

Ingénierie Mathématique  
Master mention Mathématiques et applications

SORBONNE UNIVERSITÉ



---

Responsables : Cindy Guichard et Marie Postel

Laboratoire Jacques-Louis Lions

Barre 15-25 bureau 313

Téléphone : 01 44 27 54 08

Email : [cindy.guichard@sorbonne-universite.fr](mailto:cindy.guichard@sorbonne-universite.fr), [marie.postel@sorbonne-universite.fr](mailto:marie.postel@sorbonne-universite.fr)

## **Résumés des stages en entreprise et des missions en alternance**

effectués par les étudiants du Master Ingénierie Mathématique

Majeure Ingénierie Mathématique Pour l'Entreprise (IMPE)

**année 2022-2023**

<https://m2ingmath.math.upmc.fr/>

Secrétariat : Barre 14-15 bureau 206, 4 place Jussieu, 75005 Paris.

Sorbonne Université, BC 187, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 05



Cette brochure constitue la dix-neuvième édition de la publication des résumés des stages en entreprise effectués par les étudiants de M2 du parcours Ingénierie Mathématique Pour l'Entreprise de Sorbonne Université.

Elle fait suite à la publication pendant 16 années consécutives d'une brochure des résumés des stages en entreprise effectués par les étudiants du DESS de Mathématiques Appliquées de l'Université Pierre et Marie Curie. Cette formation a changé de nom depuis la rentrée universitaire 2004 à la faveur de la réforme LMD (Licence-Master-Doctorat), puis en 2018 lors de l'ouverture à l'apprentissage, en partenariat avec le CFA des Sciences. Elle est maintenant, sous le nom Ingénierie mathématique pour l'Entreprise (IMPE), une des trois majeures du parcours de M2 "Ingénierie mathématique" de la mention de master Mathématiques et applications, de Sorbonne Université.

Ce document est destiné aux anciens ou futurs étudiants du Master Ingénierie mathématique, aux responsables de stages, aux maîtres d'apprentissage et aux employeurs. Nous espérons qu'il illustrera, par la diversité et la qualité des sujets abordés, le dynamisme de notre formation et la variété des carrières auxquelles elle conduit. Pour cette cinquième année de la nouvelle formule où nous accueillons dans le même cursus des étudiants "classiques" et des apprentis, quatre étudiants ont suivi la formation en alternance. Cette brochure rassemble les résumés de quatre missions d'alternance et quatorze stages de fin d'études terminés en 2023.

### **Responsables pédagogiques dans les différentes spécialisations en 2022-2023**

Probabilités - statistiques : Lokmane Abbas Turki, Vincent Lemaire

Laboratoire de probabilités et modèles aléatoires, Campus Pierre et Marie Curie, couloir 16-26 1<sup>er</sup> étage

Téléphone : 01 44 27 70 47, Télécopie : 01 44 27 72 23

Autres intervenants : M. Abdallah, J.-P. Baudry, I. Kharroubi, Y. Mazroui, M. Thieullen (SU)

O. Bardou (GDF Suez), A. K. Fermin Rodriguez (Univ Paris Nanterre), T. Guillon et S. Tazi (RTE), F. Pons (CRI4DATA)

Analyse numérique - calcul scientifique : C. Guichard

Laboratoire Jacques-Louis Lions, Campus Pierre et Marie Curie, couloir 15-25, 3<sup>e</sup> étage

Téléphone : 01 44 27 42 99, Télécopie : 01 44 27 72 00

Autres intervenants : G. Delay (SU), M. Fernandez (Inria), D. Lombardi (Inria), S. Labbé (SU), M. Postel (SU), M. Cerf (Ariane Group), X. Juvigny (ONERA), B. Gregorutti (LumenAI).

Mécanique : intervenants : T. Douillet-Grellier et G. Drouet (EDF), R. Chakir (IFSTTAR), J. Waeytens (IFSTTAR)

**Responsable de l'apprentissage au CFA des Sciences**

Nathalie Obert-Ben Taieb

nobert@cfa-sciences.fr

Téléphone : 01 44 27 75 76

**Responsables de la majeure**

Cindy Guichard, Marie Postel

cindy.guichard@sorbonne-universite.fr,marie.postel@sorbonne-universite.fr

Campus Pierre et Marie Curie, couloir 15-25, 3<sup>e</sup> étage, 313

Téléphone : 01 44 27 54 08

**Secrétariat du Master Ingénierie Mathématique**

Francelise Hardoyal

francelise.hardoyal@sorbonne-universite.fr

Campus Pierre et Marie Curie, couloir 14-15, 2<sup>e</sup> étage, 206

Téléphone : 01 44 27 51 14

**Responsable du Master Ingénierie mathématique**

Marie Postel

**Airbus**

Central R&T \*

**Responsables : Monsieur Guillaume SYLVAND et Madame Lise-Marie IMBERT-GERARD**

**Étudiant : Thomas DANIEL**

**Sujet du stage : Algèbre linéaire randomisée et approximation de rang faible**

## **Résumé**

Pour calculer des solutions numériques d'équations aux dérivées partielles, il existe une variété de méthodes. Dans le contexte de l'industrie aéronautique et de l'étude des équations électromagnétiques, la méthode des éléments finis frontières est une méthode adaptée qui ramène le problème à la recherche de solution d'un système  $Mx = y$  avec  $M$  une matrice dense. La résolution directe d'un tel problème n'est pas envisageable en terme de coût de calcul et de mémoire. On a recours à la structure de  $\mathcal{H}$ -matrice pour stocker la matrice  $M$  et faire des opérations (produit, addition...). Cette structure de données implique de compresser certains blocs de la matrice. Aujourd'hui, le solver utilisé par Airbus pour assembler les  $\mathcal{H}$ -matrices utilise des méthodes déterministes pour compresser les matrices. L'objectif du stage est d'étudier et de tester d'autres méthodes dites *random* pour permettre la compression des matrices de manière plus rapide. L'algèbre linéaire *randomisée* est une branche des mathématiques et de la science des données qui cherche à étudier les matrices par le biais de méthodes statistiques pour réduire les temps de calcul et compresser les informations. Après avoir étudié les algorithmes *random* et choisi une direction, nous avons implémenté plusieurs nouvelles méthodes *random*. Il semble que les méthodes *random* soit une piste prometteuse pour l'accélération des calculs dans le contexte du solver  $\mathcal{H}$ -matrice développé par Airbus.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 22 rue du Gouverneur Général Eboué, 92130 Issy-les-Moulineaux

