

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 2019-2020**

<http://www.ljll.math.upmc.fr/MPE>

Secrétariat : Barre 15-25 bureau 107, 4 place Jussieu, 75005 Paris.

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



Cette brochure constitue la seizième 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 première année de la nouvelle formule où nous accueillons dans le même cursus des étudiants "classiques" et des apprentis, quatre étudiants sur vingt-quatre ont suivi la formation en alternance. Cette brochure rassemble les résumés de cinq missions d'alternance et quinze stages de fin d'étude terminés en 2020. Notons qu'en raison de la crise sanitaire quatre stages ont été retardés et feront partie de la prochaine brochure.

Pour conclure, signalons les activités de l'Association des Anciens du MAster d'Ingénierie Mathématique, dont le site internet se trouve à l'adresse

<http://a2maim.free.fr/>

Cette association créée en 2006 à l'initiative d'anciens du DESS, favorise les échanges entre les étudiants des différentes promotions et contribue à leur insertion professionnelle, par exemple en diffusant des offres de stages et d'emploi.

## **Responsables pédagogiques dans les différentes spécialisations en 2019-2020**

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, O. Bardou (GDF Suez), J.-P. Baudry, A. K. Fermin Rodriguez (Univ Paris Nanterre), I. Kharroubi, R. Roux, M. Thieullen, 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 : M. Cerf (Ariane Group), P. Frey, F. Hecht, X. Juvigny (ONERA), N. Lantos (ONERA), M. Postel, F.-X. Roux (ONERA)

Mécanique : P. Druault

Institut Jean Le Rond d'Alembert, Campus Pierre et Marie Curie, couloir 55-65

Téléphone : 01 44 27 37 90

Autres intervenants : M. Abbas (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 15-25, 1<sup>er</sup> étage, 107

Téléphone : 01 44 27 51 14

### **Responsable du Master Ingénierie mathématique**

Marie Postel

**AG2R LA MONDIALE**

**DATALAB \***

**Responsable : Monsieur Olivier SPILMANN**

**Étudiante : Assia AIT DAHMANE**

**Mission en alternance : Machine learning pour la supervision prédictive et les prévisions AGIRC-ARRCO**

## **Résumé**

Pendant les douze mois d'alternance j'ai pu travailler sur deux expérimentations différentes. Une des premières missions que j'ai réalisées était l'expérimentation "prévisions AGIRC-ARRCO". Nous avons utilisé des modèles de séries temporelles sur l'historique des nombres de demandes d'ouvertures de dossiers AGIRC-ARRCO depuis janvier 2015 jusqu'à décembre 2019 afin de faire des prévisions pour le prochain mois. Nous avons développé une application RShiny permettant de faire ces prévisions et également une comparaison des erreurs de prévisions des différentes méthodes tout en interagissant avec l'utilisateur. Les premiers résultats obtenus sont satisfaisants mais une étape à venir sera d'utiliser plus de données et également d'autres techniques et essayer d'obtenir un modèle encore plus performant. J'ai pu également travailler sur l'expérimentation "supervision prédictive" dont l'objectif était de prédire les incidents sur les serveurs du groupe une heure à l'avance en utilisant des algorithmes de machine learning. Les résultats obtenus jusqu'à présent ne sont pas très satisfaisants, mais nous avons déjà quelques pistes à explorer et nous avons également identifié d'autres données plus fines "données Elastic" (les données à 5 min) à récolter qui sont éventuellement pertinentes et qui peuvent nous aider pour l'amélioration de nos modèles.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 100 rue Etienne Dolet,x 92245 Malakoff Cedex

## **Air France**

Air France Cargo \*

**Responsable : Monsieur Nicolas COTTIN**

**Étudiant : David Wang-Ma**

## **Mission en alternance : Optimisation des processus Cargo à G1XL**

### **Résumé**

Cette fiche présente les objectifs et le contexte de mon travail en tant que data scientist à Air France pour la période 2019/2020 sur les problématiques cargos au sein de l'entité Air France Cargo au site G1XL situé à l'aéroport Paris-Charles de Gaulle.

L'activité cargo qui consiste aux transports de marchandises est une des trois activités principales d'Air France avec le transport de passagers et la maintenance des avions. Nous avons cité précédemment G1XL qui est ce qu'on appelle une gare de fret. Elle a pour fonction d'accueillir les marchandises pour les conditionner et les stocker avant leurs vols ou à leur réception. L'activité dans la gare peut être résumée en trois flux qui sont l'import, l'export et le transit. De nos jours, en raison d'une compétition accrue dans le secteur aérien avec l'arrivée des compagnies "low cost" et également de nouveaux acteurs plus traditionnels, l'activité cargo d'Air France s'est rapprochée de celle du transport de passagers pour optimiser le rendement des appareils. Un volume conséquent de marchandises voyage donc sur des avions passagers, ce qui a fait évoluer la complexité de l'activité. Dans un tel contexte l'exploitation de la "data" pourrait permettre une allocation plus efficace des ressources de la compagnie et donnerait un avantage conséquent sur le marché.

