, B. (2019). Deep hedging. *Quantitative Finance*, 19(8), 1271–1291. [doi:10.1080/14697688.2019.1571683](https://doi.org/10.1080/14697688.2019.1571683).
2. Dixon, M., Halperin, I., & Bilokon, P. (2020). *Machine Learning in Finance*. Springer. [doi:10.1007/978-3-030-41068-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41068-1).
3. Heaton, J.B., Polson, N.G., & Witte, J.H. (2017). Deep learning for finance : deep portfolios. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 33(1), 3–12. [doi:10.1002/asmb.2209](https://doi.org/10.1002/asmb.2209).
4. Leo, M., Sharma, S., & Maddulety, K. (2019). Machine learning in banking risk management : A literature review. *Risks*, 7(1), 29. [doi:10.3390/risks7010029](https://doi.org/10.3390/risks7010029).
5. Piette, P. (2019). *Contributions de l'Apprentissage Statistique à l'Actuariat et la Gestion des Risques Financiers*. PhD thesis, Université de Lyon.

SAA-4 — Théorie de la ruine multidimensionnelle et dépendance

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

La probabilité de ruine d'une compagnie d'assurance correspond à la probabilité qu'un instant survienne où les réserves deviennent négatives. Dans le cadre classique de Cramér–Lundberg, la littérature propose de nombreux résultats analytiques, souvent basés sur la théorie du renouvellement.

Ce projet se concentre sur les extensions multidimensionnelles de la théorie de la ruine, pertinentes pour l'étude de la solvabilité des groupes d'assurance et des portefeuilles multi-branches. L'objectif est d'analyser la probabilité de ruine simultanée ou coordonnée dans des modèles multivariés de risque, en tenant compte des dépendances entre branches ou entités. Pour ce faire, on mobilisera la théorie des copules afin de modéliser la structure de dépendance, ainsi que les développements récents de la théorie des valeurs extrêmes multivariées pour caractériser le comportement asymptotique des probabilités de ruine.

Ce travail vise à enrichir la compréhension des mécanismes de ruine dans des contextes complexes et interdépendants, apportant des éclairages utiles pour la réglementation prudentielle et la gestion du capital en assurance.

MOTS-CLES

Théorie de la ruine ; Modèle de Cramér–Lundberg ; Probabilités multivariées de ruine ; Copules ; Théorie des valeurs extrêmes ; Groupes d'assurance.

PROFIL RECHERCHE

Candidat(e) titulaire d'un Master recherche ou d'un diplôme d'ingénieur en mathématiques appliquées, actuariat ou probabilité. Solide maîtrise de la théorie des probabilités et de l'analyse asymptotique. Une connaissance préalable de la théorie de la ruine constitue un atout. Rigueur scientifique et motivation pour la recherche théorique sont essentielles.

ENCADREMENT

Khalil SAID — Professeur Habilité, INSEA — ksaid@insea.ac.ma

M. EDDAHBI — Full Professor, King Saud University — meddahbi@ksu.edu.sa

REFERENCES

1. Asmussen, S., & Albrecher, H. (2010). *Ruin Probabilities*. World Scientific.
2. Cai, J., & Li, H. (2007). Dependence properties and bounds for ruin probabilities in multivariate compound risk models. *Journal of Multivariate Analysis*, 98(4), 757–773.
3. Lefèvre, C., & Loisel, S. (2008). On finite-time ruin probabilities for classical risk models. *Scandinavian Actuarial Journal*, 2008(1), 41–60.

SAA-5 — Indicateurs statistiques pour l'analyse de l'impact du changement climatique sur le secteur de l'assurance au Maroc

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

Le changement climatique constitue aujourd'hui un défi majeur pour l'industrie de l'assurance, confrontée à une fréquence accrue d'événements extrêmes (sécheresses, inondations, vagues de chaleur, tempêtes). Ces évolutions remettent en question les fondements mêmes de l'assurabilité, notamment la mutualisation et la diversification des risques, et soulèvent des enjeux cruciaux en matière de solvabilité et de tarification.

Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse est de développer des indicateurs statistiques permettant de mesurer l'évolution du risque climatique et d'en analyser les répercussions sur le secteur assurantiel marocain. L'approche proposée repose sur l'exploitation de données climatiques historiques (température, précipitations, sécheresses, événements extrêmes) et sur leur mise en relation avec les pertes observées dans différentes branches d'assurance. Des techniques statistiques et actuarielles avancées seront mobilisées pour construire ces indicateurs et en évaluer la pertinence. L'ambition est de fournir un outil rigoureux et reproductible pour mieux anticiper l'impact du changement climatique sur la soutenabilité du système assurantiel et social au Maroc, tout en s'inscrivant dans une perspective internationale de comparaison.

MOTS-CLES

Changement climatique ; Assurance ; Indicateurs statistiques ; Risque extrême ; Soutenabilité.

PROFIL RECHERCHE

Candidat(e) titulaire d'un Master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur en actuariat, statistiques, mathématiques appliquées ou économie quantitative. Solide expertise en modélisation statistique, maîtrise des logiciels R ou Python, et intérêt marqué pour les problématiques de climat et de gestion des risques assurantiels.

ENCADREMENT

K. SAID — Professeur Habilité, INSEA — ksaid@insea.ac.ma

M. EDDAHBI — Full Professor, King Saud University — meddahbi@ksu.edu.sa

REFERENCES

1. Garrido, J., Milhaud, X., Olympio, A., & Popp, M. (2024). *Climate Risk and its Impact on Insurance*. *Green Book*. HAL : [hal-04684634](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-04684634).
2. American Academy of Actuaries, Canadian Institute of Actuaries, Casualty Actuarial Society, Society of Actuaries (2018). *Actuaries Climate Index : Development and Design*.
3. Valla, M. (2024). Time-penalised trees (TpT) : introducing a new tree-based data mining algorithm for time-varying covariates. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 92, 1609–1661. [doi:10.1007/s10472-024-09950-w](https://doi.org/10.1007/s10472-024-09950-w).

SAA-6 — Modélisation stochastique et quantification du risque cyber dans le contexte marocain

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

Avec la digitalisation accélérée de l'économie, le risque cyber est désormais considéré comme une menace systémique pour les entreprises, les institutions financières et les infrastructures critiques. Le Maroc, engagé dans une stratégie nationale de cybersécurité, fait face à une intensification des cyberattaques qui fragilise à la fois le tissu économique et la confiance numérique. Cette évolution crée une pression croissante sur le secteur de l'assurance, où la cyber-assurance émerge progressivement comme un marché en construction.

L'évaluation quantitative du risque cyber demeure toutefois complexe : les données disponibles sont partielles, les événements sous-déclarés, et les attaques présentent souvent un caractère de contagion (effet domino ou propagation en cascade). Ces spécificités limitent l'applicabilité des approches classiques de modélisation des risques. Le projet de thèse propose de développer et calibrer des modèles stochastiques adaptés — en particulier des processus ponctuels auto-excitants de type Hawkes et leurs extensions multivariées — afin de représenter la dynamique des cyberattaques et leurs impacts potentiels pour le marché assurantiel marocain. L'objectif est double : fournir une base statistique rigoureuse pour la tarification et la gestion du risque d'accumulation, et proposer des outils opérationnels pour soutenir l'essor de la cyber-assurance au Maroc.

MOTS-CLES

Risque cyber ; Assurance ; Modélisation stochastique ; Processus de Hawkes ; Contagion ; Quantification actuarielle.

PROFIL RECHERCHE

Candidat(e) titulaire d'un Master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur en actuariat, statistiques, mathématiques appliquées ou informatique quantitative. Compétences solides en modélisation probabiliste et en théorie des processus stochastiques, maîtrise des outils de simulation (R ou Python), et intérêt affirmé pour les problématiques émergentes en cybersécurité et assurance.

ENCADREMENT

K. SAID — Professeur Habilité, INSEA — ksaid@insea.ac.ma

S. BENJELLOUN¹ — Associate Professor, ESILV, France — saad.benjelloun@devinci.fr

REFERENCES

1. Boumezoued, A., Cherkaoui, Y., Hillairet, C. (2023). Cyber risk modeling using a two-phase Hawkes process with external excitation. *arXiv*. arxiv.org/abs/2311.15701.
2. Lu, Y. (2024). Cyber risk modeling : a discrete multivariate count process framework. *Stochastic Models*.
3. Bessy-Roland, Y., Boumezoued, A., Hillairet, C. (2021). Multivariate Hawkes process for Cyber Risk Insurance. *Annals of Actuarial Science*, 15(1), 63-87.
4. Munich Re (2025). Cyber Insurance : Risks and Trends 2025. *Munich Re Report*. [munichre.com](https://www.munichre.com).