**CEA**

DRT/LIST/DILS/LSEA Nano-INNOV \*

**Responsables : Madame Morayo ADEDJOUA et Monsieur Ollier GUILLAUME**

**Étudiant : Mohamed SOUANE**

**Sujet du stage : Implémentation d'un outil d'analyse dynamique du risque pour des systèmes automatisés**

## **Résumé**

L'avènement rapide des systèmes automatisés a déclenché une véritable révolution technologique qui s'étend à travers une multitude de secteurs, depuis la robotique industrielle jusqu'à la logistique, en passant par la santé et les transports. Ces systèmes se caractérisent par leur capacité à accomplir des tâches complexes sans la supervision constante d'un opérateur humain. Cependant, les systèmes automatisés soulèvent des défis complexes en matière de gestion des risques. Bien que ces systèmes apportent des avantages indéniables en termes d'efficacité, de précision et de rapidité, ils exposent également les organisations et les sociétés à des vulnérabilités imprévues et à des conséquences indésirables. C'est dans ce contexte qu'émerge l'analyse dynamique du risque pour les systèmes automatisés. En effet, les limitations techniques des algorithmes de deep learning actuels rendent cette tâche impossible à résoudre par les méthodes existantes pour l'analyse des risques des systèmes de haute automatisation. Cela a motivé notre choix d'adopter un modèle graphique probabiliste capable d'estimer en temps réel la probabilité d'accident d'un système autonome, ainsi que le niveau d'incertitude associé à cette estimation.

La première partie du stage était dédiée à la transformation un modèle initial basé sur le profil UML OLDAS(*Ontology Language for the Dependability of Automated Systems*) en un automate hybride. Il s'agissait de créer un modèle plus dynamique et fonctionnel pour permettre une analyse du risque plus approfondie. Nous avons développé un algorithme permettant de créer la représentation graphique de l'automate hybride bayésien et de travailler avec des expressions mathématiques symboliques plutôt que des valeurs numériques. La deuxième étape était dédiée à la transformation de l'automate hybride bayésien en un modèle Réseau Bayésien. Cette phase n'a pas pu être achevée en raison de défis rencontrés lors de la construction de l'automate hybride. Nous avons rencontré des difficultés lors de l'adaptation des bibliothèques Python afin de pouvoir manipuler correctement nos modèles UML. Nous avons dû retravailler sur ces bibliothèques pour les rendre compatibles avec l'analyse et le parsing de notre modèle UML. Ces difficultés ont entraîné un dépassement dans le planning prévu.

Mon stage s'est révélé être une expérience extrêmement satisfaisante et enrichissante. J'ai eu la chance de travailler au sein d'une équipe accueillante et chaleureuse. Cette immersion dans un environnement industriel m'a offert l'opportunité de côtoyer d'excellents ingénieurs et de rencontrer des professionnels désireux de partager leurs expériences. Travailler sur le terrain m'a permis de confronter mes connaissances académiques et d'acquérir de nouvelles compétences techniques, notamment en programmation objet.

---

\*. Adresse de l'entreprise : bat 862 PC N°174 , 91191 Gif sur Yvette Cedex

## **EDF Lab Paris Saclay**

Electrotechnique et mécanique des structures (ERMES), équipe T6A \*

**Responsable : Monsieur Nicolas PIGNET**

**Étudiant : Elyass SAYD**

**Sujet du stage : Développements autour des méthodes HHO dans `code_aster`**

### **Résumé**

La R&D développe des codes de calcul afin de mener des simulations numériques. Le solveur éléments finis `code_aster` est un logiciel libre de simulation en thermomécanique des structures développé par le département ERMES. Sa bibliothèque d'éléments finis est souvent enrichie, notamment en 2019 avec les méthodes Hybrid High-Order (HHO). Ces méthodes offrent des avantages en mécanique numérique des solides.

Le but du stage est de comprendre les méthodes Hybrid High-Order (HHO) et d'ajouter de nouvelles fonctionnalités dans `code_aster`. Un deuxième point est de comparer celles-ci avec d'autres méthodes et de voir le gain qu'elles apportent. Le déroulé du stage est le suivant :

- Compréhension théorique des méthodes HHO [Nicolas Pignet, 2019]
- Ajout des éléments prisme et pyramide : tests, quadrature, fonctions de formes, catalogues. Test : Membrane de Cook en hypothèse des petites perturbations et grandes déformations en mécanique et en thermique.
- Comparaison des éléments HHO et `coque-solide` [Mouhamadou Dia, 2020] sur des structures minces. Ajouter une version HHO des tests avec `coque-solide`. Conditions aux limites à adapter.
- Rédaction du mémoire de stage et préparation de la présentation.

Le stage a commencé par une période de bibliographie et de prise en main du Fortran. Puis le travail de développement a commencé à l'aide d'un cas-test en mécanique non-linéaire : la membrane de Cook. Afin d'ajouter le support des prismes et pyramides à la méthode HHO, il s'agit de vérifier le bon fonctionnement des routines et de corriger les erreurs qu'elles renvoient. Puis on met en place plusieurs cas-tests afin de valider la méthode sur ces éléments. Enfin, on regarde ces éléments sous différentes hypothèses (grandes déformations, thermique). On termine par mettre à jour les documentations utilisateur et de référence des cas-tests.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 7 Boulevard Gaspard Monge, 91120 Palaiseau

**Engie E&C**

Contrôle de Gestion \*

**Maître d'apprentissage : Madame Katarzyna GAUTHIER**

**Tuteur académique : Monsieur Pierre MONMARCHÉ**

**Étudiant : Léo CARDEY**

**Mission en alternance : reconstitution des flux de consommation des clients électricité et gaz**

Au cours de mon stage, j'ai eu à travailler sur deux principaux projets :

- Refonte de flux de facturation
- Mise en place de méthodes permettant de détecter des anomalies et des points de rupture

La refonte du flux de facturation se base sur des comparaisons de différents flux de données. Il a fallu tester le flux qui allait remplacer l'ancien pour vérifier la véracité des données qu'il contient. Pour ce faire, nous avons créé un programme permettant de traiter et d'analyser des fichiers XML, et d'afficher des résultats de comparaison. Ces résultats étaient par la suite utilisées par les développeurs en charge de développer les règles de gestion pour corriger les erreurs.