Le transport aérien y compris celui des marchandises est une activité normée à l'échelle mondiale à laquelle chaque compagnie peut additionner ses propres normes pour renforcer la sécurité des vols. Une des conséquences de ces normes est la création d'un important volume de données qui dans le cadre de l'activité à G1XL ne sont pas encore exploités au sens de la data science. Un des nerfs de la guerre de l'activité est la ponctualité car son non respect peut entraîner des coûts financiers et/ou l'insatisfaction du client. De même la notion de performance de temps de traitement est cruciale. Plus on traite rapidement une marchandise plus on peut faire croître l'activité et par conséquent le revenu. L'objectif de la mission est de donner un aperçu de ce que la data science pourrait apporter à l'activité cargo.

Pour cela trois grands axes de travail ont été définis :

- Une visualisation objective de l'activité via des études ad hoc, pour mener des actions d'amélioration.
- Le développement d'indicateurs de performance, pour faciliter le suivi et la comparaison de la performance à travers le temps.
- Le développement de modèles prédictifs, pour optimiser la gestion du temps et des ressources disponibles.

Le langage informatique privilégié pour cette mission est le Python.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 12 Rue du Tarteret, 95700 Roissy-en-France

## **BNP Paribas**

Étude et Management de la Connaissance Client \*

**Responsable : Madame Solène BIENAISE**

**Étudiant : Florent VALBON**

**Sujet du stage : Fouille de texte pour la détermination des irritants et l'extraction de la connaissance client**

### **Résumé**

Ce stage a été effectué au sein de l'équipe *Études et Modèles Statistiques* (EMS) du département *Études et Management de la Connaissance Client* (EMC<sup>2</sup>) de BNP Paribas Banque de Détail en France (BDDF). Le pôle BDDF compte des millions de clients dont une majorité de particuliers. La connaissance du client est un élément central pour BNP Paribas, notamment la mesure de la satisfaction du client et l'impact de cette mesure sur l'entreprise. En particulier, la banque s'intéresse aux éléments qui sont susceptibles d'irriter le client. En marketing ces éléments sont appelés irritants. Par exemple les problèmes de connexion au site web de BNP Paribas ou le temps d'attente à l'agence. Notre travail a porté sur la création d'algorithmes qui permettent d'avoir une vue d'ensemble des irritants des clients à partir de commentaires qu'ils écrivent sur BNP Paribas.

Le premier outil d'aide à la décision que nous avons conçu, Cube BPF, se base sur un algorithme de classement des commentaires dans des catégories d'irritants. Ce classement se fait à partir de la détection, dans les commentaires, de mots clés et groupes de mots listés dans l'algorithme. Cube BPF donne pour le département marketing l'impact économique des irritants des clients de BNP Paribas Banque Privée France sur BNP Paribas. Les catégories d'irritants ont été choisies par le département marketing après lecture d'un échantillon de retours de clients et réflexions. Cube BPF est restitué sous la forme d'un fichier Excel dont les données ont été regroupées avec SAS en langage SQL. Le lien entre les irritants et les clients est déterminé par un programme écrit en langage Python.

La méthode d'affectation des commentaires des clients à des catégories d'irritants par détection des mots clés (à l'aide de mots clés listés dans l'algorithme) utilisée pour CUBE BPF est longue à mettre en place car elle nécessite de trouver tous les mots clés associés à chaque catégorie d'irritants. Afin d'améliorer la productivité d'EMC<sup>2</sup> sur cette problématique, nous avons élaboré un outil de Traitement Automatique du Langage Naturel : *Verbatims Affectés à des Catégories d'Irritants* (VACI) entièrement programmé en langage Python. Les commentaires des clients sont classés automatiquement par VACI. Cet outil est optimisé pour la problématique des irritants, mais peut être utilisé sur des problématiques similaires (avec d'autres catégories). Pour tester notre algorithme nous avons utilisé un jeu d'entraînement de 5000 commentaires clients classés selon 21 irritants. Une fois ce classement appris, nous avons utilisé VACI sur 45000 autres commentaires. Le classement obtenu est comparé à un classement par détection de mots clés. Notre indicateur statistique de qualité (qui rassemble le taux d'exactitude et le taux de détection) est de 90%.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 163 Boulevard Macdonald, 75019 Paris