1. Une possibilité de thèse en cotutelle pourra être envisagée.

SAA-7 — Tarification de produits d'assurance paramétrique au Maroc

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

L'assurance paramétrique constitue une innovation majeure dans la gestion des risques liés aux événements extrêmes. Basée sur le déclenchement automatique d'indemnités conditionné par l'observation d'indices climatiques, environnementaux ou financiers, elle permet de réduire les délais de règlement et de renforcer la transparence.

Au Maroc, où la vulnérabilité aux risques naturels et systémiques est élevée, l'assurance paramétrique représente une piste de diversification et d'élargissement de l'offre assurantielle, bien au-delà du seul domaine agricole. La tarification de ces produits reste toutefois un défi : elle implique de maîtriser le risque de base, de calibrer les paramètres de déclenchement et d'épuisement des contrats, et de recourir à des méthodes statistiques et actuarielles avancées pour simuler et valoriser les pertes potentielles.

L'objectif de cette thèse est de développer et d'évaluer des approches de tarification adaptées au marché marocain de l'assurance paramétrique, en mobilisant à la fois des outils de simulation (bootstrap, Monte Carlo, KDE), des techniques de réduction du risque de base, et une réflexion sur la soutenabilité et l'adoption de tels produits dans divers secteurs (agriculture, énergie, tourisme, infrastructures).

MOTS-CLES

Assurance paramétrique ; Tarification ; Risque de base ; Risques extrêmes ; Simulation ; Maroc.

PROFIL RECHERCHE

Candidat(e) titulaire d'un Master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur en actuariat, statistiques, mathématiques appliquées ou économie quantitative. Compétences solides en modélisation probabiliste, simulation numérique et économétrie appliquée. Intérêt affirmé pour l'innovation en assurance et les problématiques liées au changement climatique et à la résilience économique.

ENCADREMENT

Khalil SAID — Professeur Habilité, INSEA — ksaid@insea.ac.ma

REFERENCES

1. Belhsen, Y., Ouhdouch, R., & Said, K. (2025). *From drought risk mapping to parametric insurance : A machine learning-based framework*. HAL Preprint. [hal-05222002](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-05222002).
2. Barnett, B. J., & Mahul, O. (2007). Weather index insurance for agriculture and rural areas in lower-income countries. *American Journal of Agricultural Economics*, 89(5), 1241–1247.
3. Carter, M. R., de Janvry, A., Sadoulet, E., & Sarris, A. (2017). Index insurance for developing country agriculture : A reassessment. *Annual Review of Resource Economics*, 9, 421–438.
4. Miranda, M. J., & Farrin, K. (2012). Index insurance for developing countries. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 34(3), 391–427.

SAA-8 — Stratégies de réassurance : optimisation stochastique et mesures de risque avancées

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

La réassurance constitue un pilier central de la gestion des risques en assurance non- vie. Elle permet de transférer une partie de l'exposition de l'assureur vers un réassureur, moyennant une prime qui reflète l'appétence au risque de ce dernier. Le choix du traité de réassurance influence directement la stabilité financière de l'assureur et son besoin en capital réglementaire.

La question de la réassurance optimale est formulée depuis longtemps comme un problème d'optimisation : minimiser une mesure de risque (VaR, TVaR, mesures de distorsion, etc.) ou maximiser une fonction d'utilité, sous contraintes de gestion. Depuis Borch (1960), une abondante littérature a étudié les traités classiques (quote-part, stop-loss, excédent de sinistre), mais l'évolution des méthodes actuarielles et des cadres prudentiels (Solvabilité II, SBR) ouvre de nouvelles perspectives.

Ce projet s'inscrit dans le champ des mathématiques appliquées et de la modélisation probabiliste. Il vise à développer et analyser des stratégies de réassurance qui tiennent compte non seulement de l'aversion au risque de l'assureur, mais aussi de celle du réassureur, à l'aide de mesures de risque modernes et de principes de prime généraux. L'enjeu est double : proposer des solutions théoriquement rigoureuses et en évaluer la pertinence pratique dans le cadre réglementaire actuel.