J'ai eu également à travailler sur un autre flux de données, qui correspond à des données de consommations clients. Le but du projet a été de mettre en place une méthode de détection de point de rupture, c'est-à-dire des données de consommation suspectées comme étant erronées, ainsi que des anomalies sur les périodes de consommation. Pour cela, j'ai comparé plusieurs méthodes : des méthodes statistiques, des méthodes basées sur l'apprentissage non supervisé et des méthodes d'analyses de séries temporelles.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 1 place Samuel de Champlain, Faubourg de l'Arche, 92930 Paris La Défense

## **Find&Order**

Équipe R&D\*

**Responsable : Monsieur Toko KAMTCHUENG**

**Étudiant : Alexandre ZAFARI**

**Sujet du stage : Débruitage de séries temporelles pour l'amélioration de la navigation inertielle**

### **Résumé**

Ce stage se place dans le cadre d'un projet de Recherche et Développement novateur. La navigation inertielle sans infrastructure est une des techniques de localisation utilisées dans de nombreux domaines. Faible et peu coûteuse, elle intéresse de nombreux acteurs notamment de la logistique et du retail.

Une des étapes de la création d'un algorithme de navigation inertielle est le traitement des données de capteurs. Ces données étant par nature des séries temporelles bruitées, elles ne peuvent être exploitées directement et doivent être traitées par une méthode de débruitage. Cette étape est le sujet de ce stage, avec pour objectif d'explorer le plus possible de méthodes et de se familiariser avec l'état de l'art de ce domaine.

Le but est donc l'implémentation dans le langage Python de méthodes prometteuses pour obtenir des données non-bruitées, et satisfaisant certains critères, notamment la robustesse aux différents types de signaux et de bruits.

L'objectif final étant l'implémentation numérique de méthodes de débruitage, le stage s'est organisé en deux parties : d'abord une prise en main de l'analyse temps-fréquence via les ondelettes en langage Python, puis l'application de méthodes de débruitage par seuillage sur un dataset réel de capteurs inertiels.

Le sujet de ce stage a permis d'explorer un domaine de recherche en pleine croissance tout en acquérant des compétences pratiques en traitement de données et en programmation Python.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 16 place de l'Iris 92400 COURBEVOIE

## **Green Shield Technology**

L'intelligence Agronomique \*

**Responsable : Monsieur Renaud DESSALLES**

**Étudiante : Laufey JÖRGENSDÓTTIR**

**Sujet du stage : Vitesse de propagation d'une maladie fongique en milieu hétérogène**

### **Résumé**

Les maladies fongiques sont une des principales causes de perte de rendement et les pesticides sont fortement utilisés pour lutter contre leur propagation. Les pesticides ont des conséquences graves sur l'environnement et la santé et subissent des restrictions gouvernementales. La mission de GreenShield est de délivrer des stratégies alternatives de lutte contre les bioagresseurs pour réduire ou remplacer les pesticides sans impacter la productivité des productions végétales. La philosophie de GreenShield pour leur réduction est d'éviter que les conditions nécessaires à l'émergence d'une épidémie soient réunies. Une telle stratégie pourrait être l'hétérogénéité du champ.

Nous nous intéressons à la vitesse de propagation d'une peste dans un champ composé d'une succession de milieux favorables à la peste et de milieux défavorables à la peste. Nous étudions l'effet de l'hétérogénéité du champ sur la propagation, la vitesse, et le rendement de la culture en utilisant quatre modèles qui décrivent différentes situations réalistes. Pour but d'optimiser le rendement, nous nous intéressons au compromis entre le ralentissement de la maladie et la place que les haies prennent dans le champ.

Mots-clés : vitesse de propagation, hétérogénéité, maladies fongiques, modélisation.

---

\*. Adresse de l'entreprise : Espace Altura, 46 rue St-Antoine, 75004 Paris

**IFPEN**

Département de Mathématiques appliquées : R115 \*

**Maître d'apprentissage : Madame Isabelle FAILLE**

**Tuteur académique : Monsieur Frédéric NATAF**

**Étudiant : Romain LEMORE**

**Mission en alternance : Étude des dérivées de lois de type Machine Learning pour une utilisation dans un simulateur d'écoulements en milieux poreux**

**Résumé**

Cette alternance en deuxième année de master a été consacrée à l'introduction de lois de type réseaux de neurones, dans le simulateur CooresFlow, utilisé pour étudier le comportement des gaz et liquides en milieu poreux. L'objectif était d'évaluer l'impact de ces lois sur le comportement numérique du simulateur, notamment sur les algorithmes de Newton, la précision des solutions et la vitesse de convergence. Le simulateur utilise majoritairement des discrétisations implicites en temps, nécessitant la résolution de systèmes algébriques non linéaires.

Le travail a débuté par une explication du fonctionnement des réseaux de neurones, suivi de l'utilisation d'une loi simple : "Brine Water Density Law" dans un modèle simplifié, qui a été présentée avec les discrétisations utilisées, conduisant au système algébrique non linéaire nécessitant une résolution par une méthode de Newton. Enfin, l'étude a porté sur différents réseaux de neurones de topologies différentes, cherchant à trouver un équilibre entre la qualité des valeurs et des dérivées, grâce à différentes méthodes.