MOTS-CLES

Réassurance ; Optimisation stochastique ; Mesures de risque ; Aversion au risque ; Stop- Loss ; Excédent de sinistre.

PROFIL RECHERCHE

Candidat titulaire d'un Master 2 en actuariat, mathématiques appliquées ou statistique. Solide maîtrise de la modélisation probabiliste et des techniques d'optimisation. La connaissance des traités de réassurance et du cadre réglementaire (Solvabilité II, SBR) constituerait un atout. Rigueur scientifique, capacités rédactionnelles et motivation pour la recherche appliquée sont indispensables.

ENCADREMENT

Khalil SAID — Professeur Habilité, INSEA — ksaid@insea.ac.ma

REFERENCES

1. A. Balbás, B. Balbás, and A. Heras. Optimal reinsurance with general risk measures. *Insurance : Mathematics and Economics*, 44(3) :374–384, 2009.
2. C. Bernard and W. Tian. Optimal reinsurance arrangements under tail risk measures. *Journal of Risk and Insurance*, 76(3) :709–725, 2009.
3. Y. Chi and K. Tan. Optimal reinsurance with general premium principles. *Insurance : Mathematics and Economics*, 52(2) :180–189, 2013.
4. W. Cui, J. Yang, and L. Wu. Optimal reinsurance minimizing the distortion risk measure under general reinsurance premium principles. *Insurance : Mathematics and Economics*, 53(1) :74–85, 2013.

SAA-9 — Gestion des risques en finance et assurance islamiques (Takaful)

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

La finance islamique repose sur une philosophie fondée sur la justice sociale, l'équité et le partage des risques. Elle se distingue nettement de la finance conventionnelle par ses instruments et ses principes juridiques, qui interdisent l'intérêt (*riba*) et encouragent la participation aux pertes et profits. Les produits éthiques pratiqués par les banques et sociétés de placement incluent notamment la *Mudharabah*, la *Musharakah*, la *Murabaha*, le *Salam* et l'*Istisna*.

Dans ce cadre, l'assurance *Takaful* connaît un développement rapide, en particulier en Asie, dans les pays du Golfe et plus récemment en Europe. Plusieurs modèles coexistent (*Mudharabah*, *Tabarru*, *Wakâla*, *Waqf*), mais l'industrie fait face à d'importants défis techniques : évaluation des provisions, tarification, gouvernance, calcul des fonds propres et mécanismes de réassurance (*Retakaful*). Ces enjeux nécessitent des modèles actuarielles adaptés, capables d'intégrer les contraintes spécifiques du *Takaful* tout en répondant aux standards de solvabilité.

Ce projet propose d'explorer les spécificités actuarielles de la finance islamique et de l'assurance *Takaful* en comparant les modèles appliqués à ceux de l'assurance conventionnelle, en identifiant les différences structurelles dans la gestion des risques et en développant des cadres mathématiques adaptés (processus stochastiques, modèles de ruine, simulation de solvabilité). L'objectif est de proposer des solutions de gestion intégrée des risques qui tiennent compte des spécificités juridiques et éthiques propres à ce secteur, tout en s'inscrivant dans le contexte marocain où le *Takaful* est en phase d'implémentation.

MOTS-CLES

Finance islamique ; Assurance *Takaful* ; *Retakaful* ; Solvabilité ; Gouvernance ; Produits éthiques.

PROFIL RECHERCHE

Candidat(e) titulaire d'un Master ou d'un diplôme d'ingénieur en actuariat, finance ou mathématiques appliquées. Solides compétences en gestion des risques, modélisation stochastique et techniques actuarielles. Intérêt marqué pour la finance éthique et les problématiques de conformité réglementaire.

ENCADREMENT

Khalil SAID — Professeur Habilité, INSEA — ksaid@insea.ac.ma

REFERENCES

1. Hussain, H.I., et al. (2024). Risk management efficiency of *Takaful* operators. *Journal of Islamic Accounting and Business Research*. doi:10.1108/JIABR-03-2022-0065.
2. Puspita, D., et al. (2020). Discrete-time ruin for *Takaful* with investment and *Qard-Hasan*. *Journal of Risk and Financial Management*, 13(9), 211. doi:10.3390/jrfm13090211.
3. Hassan, A., & Mollah, S. (2018). *Islamic Finance : Ethical underpinnings, products, and institutions*. Springer. doi:10.1007/978-3-319-91295-0.