La méthodologie développée consiste à construire une grille de valeurs, appliquer une perturbation sur chaque point de la grille, puis exécuter l'algorithme de Newton sur la fonction de référence et les réseaux testés. Enfin, on évalue le nombre d'itérations, la précision des solutions et les résidus. On tirera ensuite des conclusions des résultats obtenus pour chaque réseau entraîné avec différentes méthodes.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 1-4 avenue du Bois Préau, 92852 Rueil-Malmaison

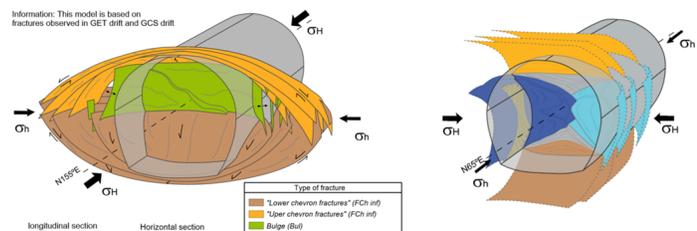
**Étudiante : Basak KOC**

**Sujet du stage : Modélisation de fractures en chevrons par la méthode SPH**

## Résumé

Dans le but de stocker les déchets radioactifs à haute et moyenne activité à longue vie en couches géologiques profondes (environ -500m), l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA) développe le projet Cigéo. Une des contraintes de ce projet est la préservation des marges de roche hôte saine au-dessous et en-dessus du stockage. Pour cela il est nécessaire de comprendre et maîtriser les processus conduisant à sa fracturation et en particulier l'effet de l'excavation des ouvrages souterrains.

Pour limiter et mieux contrôler les zones endommagées, les excavations se font dans les directions des contraintes principales : parallèle soit à la contrainte horizontale majeure, soit à la contrainte horizontale mineure. Lors des expériences menées dans le laboratoire souterrain de recherche en Meuse/Haute-Marne de l'ANDRA des fractures ont été observées autour et en amont des excavations. Les formes de ces fractures, dites en chevron, dépendent de la direction du creusement comme



sur la figure ci-dessous.

L'objectif de ce stage a été de reproduire la géométrie de ces fractures à l'aide d'un code basé sur la méthode SPH, codé en C++/Cuda. Cette méthode utilise une discrétisation particulière et est basée sur une méthode Lagrangienne. La roche a été modélisée comme un solide élastique endommageable en 2D. Des lois de comportement isotrope ont été utilisées, avec des conditions initiales anisotropes pour représenter les deux directions de creusement et une condition limite qui diminue au cours de la simulation pour représenter un déchargement de la contrainte initiale sur le bord de l'excavation. Enfin, les effets des différents paramètres ont été étudiés, notamment la résistance de la roche qui conduit à des résultats très différents selon la valeur utilisée. En effet, on obtient des résultats peu physiques avec certaines valeurs ou des fracturations en forme d'anneau.

\*. Adresse de l'entreprise : 31, avenue de la Division Leclerc, 92260 Fontenay-aux-Roses

## **Kering**

Kering Digital, AI Factory \*

**Responsable : Monsieur Aurélien BOURGAIS**

**Étudiante : Kinda ALSABBAGH**

**Sujet du stage : Etude de faisabilité pour la planification de la demande de production de stock et étude du modèle BetaGéométrique - GammaGamma pour le calcul de la métrique customer lifetime value**

### **Résumé**

**Sujet 1 :** La réduction et la gestion des stocks sont des enjeux cruciaux pour le groupe Kering. Dans cette dynamique, la marque Kering Eyewear cherche à solutionner cette problématique pour les produits qu'elle vend à travers le monde tout en évitant la rupture de stock. La marque effectue la prédiction et donc la planification de la demande pour les opticiens indépendants dans le monde. Elle répond à une demande de make-to-stock, en opposition à une demande de make-to-order, production sur commande. Ce type de commande étant sujet à beaucoup d'aléatoire, différentes approches basées sur l'apprentissage profond ont été proposées pour répondre au problème de prédiction. Nous proposons ici une approche différente. Dans le processus de planification intervient une variable humaine, qui correspond à l'expertise de professionnels de la lunette, qui estiment la quantité d'un produit vendue par marché. Nous proposons un ajustement par régression linéaire de l'estimation de ces experts, variable absente du modèle actuellement utilisé en production.

**Sujet 2 :** La Customer Lifetime Value, CLV, ou valeur à vie du client, est une métrique fondamentale dans le domaine du marketing, offrant une perspective stratégique cruciale pour les entreprises. Il s'agit d'une évaluation financière de la valeur qu'un client peut générer tout au long de sa relation avec une entreprise. Nous estimons cette métrique pour Saint Laurent Paris à partir de la théorie développée par Peter Feder et Bruce Hardie. L'utilisation dans notre analyse des méthodes de calcul des bibliothèques python Lifetimes et PyMC Marketing, renforce la capacité à modéliser de manière robuste la dynamique complexe de la CLV. Aussi, une partie du travail a été de comparer l'approche fréquentiste et l'approche bayésienne pour l'estimation des paramètres du modèle. Selon la méthode, cela permet d'obtenir de l'information nuancée des variables aléatoires du modèle, fournissant ainsi des estimations plus précises et des perspectives plus riches sur la valeur à vie du client. Toutefois, dans une perspective de mise en production, l'estimation des paramètres ne doit pas se faire au détriment des ressources, d'où la prise en compte de la complexité dans notre étude.

---

**Mots-clés :** Data Science, Régression linéaire, Modèle stochastique, Supply Chain, Métrique Marketing, Customer Lifetime Value.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 40 rue de Sèvres, 75007 Paris

## **La Banque Postale**

Direction des Risques Financiers\*

**Responsables : Messieurs Arthur GRANGETAS et Théophile CHARMONT**

**Étudiant : Laura BLIN**

**Sujet du stage : Application de suivi des modèles**

### **Résumé**

Dans le cadre du Master 2 Ingénierie Mathématique, j'ai réalisé un stage de six mois à La Banque Postale dans le département de la Direction des Risques Financiers.