SAA-10 — Évaluation et durabilité des régimes de retraite au Maroc

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

Le Maroc est engagé dans une réforme ambitieuse de son système de protection sociale, conformément à la loi-cadre adoptée en février 2021, dont l'un des axes majeurs concerne l'élargissement de la couverture des régimes de retraite d'ici 2025. Cette réforme met en évidence l'importance cruciale de la soutenabilité et de la pérennité des systèmes de retraite marocains.

Le système national, composé de régimes par répartition et par capitalisation, fait face à de multiples défis : épuisement projeté des réserves, équilibre financier difficile à atteindre, révision de la valeur des pensions, élargissement de la base de cotisants, optimisation de l'allocation d'actifs et gestion du risque actuariel. Ces enjeux sont accentués par la transition démographique : le nombre de personnes âgées de 60 ans et plus passerait de 2,7 millions en 2010 à plus de 10 millions en 2050, soit près d'un quart de la population.

Ce projet doctoral vise à analyser les équilibres financiers et actuarielles des régimes marocains de retraite et de prévoyance sociale, à développer des modèles quantitatifs pour évaluer la soutenabilité face au vieillissement, et à proposer des solutions innovantes pour garantir leur viabilité à long terme.

MOTS-CLES

Retraite ; Régimes par répartition ; Régimes par capitalisation ; Risque de longévité ; Tables de mortalité.

PROFIL RECHERCHE

Candidat(e) titulaire d'un Master ou diplôme d'ingénieur en actuariat et gestion des risques. Solides bases en assurance vie et mathématiques actuarielles. Maîtrise des outils de simulation en R/Python pour la génération de scénarios économiques aléatoires et bonne capacité de rédaction.

ENCADREMENT

Khalil SAID — Professeur Habilité, INSEA — ksaid@insea.ac.ma

REFERENCES

1. Palier, B. (2021). *Réformer les retraites*. Presses de Sciences Po.
2. Rhomari, M. (2015). *La réforme des systèmes de retraite dans les pays en développement et l'extension de la couverture à l'emploi informel : Application au Maroc*. PhD thesis, Université Paris-Dauphine.
3. Guillot, F. (2007). *Modélisation du risque de longévité avec applications en assurance et régime de retraite*. Bibliothèque et Archives Canada.
4. Outlioua, S., & Fazouane, A. (2023). Prospection of the Factors Impacting the Sustainability of the Moroccan Pension Scheme. *European Journal of Sustainable Development*, 12(1), 46.
5. Medeiros, L. M., Macagnan, C. B., & Seibert, R. M. (2025). Decoding Pension Funds : Sustainability Indicators for Annual Report Analysis. *Journal of Risk and Financial Management*, 18(4), 174.

SAA-11 — Évaluation des normes marocaines de solvabilité pour les compagnies d'assurance

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

La réglementation marocaine a adopté une approche fondée sur le risque à travers la nouvelle norme de Solvabilité Basée sur les Risques (SBR), inspirée de Solvabilité II. Cette réforme vise à renforcer la protection des assurés en imposant une quantification plus fine des risques et une gestion plus rigoureuse du capital. Elle constitue une évolution majeure pour les stratégies d'investissement et de gouvernance des compagnies d'assurance.

Contrairement à l'ancien dispositif prudentiel, qui se limitait à un calcul simplifié de marge de solvabilité, la SBR repose sur des modèles intégrant la valeur de marché et une évaluation probabiliste du Capital de Solvabilité Requis (SCR) sur un horizon d'un an avec un niveau de confiance de 99,5 %. Deux approches sont possibles : la Formule Standard proposée par l'ACAPS, fondée sur l'agrégation de besoins élémentaires à partir de matrices de corrélation, ou l'utilisation de modèles internes adaptés au profil de risque propre de chaque compagnie.

Ce projet vise à analyser la pertinence de la SBR dans le contexte marocain, à évaluer les difficultés rencontrées lors de l'agrégation des risques et à étudier les processus internes d'évaluation des risques (ORSA, Pilier 2). Il cherchera également à proposer de bonnes pratiques en matière d'allocation de capital et de gestion des actifs pour améliorer la résilience du secteur de l'assurance.

MOTS-CLES

Solvabilité II; SBR; SCR; ORSA; Mesures de risque; Formule standard; Modèles internes.

PROFIL RECHERCHE

Candidat(e) titulaire d'un Master ou d'un diplôme d'ingénieur en actuariat et gestion des risques. Excellentes compétences en mathématiques actuarielles et connaissance approfondie des cadres prudentiels en assurance. Une expérience préalable sur la solvabilité ou la modélisation des risques serait un atout.

ENCADREMENT

Khalil SAID — Professeur Habilité, INSEA — ksaid@insea.ac.ma

REFERENCES

1. Eling, M., Schmeiser, H., & Schmit, J. (2007). The Solvency II process : Overview and critical analysis. *Risk Management and Insurance Review*, 10(1), 69–85.
2. Holzmüller, I. (2009). The United States RBC standards, Solvency II and the Swiss Solvency Test : A comparative assessment. *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, 34, 56–77.
3. Sandström, A. (2016). *Handbook of solvency for actuaries and risk managers : Theory and practice*. CRC Press.

SAA-12 — Défis et perspectives de la microassurance en Afrique

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

La microassurance se définit comme un dispositif de protection contre les risques destiné aux populations à faibles revenus, traditionnellement exclues des marchés assurantiels classiques. En Afrique, son développement s'inscrit dans une dynamique d'inclusion financière et sociale, soutenue par les politiques publiques, les institutions internationales et les opérateurs privés.

Malgré un potentiel considérable, la microassurance se heurte à plusieurs obstacles : faible pénétration des produits d'assurance, déficit de confiance des populations, coûts élevés de distribution, hétérogénéité réglementaire et difficultés de tarification liées au manque de données fiables. Les innovations technologiques (paiements mobiles, plateformes numériques, big data) ouvrent toutefois de nouvelles perspectives pour améliorer l'accessibilité, la transparence et la viabilité financière de ces produits.

Ce projet de recherche vise à analyser les mécanismes de la microassurance en Afrique, à identifier les freins et leviers de son développement et à proposer des modèles adaptés au contexte des pays émergents, en intégrant les spécificités socio-économiques, les risques locaux (santé, agriculture, catastrophes naturelles) et les nouvelles technologies. L'objectif est de contribuer à la conception de solutions inclusives et durables, à l'interface entre actuariat, finance et développement.

MOTS-CLES

Microassurance ; Inclusion financière ; Afrique ; Assurance santé ; Assurance agricole ; Innovation digitale.

PROFIL RECHERCHE

Candidat(e) titulaire d'un Master ou d'un diplôme d'ingénieur en actuariat, statistiques, économie appliquée ou finance. Compétences en modélisation des risques et intérêt pour les problématiques de développement et d'inclusion financière. Une sensibilité aux enjeux sociaux et aux réalités africaines constituera un atout.

ENCADREMENT

Khalil SAID — Professeur Habilité, INSEA — ksaid@insea.ac.ma

REFERENCES

1. Churchill, C., & Matul, M. (2012). *Protecting the poor : A microinsurance compendium, Vol. II*. International Labour Office.
2. Ndlovu, N., & Wanjala, B. (2021). Microinsurance in Africa : Emerging trends and challenges. *Journal of African Business*, 22(1), 45–62.
3. Biener, C., Eling, M., & Schmit, J. (2014). Insurability in microinsurance markets : An analysis of problems and potential solutions. *Geneva Papers on Risk and Insurance*, 39(3), 427–457.

SAA-13 — Évaluation statistique de l'efficacité des stratégies de communication en assurance

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

La communication constitue un levier stratégique essentiel pour les compagnies d'assurance, en particulier lorsqu'il s'agit de sensibiliser les assurés à des risques complexes ou sensibles : maladie, décès, accident, catastrophe naturelle. Ces messages doivent conjuguer clarté, engagement émotionnel et crédibilité, dans des contextes parfois marqués par la peur, le doute ou la méfiance.