L'objectif de ce stage était de créer une application en Matlab qui permettrait de réaliser le suivi des modèles et ainsi de simplifier et aider à améliorer le travail de mon équipe sur ce sujet. Cette application devait permettre de recenser les informations que nous avons des modèles et d'évaluer les modèles sur 3 plans : qualitatif, quantitatif et suivi des recommandations.

L'application se décompose en 5 écrans :

- écran principal : comportant la liste de tous les modèles
- écran Modèle : comportant les informations générales d'un modèle (description du modèle, liste des produits valorisés avec ce modèle, scores du modèle, ...)
- écran Qualitatif : recensant et évaluant la documentation interne sur le modèle
- écran Quantitatif : informant sur les performances du modèle et permettant d'exécuter des tests d'évaluation de performances du modèle (tests de PnL Explain par exemple)
- écran Suivi des Recommandations : listant toutes les recommandations du modèle

Pour stocker les données des modèles, une base de données a été créée spécialement pour l'application. L'application est accessible en mode lecture ou écriture, l'accès écriture permet à un utilisateur d'effectuer des modifications sur des modèles dans l'interface et de les sauvegarder dans la base de données.

Une fois l'application créée, j'ai pu la tester en renseignant le modèle Bachelier. Ce modèle a la particularité d'autoriser les taux négatifs et pour cette raison il est utilisé pour valoriser les produits de type Cap et Floor qui sont des options sur taux d'intérêts. J'ai ainsi eu l'occasion de modéliser des produits Caps et Floors avec le modèle Bachelier, j'ai pu les valoriser (calculer leur prix), calculer leurs sensibilités (variation du prix du produit par rapport à une variation d'un paramètre de marché) et effectuer des tests de PnL de Explain sur ces produits (explication d'une variation de prix entre deux dates par des sensibilités). Les tests de PnL Explain sont importants pour le suivi des modèles car ils permettent de s'assurer que le modèle continue à être pertinent pour modéliser le produit.

Les activités réalisées durant mon stage m'ont ainsi permis de développer des compétences à la fois en mathématique, en finance et en informatique.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 115 rue de Sèvres, Paris

## **Laboratoire d'Études des Microstructures et de Mécanique des Matériaux**

Ingénierie des Microstructure, Procédés, Anisotropie, Comportement\*

**Responsables : Messieurs Jean-Sébastien LECOMTE et Christophe SCHUMAN**

**Étudiante : Pengru ZHAO**

**Sujet du stage : Reconstruction de microstructures 3D à partir d'images 2D et Machine Learning**

### **Résumé**

La recherche avancée en science des matériaux nécessite de connaître la microstructure tridimensionnelle (3D) afin de réaliser l'analyse informatique, la modélisation et la prédiction de différents phénomènes présents dans les matériaux. Étant donné que l'acquisition d'images microstructurales 3D est coûteuse temporellement et financièrement, une approche alternative consiste à reconstruire ces images 3D à l'aide des micrographies 2D obtenues par les microscopes électroniques. La mission du stage repose sur l'étude et l'application des méthodes de reconstruction de la microstructure à l'aide d'une carte d'orientations d'un échantillon d'alliage de titane (obtenue par le microscope électronique par balayage du laboratoire). Pendant le stage, deux méthodes sont principalement étudiées.

La première s'appuie sur le concept stochastique de la microstructure. Plus précisément, une microstructure est considérée comme un champ aléatoire gaussien, et la micrographie associée est traitée comme une réalisation de ce champ gaussien. Alors pour réaliser la reconstruction, il suffit d'identifier les mesures statistiques de ce champ gaussien par les fonctions de corrélation à deux points, et d'effectuer la génération de ce modèle. Cependant les résultats de mes applications ne sont pas satisfaisants. En effet la méthode est conçue pour la reconstruction à l'aide des images présentant peu de couleurs différentes (contrairement à mon image). De plus cette méthode ne permet que la reconstruction 2D et ne s'applique pas pour la reconstruction 3D.

La deuxième méthode étudiée est basée sur un modèle de réseaux antagonistes génératifs (en anglais Generative Adversarial Network GAN) du domaine d'apprentissage profond, le SliceGAN. Ce modèle comporte deux réseaux de neurones à convolution, le "générateur" et le "critic" du modèle de Wasserstein-GAN, et un "slicer" qui réalise le passage d'une image 2D fournie à une image 3D générée. A partir d'un vecteur latent aléatoire, le générateur génère une fausse image 3D, qui est ensuite "tranchée" par le slicer en des fausses images 2D. Ces dernières et les images de données réelles sont entrées dans le critic pour qu'il distingue leur étiquette (image réelle ou fausse). Pendant l'entraînement du modèle, ces deux réseaux sont en compétition : le générateur tente de tromper le critic avec ses fausses images générées, et le critic tente de ne pas être trompé. A la fin de l'entraînement, l'image générée atteint un très haut niveau de réalisme et le critic ne peut plus distinguer sa vraie étiquette. Le modèle est compliqué et nécessite de nombreux essais pour comprendre sa structure et l'influence de ses hyperparamètres sur le résultat. De plus, l'apprentissage du modèle nécessite un processeur graphique, ce qui augmente la difficulté d'utilisation. Les résultats de mes applications ne sont pas concluants, ceci peut être dû à l'existence de contraintes sur des images fournies ou d'architecture du modèle. Dans la poursuite du travail, je vais tester le modèle sur des images de différents caractères ou modifier sa structure afin d'améliorer le résultat.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 7 rue Félix Savart, 57070 Metz

**Sujet du stage : Relaxation non-collisionnelle des distributions électroniques dans le vent solaire**

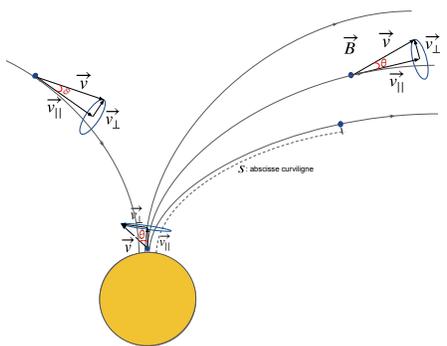
**Résumé**

Le vent solaire est un plasma astrophysique en expansion supersonique. Ce plasma magnétisé et très peu collisionnel résulte de l'évaporation de la dernière couche de l'atmosphère Solaire – ou couronne Solaire, dans le milieu interplanétaire.

La dynamique des électrons dans le vent solaire est déterminée par les effets physiques auxquels ils sont soumis, dont notamment l'effet du champ magnétique du Soleil.

Le champ magnétique, par effet de la force dite "miroir", a tendance à aligner les vecteurs vitesse des électrons avec ses lignes de champ. Intuitivement, nous attendrions donc à observer des électrons très collimatés le long des lignes à grande distance du Soleil. Cependant, cette intuition n'est pas en accord avec les observations. En effet, les sondes Parker Solar Probe depuis 2018 et Solar Orbiter depuis 2020 observent des électrons dans toutes les directions et pas seulement dans la direction des lignes de champ magnétique. Les mesures de ces sondes suggèrent ainsi l'existence de processus aléatoires qui vont isotropiser la distribution des électrons.

FIGURE 1 – Réflexion d'un Électron par Effet de la Force Miroir Magnétique



Nous avons modélisé l'évolution des électrons par une équation de transport diffusion, dite de Fokker-Planck. Cette équation met en compétition les effets de la force miroir magnétique et de la diffusion des électrons :

$$\mu v \frac{\partial f}{\partial s} + \underbrace{v \frac{1 - \mu^2}{2L_B(s)} \frac{\partial f}{\partial \mu}}_{\text{force miroir magnétique}} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial \mu} \left( \frac{(1 - \mu^2)v}{2\lambda} \frac{\partial f}{\partial \mu} \right)}_{\text{diffusion}}$$

Nous ne connaissons pas encore avec certitude l'origine physique de la diffusion, mais nous essayons de la contraindre, via le paramètre du libre parcours moyen des électrons  $\lambda$ .

Pendant le stage, il a été question d'étudier la modélisation numérique de cette équation, notamment avec une analyse paramétrique. Nous avons aussi étudié les notions de physique des plasmas nécessaires à la compréhension du vent solaire. Dans l'aspect proprement numérique, nous avons rendu le code de simulation plus modulaire, et nous avons fortement accéléré son exécution. Enfin, d'un point de vue physique, nous avons étudié à l'aide du code la dépendance de la distribution des électrons aux divers paramètres libres du modèle,  $\lambda$  en particulier.

\*. Adresse de l'entreprise : 5 place Jules Janssen, 92195 Meudon Cedex

**Observatoire de Paris Meudon**

IMCCE\*

**Responsable : Monsieur Jacques LASKAR****Étudiant : Moussa NDIAYE****Sujet du stage : Analyse de données barométriques mondiales****Résumé**

Les données barométriques et de température sont collectées à la surface du globe dans les stations météo. Si on analyse l'évolution du signal barométrique sur une année, on obtient une courbe fortement perturbée par les caprices chaotiques de la météo. Mais si on replie les données d'une année entière sur une journée solaire, toute la partie aléatoire du signal provenant de la météo disparaît par moyennisation, et il subsiste un signal très clair et lisse, avec deux maxima : l'un à environ 10 heures et l'autre aux environs de 22-23 heures en temps solaire moyen. Cette oscillation, d'amplitude variable selon le lieu, représente la composante très régulière qui provient du forçage thermique solaire de l'atmosphère. Il y a donc formation d'un bourrelet dans l'atmosphère en avance de 3h par rapport à la direction subsolaire, point où l'insolation est maximale et correspond à 12h dans cette coordonnée. Ce phénomène est maintenant bien modélisé e.g (Auclair Desrotour et al, Lindzen and S. Chapman, Leconte et al ). Nous proposons d'effectuer une étude globale de l'ensemble des données disponibles à la surface de la Terre dans les stations météo pour effectuer une cartographie des variations d'amplitude des différentes composantes spectrales de ce signal. On pourra alors comparer ces résultats aux résultats des simulations numériques et des modèles théoriques. Dans une deuxième phase, par des méthodes de régression ou d'approche bayésienne, on cherchera à déterminer les paramètres des modèles qui rendent le mieux compte des données observées. Les données des différentes stations sont souvent imparfaites, avec des trous. Après avoir mis au point des algorithmes sur des séquences de données complètes, il faudra élaborer une stratégie pour l'étude des séquences de données incomplètes, avec une estimation statistique des erreurs.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 77 avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris

**Renault**  
DLPA \*

**Maître d'apprentissage : Monsieur Yassin GUENNOUN**

**Tuteur académique : Monsieur Stéphane LABBE**

**Étudiant : Alexandre SFEZ**

**Mission en alternance : Modélisation et prévision des ventes à long terme de pièces détachées automobiles : une étude de cas sur Renault**

### **Résumé**

Pendant cette année d'apprentissage j'ai étudié la modélisation et la prévision des ventes à long terme de pièces détachées automobiles pour Renault. J'ai mis au point une méthode utilisant des techniques de deep learning, en particulier le Temporal Fusion Transformer (TFT), pour prédire la demande en pièces détachées avec un haut niveau de précision. J'ai comparé cette méthodologie à d'autres méthodes classiques et expliqué comment obtenir un modèle global de prévision de série temporelles sur une variété de séries temporelles de natures très différentes. Enfin j'ai envisagé une nouvelle méthode de classification des séries temporelles basée sur le Dynamic Time Warping.