Cette thèse vise à développer une approche statistique rigoureuse permettant de quantifier l'impact des stratégies de communication assurantielle sur les comportements des assurés. Il s'agira notamment d'analyser, à partir de données empiriques, comment certains types de messages (pédagogiques, rassurants, alarmants, symboliques. . .) influencent les décisions de souscription, la fidélisation, ou encore la compréhension des garanties. Le cas du marché marocain, en pleine évolution digitale et culturelle, servira de cadre d'application privilégié.

Le projet mobilisera des outils d'analyse causale, de classification, de modélisation comportementale et de traitement de corpus. Il s'inscrit à la croisée de la statistique appliquée, de la science des données et des sciences sociales.

MOTS-CLES

Communication assurantielle ; Statistique appliquée ; Évaluation d'impact ; Comportement du consommateur ; Modélisation empirique.

PROFIL RECHERCHE

Candidat titulaire d'un Master 2 en statistique, data science, actuariat ou disciplines apparentées. Solide maîtrise des méthodes d'analyse de données et intérêt pour les problématiques comportementales. Expérience souhaitée en programmation (R ou Python). Sensibilité aux enjeux de communication, rigueur méthodologique et capacité à travailler dans une approche interdisciplinaire.

ENCADREMENT

Khalil SAID — Professeur de l'enseignement supérieur, INSEA — ksaid@insea.ac.ma

Lyamine YAMANI — Professeur de l'enseignement supérieur, INSEA — yamine@insea.ac.ma

REFERENCES

1. Marcos, P., Coelho, P. (2017). *Communication relational outcomes in the insurance industry*. Spanish Journal of Marketing, 21(1), 39–52.
2. Kaftandjiev, V., Shustova, E. (2018). *Fear appeals in marketing communications of banks and insurance companies*. International Journal of Marketing Studies, 10(2), 1–11.
3. Smit, L. (2020). *Communicating insurance : Consumer understanding and trust*. Tilburg University Series in Law, Society and Policy.
4. Tlaty, M., Htoug, F.Z., Thawmi, M. (2023). *Analyse des facteurs influençant le choix d'une assurance automobile au Maroc*. IJAFAME, 4(4-2), 196–211.

SAA-14 — Approches quantitatives pour l'évaluation des politiques de communication publique au Maroc

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

Les politiques publiques de communication visent à informer, sensibiliser et engager les citoyens autour des priorités gouvernementales : services publics, réformes, santé, environnement, gouvernance numérique, etc. Elles jouent un rôle central dans la construction de la confiance institutionnelle, la transparence de l'action publique et la participation citoyenne.

Au Maroc, malgré les efforts de modernisation administrative et de digitalisation, les dispositifs de communication restent peu évalués de manière rigoureuse. Cette thèse vise à combler ce vide en développant des méthodes quantitatives d'évaluation de l'impact des politiques de communication publique sur des indicateurs concrets : confiance dans les institutions, usage des services publics, engagement en ligne, participation à la vie publique, etc.

L'analyse s'appuiera sur des données empiriques (enquêtes, données administratives, séries temporelles, médias sociaux) et mobilisera des outils d'évaluation d'impact : modèles causaux, analyses longitudinales, méthodes quasi-expérimentales. Le cas marocain sera au cœur de l'analyse, mais les cadres théoriques et méthodologiques s'appuieront aussi sur des expériences internationales comparables.

MOTS-CLES

Communication publique ; Politique publique ; Confiance institutionnelle ; Évaluation d'impact ; Approche quantitative ; Maroc.

PROFIL RECHERCHE

Candidat titulaire d'un Master 2 en statistique, data science, économie appliquée ou science politique quantitative. Maîtrise des outils d'analyse causale et des méthodes d'évaluation de politiques publiques. Intérêt pour les enjeux de gouvernance, de communication institutionnelle et de participation citoyenne. Solides compétences en programmation R.

ENCADREMENT

Khalil SAID — Professeur de l'enseignement supérieur, INSEA — ksaid@insea.ac.ma

Lyamine YAMANI — Professeur de l'enseignement supérieur, INSEA — yamine@insea.ac.ma

REFERENCES

1. Reynolds, J. P., Quinn, D. M. (2018). Communicating quantitative evidence of policy effectiveness : A randomized experiment. *Social Science & Medicine*, 215.
2. Smith, J. D. et al. (2019). Quantitative approaches for the evaluation of implementation research studies. *Implementation Science*, 14, 78.
3. Aboulghazi, H. (2022). Covid-19 crisis communication management in Morocco. *Journal of Quality in Education*, 12(19), 45–63.

SAA-15 — Gestion des risques actuariels et financiers

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

Cette thématique ouverte offre un cadre flexible permettant aux doctorants de proposer et développer leurs propres projets de recherche en gestion des risques, tant actuariels que financiers. L'objectif est de favoriser l'émergence de problématiques originales et pertinentes, en lien avec les enjeux contemporains de l'assurance et de la finance.

Les propositions pourront porter sur la modélisation probabiliste et statistique du risque, l'évaluation des mesures de solvabilité, la conception de produits d'assurance innovants, ou encore la gestion des risques financiers dans un contexte marqué par l'incertitude et la volatilité des marchés.

Les candidats intéressés sont invités à envoyer par mail aux encadrants une fiche synoptique présentant leur projet (problématique, méthodologie envisagée et références bibliographiques). Cette étape est indispensable pour évaluer la pertinence et la faisabilité du sujet proposé.

Cette approche permet aux candidats motivés d'explorer des sujets diversifiés et interdisciplinaires, tout en s'appuyant sur un encadrement scientifique solide et un ancrage dans les besoins réels du secteur assurantiel et financier.

MOTS-CLES

Gestion des risques ; Risques actuariels ; Risques financiers ; Assurance ; Finance.

PROFIL RECHERCHE

Candidat(e) titulaire d'un Master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur en actuariat, mathématiques appliquées, économétrie ou finance. Forte motivation et autonomie, solides compétences théoriques et disposition à élargir ses connaissances. Une expérience préalable en assurance ou en finance constitue un atout.

ENCADREMENT

K. SAID — Professeur Habilité, INSEA — ksaid@insea.ac.ma

F. BADAOU — Professeure Habilité, INSEA — fbadaoui@insea.ac.ma

SAA-16 – Méthodes non supervisées pour l'identification de sous-groupes génétiquement distincts de patients à haut risque de cancer

CONTEXTE & PROBLEMATIQUE

L'augmentation rapide du volume et de la complexité des données génétiques disponibles dans les cohortes de patients atteints de cancer soulève de nouveaux défis méthodologiques pour les statisticiens. L'objectif de ce projet est de développer et d'adapter des méthodes statistiques modernes, en particulier d'apprentissage non supervisé, afin d'analyser des données de grande dimension issues de la génétique humaine.

Le travail se focalisera sur la conception de modèles robustes pour détecter des sous-groupes latents de patients présentant des profils génétiques distincts associés à des risques spécifiques (incidence, agressivité ou pronostic de certains cancers). Des approches telles que les modèles de mélanges, le clustering bayésien ou encore les techniques de réduction de dimension parcimonieuses seront mobilisées et adaptées à la structure particulière des données génétiques.

L'analyse reposera sur des bases de données récentes comme *ICGC-ARGO* ou *TCGA*, permettant de valider les modèles à la fois sur le plan statistique et clinique. Ce projet s'inscrit dans une démarche interdisciplinaire, à l'interface entre statistique appliquée, génétique humaine et épidémiologie du cancer.

MOTS-CLES

Statistique génétique ; Apprentissage non supervisé ; Clustering ; Réduction de dimension ; Cancers ; Données massives.

PROFIL RECHERCHE

Candidat(e) titulaire d'un Master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur en statistique, mathématiques appliquées ou bio-informatique. Intérêt marqué pour l'analyse de données de grande dimension, bonne maîtrise des méthodes statistiques et des outils de programmation (R, Python). Une familiarité avec les données génétiques et l'épidémiologie constitue un atout.

ENCADREMENT

F. BADAoui — Professeure Habilité, INSEA — fbadaoui@insea.ac.ma

REFERENCES

1. Zou, H., & Hastie, T. (2005). Regularization and variable selection via the elastic net. *Journal of the Royal Statistical Society : Series B*.
2. Witten, D. M., Tibshirani, R., & Hastie, T. (2009). A penalized matrix decomposition, with applications to sparse PCA and CCA. *Biostatistics*.
3. Badaoui, F., Amar, A., Ait Hassou, L., Zoglat, A., & Okou, C. G. (2017). Dimensionality reduction and class prediction algorithm with application to microarray Big Data. *Journal of Big Data*, 4(1), 32.