---

\*. Adresse de l'entreprise : rue du Bois Angot, 95650 Puiseux-Pontoise

## **Siemens Digital Industries Software**

Product and solutions development and testing \*

**Responsable : Monsieur Yohan EGUILLON**

**Sujet du stage : Développement d'outils de diagnostic et de mesure de performance de co-simulation de systèmes d'équations différentielles**

**Étudiant : Damian BIMBENET**

### **Résumé**

La co-simulation de systèmes d'équations différentielles consiste en une simulation de systèmes interconnectés qui échangent des données entre eux, chaque système possédant son propre solveur. Elle est aujourd'hui couramment utilisée dans l'industrie et implémentée dans un certain nombre de logiciels de simulation. En effet, elle se révèle une alternative intéressante à la simulation des systèmes multi-physiques avec des solveurs spécifiques à des sous-modèles électriques, mécaniques, hydrauliques, etc... N'ayant pas besoin de connaître les détails des équations (le lien entre les sorties/observateurs et les entrées/contrôles suffit) et les considérant donc comme des boîtes noires, elle répond également au besoin de confidentialité voulu par certains usagers. Enfin, elle est parfois indispensable lorsque l'on manipule un modèle dont les sous-systèmes ont été établis avec des logiciels différents, rendant souvent une simulation classique infaisable de par des problèmes de compatibilité. Qui dit simulation dit algorithme de simulation et la création d'algorithmes de co-simulation est un enjeu crucial dans le monde de l'industrie. Les algorithmes NIZOHJA (Non-Iterative Zero-Order Hold Jacobi-type) et F<sub>3</sub>ORNITS (Flexible Order Representation of New Inputs, including flexible Time-stepper and flexible Scheduler) sont implémentées dans la composante du logiciel Simcenter Amesim sur laquelle porte ce stage. Simcenter Amesim est développé par Siemens Digital Industries Software et a pour objet la simulation pour la modélisation et l'analyse de système OD multi-domaines. On y élabore des systèmes physiques avec des composants de différentes natures - électrique, hydraulique, mécanique ou autre - que l'on ajoute et connecte les uns après les autres afin d'élaborer un modèle avant de régler ses paramètres et de lancer la simulation du système d'équations associé qui est implicite pour l'utilisateur.

Il existe des composants spéciaux liés non pas au système mais à la simulation, comme les outils de diagnostic et de mesure de performance que l'on appelle également "runstats". Pour une simulation classique, les runstats montrent par exemple le temps pris par le CPU et le nombre total de pas de temps du solveur réalisés avec la méthode d'intégration d'Adams-Moulton, le solveur LSODA ayant un choix dynamique entre plusieurs méthodes d'intégration. L'objectif de mon stage est de développer cette fonctionnalité inexistante jusqu'alors pour les co-simulations en décidant des outils que je juge pertinent à montrer soit à un client considéré comme non-expert en co-simulation, soit à un interne au moins semi-expert en la matière puis en les implémentant dans le code source C++ du cosim middleware - la partie d'Amesim dédiée aux co-simulations. Pour ce faire, une étude sur la notion de co-simulation, du formalisme associé et des algorithmes NIZOHJA et F<sub>3</sub>ORNITS implémentés dans Amesim est nécessaire. Un changement partiel de l'architecture du code source C++ du cosim middleware est également essentiel pour rendre possible l'implémentation des runstats et faciliter d'éventuels rajouts à l'avenir.

Après ces deux étapes, il s'agit de valider l'intérêt de chaque runstat nouvellement implémentée

---

\*. Adresse de l'entreprise : 19, boulevard Jules Carteret. 69007 Lyon

dans le code source d'Amesim en mettant en évidence un exemple justifiant sa pertinence. Pour montrer que les runstats affichées permettent d'expliquer des éventuels problèmes lors d'une co-simulation, on cherche à récupérer des cas piégeux où la co-simulation qui plante nécessite un diagnostic permis par les runstats. En effet, le partitionnement d'un système en sous-systèmes est un enjeu essentiel car en fonction du découpage du système, une co-simulation peut bien se passer, prendre plus ou moins de temps ou échouer. Les runstats doivent faire comprendre à l'utilisateur quels éléments de la co-simulation ont provoqué un éventuel échec de cette cosimulation. Le stage se termine par la présentation de mon travail aux différentes parties prenantes (développeurs, Product Managers,...) pour obtenir le plus de retours possibles ainsi qu'à l'équipe à laquelle je suis affilié - "Technology & Openness", l'objectif final étant d'intégrer mon travail en fusionnant mon code à celui du dépôt officiel dans lequel se trouve le code d'Amesim.

**Stellantis**

Ingénierie \*

**Maîtres d'apprentissage : Messieurs Guillaume CHAUVINEAU et Hervé BOULLIER**

**Étudiante : Justine BANC**

**Tutrice académique : Madame Frédérique CHARLES**

**Mission en alternance : Améliorer la représentativité et ajouter de la diversité aux plateformes numériques de validation des ADAS**

## **Résumé**

Stellantis est un constructeur automobile qui regroupe de nombreuses marques comme Peugeot et Citroën. L'équipe dans laquelle j'ai travaillé a pour mission de développer, d'exploiter, de maintenir et d'améliorer des moyens de validation numérique pour les ADAS (systèmes d'aide à la conduite). J'ai travaillé sur la plateforme MIL ADAS qui permet de valider la première version des modèles des futures ADAS. C'est un couplage entre CarMaker qui est un logiciel de simulation numérique et Simulink, logiciel de modélisation.

Mon but a été d'améliorer la représentativité et la diversité du MIL en ajoutant de nouveaux véhicules pour les utilisateurs. Jusqu'ici seule la partie fonctionnelle des ADAS était testée avec la plateforme mais pas la partie performance donc un unique modèle de véhicule était utilisé avec un seul modèle de groupe motopropulseur (moteur, boîte de vitesse, convertisseur). Aujourd'hui Stellantis souhaite intégrer des modèles développés en interne, représentatifs des silhouettes et des motorisations du groupe pour agrandir le spectre des validations possibles numériquement. L'objectif est donc d'enrichir la base de données des configurations véhicules exécutables sur ces plateformes de validation en mettant à disposition des utilisateurs des paramétrages correspondants à ces nouveaux modèles.

Ma mission était d'étudier les modèles pour simuler le comportement du groupe motopropulseur pour les intégrer à CarMaker et Simulink. J'ai travaillé dans un premier temps sur Matlab pour que CarMaker reproduise le comportement des groupes motopropulseurs voulus. Cette partie faisait appel à la mécanique, aux mathématiques et à la programmation. La deuxième étape s'est faite sur Simulink en travaillant plus sur du développement logiciel pour que toutes les configurations de véhicule soient prises en compte par CarMaker.

---

\*. Adresse de l'entreprise : Route de Gisy, 78140 Velizy-Villacoublay

**SUMMIT Maison des Modélisations Ingénieries et Technologies**  
Département technique Mathématiques et Applications \*  
**Responsables : Messieurs Stéphane LABBÉ et Karim BENHOCINE**

**Étudiante : Mélissa MANSOUR**

**Sujet du stage : Modèle de diffusion du radon en sol poreux**

## **Résumé**

Le radon-222 est un gaz noble radioactif. Provenant de la croûte terrestre, ce gaz est souvent libéré lors de la désintégration de son parent, le radium, présent dans les roches profondes et les sols. Si le radon-222 est principalement connu pour les risques sanitaires qu'il peut causer, il fait également l'objet d'une attention particulière dans le domaine de la géophysique. En effet, plusieurs études suggèrent que des variations de concentration de radon-222 pourraient précéder des événements sismiques, faisant de ce gaz un potentiel précurseur des tremblements de terre. La relation entre le radon-222 et les phénomènes géologiques, en particulier les séismes, reste cependant complexe et mal connue.

Le stage, intégré au projet de recherche européen ArtEmis en partenariat avec SUMMIT Sorbonne Université, avait pour objectif de développer, sur la base d'une revue bibliographique de modèles préexistants, un code numérique en FreeFem++ pour simuler la diffusion du radon dans un sol poreux. Ce travail se concentrait sur la modélisation et la simulation de la diffusion et du transport du radon en sol poreux, en s'appuyant sur un modèle décrit dans l'article *Novel determination of radon-222 velocity in deep subsurface rocks and the feasibility to using radon as an earthquake precursor - H.Zafri, Y.Ben Horin, U.Malik*. Cette phase initiale du projet ArtEmis vise à générer des données pour un algorithme d'apprentissage futur.

La responsabilité principale du stage était de passer d'un modèle de transport/diffusion du radon, déjà disponible dans la littérature en une dimension, à un modèle en deux puis trois dimensions. Le stage a débuté par l'étude du problème en coordonnées cylindriques, suivi de l'identification des conditions limites nécessaires. Des simulations ont été menées pour évaluer l'adéquation de ces conditions. Après discrétisation en temps et en espace via la méthode des éléments finis, deux modèles numériques ont été obtenus : un modèle général en 3D et un modèle en 3D avec hypothèse d'axisymétrie. Pour tester la validité du modèle discret, des simulations initiales en 1D ont été effectuées en Python, avant de passer à des simulations plus complexes en 2D et 3D à l'aide du logiciel d'éléments finis FreeFem++. Une comparaison de ces deux modèles a été effectuée pour déterminer si le modèle 2D avec hypothèse d'axisymétrie est une approximation acceptable du modèle 3D général.

---

\*. Adresse de l'entreprise : Campus Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu, 75005 Paris

## **Thales DMS**

Algorithmie Amont \*

**Responsable : Monsieur Laurent RATTON**

**Étudiant : Jean-Christophe DELIGNY**

**Sujet du stage : Pistage cinématique par traitements Multi-Scans**

### **Résumé**

Pendant mon stage, j'ai travaillé sur le développement d'algorithmes de pistage pour le suivi de cibles. Mon travail a d'abord été la création d'une simulation en MATLAB de trajectoire de cible pour me familiariser avec la modélisation du problème avant de réutiliser la simulation d'un ancien stagiaire.

L'objectif était de reconstruire avec précision la trajectoire de la cible à partir de ces données bruitées. J'ai été amené à utiliser les filtres de Kalman. En ce qui concerne le suivi de cibles multiples, l'ancien stagiaire avait déjà mis en place des algorithmes de fusion de données comme JPDA (Joint Probability Data Association) et GNN (Global Nearest Neighbor) pour l'association des cibles dans un espace bidimensionnel. Mon travail a consisté à étendre ces approches pour des espaces de dimensions supérieures, ce qui a permis de construire des pistes de manière plus robuste et précise. Enfin, j'ai effectué une comparaison détaillée des différentes méthodes de suivi de cibles, mettant en évidence les avantages et les inconvénients de chaque approche. Cette expérience a renforcé ma compréhension des techniques de suivi de cibles et de la façon dont elles peuvent être adaptées en fonction des besoins spécifiques.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 2 avenue Jean d'Alembert, 78190 Élancourt

## Les étudiants de l'année 2022-2023

<b>Nom</b>	<b>Prénom</b>	<b>Entreprise</b>	<b>Option</b>	<b>Page</b>
ALSABBAGH	Kinda	Kering	ps	11
BANC	Justine	Stellantis	m-app	19
BIMBENET	Damian	Siemens	ps	18
BLIN	Laura	La Banque Postale	ps	12
CARDEY	Léo	ENGIE E&C	ps-app	6
DANIEL	Thomas	Airbus	m	3
DELIGNY	Jean-Christophe	THALES	m	21
JÖRGENSEDÓTTIR	Laufey	Greenshield	m	8
KOC	Basak	IRSN	m	10
LEMORE	Romain	IFPEN	m-app	9
MANSOUR	Melissa	Summit	ps	20
MARQUES	José	Observatoire de Paris	m	14
NDIAYE	Moussa	Observatoire de Paris	ps	15
SAYD	Elyas	EDF Lab	m	5
SFEZ	Alexandre	Renault	ps-app	16
SOUANE	Mohamed	CEA	ps	4
ZAFARI	Alexandre	Find & Order	ps	7
ZHAO	Pengru	LEM3	ps	13

Les résumés sont classés dans la brochure par ordre alphabétique de l'entreprise.

### Abbréviations

ps : Ingénierie Mathématique Pour l'Entreprise - analyse numérique, calcul scientifique et probabilités, statistiques

m : Ingénierie Mathématique Pour l'Entreprise - analyse numérique, calcul scientifique et mécanique

app : étudiant-e apprenti-e en alternance