## **Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives**

Laboratoire de Modélisation et Simulation en mécanique des Fluides (LMSF) \*

**Responsable : Monsieur Ulrich BIEDER**

**Étudiant : Antonin LEPREVOST**

**Mission en alternance : Développement d'une condition limite pour les écoulements turbulents**

### **Résumé**

On s'intéresse dans ce sujet à la recherche et le développement de conditions limites de vitesse turbulente. La turbulence est une notion physique complexe qui respecte certaines propriétés telles que la diversité d'échelles spatiales/temporelles et les échanges d'énergie entre les structures turbulentes. La difficulté dans l'élaboration de cette condition limite est de respecter numériquement les propriétés de la turbulence. La première partie de l'alternance s'est orientée sur la compréhension théorique des écoulements à régime turbulent ainsi que les problématiques liées à la modélisation et la simulation numérique. Nous avons aussi effectué une recherche bibliographique importante sur les méthodes de génération de turbulences en entrée de domaine. La deuxième partie s'est axée sur le développement d'un code d'analyse statistique de la turbulence. Ce code reprend les outils principaux qu'on retrouve dans la littérature. Avec un tel code il est possible d'étudier les écoulements à régime turbulent d'un point de vue statistique. Cela permet de juger la cohérence de la turbulence des simulations et de vérifier si les propriétés physiques sont respectées. Néanmoins il faut faire attention à l'interprétation et l'utilisation des outils que nous avons développés. Enfin la dernière partie s'est tournée sur l'implémentation de deux méthodes de génération de turbulences pour permettre la création de conditions limites. La première qui nous servira de modèle est une méthode très répandue. Elle utilise des conditions périodiques dans un canal auxiliaire pour générer la turbulence, et ensuite l'injecter en entrée du domaine principal. Cette méthode fournit des statistiques très correctes sur la turbulence néanmoins elle nécessite un calcul couplé (deux domaines) qui augmente fortement le coût de calcul. Elle n'est aussi pas adaptée à des géométries différentes que des canaux. La seconde méthode développée par Robert Kraichnan utilise la théorie de Fourier pour générer la turbulence avec des coefficients de Fourier. L'idée est d'utiliser l'aléatoire et des informations statistiques sur la turbulence pour construire ces coefficients. C'est cette méthode que nous avons implémentée en C++ dans le code de calcul du CEA TrioCFD. Après cette information, nous avons validé et analysé les résultats. Cette méthode résout les problèmes de coût de calcul et de géométrie. Elle fournit aussi des statistiques correctes mais néanmoins moins bonnes que celles de la méthode de recirculation.

---

\*. Adresse de l'entreprise : CEA Paris Saclay, 91191 Gif-Sur-Yvette Cedex

## **Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives**

Laboratoire de Mécanique Système et Simulation \*

**Responsables : Messieurs Jean-Charles LE PALLEC et Nicolas HOURDEQUIN**

**Étudiant : Alexis SQUARCIONI**

**Sujet du stage : Analyse de sensibilité pour le dimensionnement du système de maintien d'un assemblage REP (Réacteur à Eau Pressurisée)**

### **Résumé**

L'objectif du stage est de réaliser une analyse des sensibilités et d'établir les corrélations entre les paramètres influents d'une modélisation d'un dispositif expérimental représentatif d'un système de maintien d'un assemblage REP. La modélisation physique est réalisée avec le code de calcul aux éléments finis Cast3M (<http://www-cast3m.cea.fr/>) en tant qu'outil de référence du CEA pour le calcul de structures. L'analyse d'incertitudes est quant à elle menée avec la plateforme URANIE (<https://sourceforge.net/projects/uranie/>) également développée au CEA. Ce stage fait appel à un ensemble de domaines de compétence que sont la simulation en mécanique des structures, l'informatique ainsi que les mathématiques appliquées aux traitements des incertitudes. Un premier travail consistera à mettre en place l'environnement de calcul (environnement informatique sur cluster de calcul, scripts de communication entre URANIE et Cast3M). Un modèle simplifié du dispositif expérimental sera utilisé à cet effet qui doit permettre de tester sa robustesse et la pertinence des résultats physiques obtenus (avis d'expert). Cet environnement sera ensuite déployé pour la réalisation de l'étude d'incertitudes sur le dispositif complet en tant que cible du présent stage.

---

\*. Adresse de l'entreprise : CEA Paris Saclay, 91191 Gif-Sur-Yvette Cedex

**Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA)**

CEA,DAM,DIF\*

**Responsables : Messieurs William WEENS, Rémi CHAUVIN et Thibaud VAZQUEZ-GONZALEZ**

**Étudiante : Louise BEN SALEM-KNAPP**

**Sujet du stage : Impact de l'erreur d'arrondi dans une simulation hydrodynamique**

## **Résumé**

Le but de mon stage était d'étudier l'impact lié aux erreurs d'arrondi dans des simulations d'hydrodynamique. Lors d'un calcul numérique, deux types d'erreurs peuvent apparaître : les erreurs de discrétisation provenant des approximations mathématiques du schéma et les erreurs d'arrondi issues de la représentation finie des nombres réels dans nos machines et des opérations faites sur cette représentation. C'est ce deuxième type d'erreur, qui est en général très peu exploité, que j'ai étudié pendant mon stage.

Mon travail s'est appuyé sur un code de calcul déjà existant permettant de simuler de nombreux cas tests variés provenant de l'hydrodynamique et d'effectuer des analyses en post-traitement. J'ai dû appréhender des notions nouvelles d'hydrodynamique, de mathématiques et d'informatique afin de manipuler le code de calcul et de l'enrichir.

En observant les comportements des différents cas tests et schémas déjà implémentés dans le code de calcul et grâce aux notions théoriques que j'ai apprises, j'ai pu petit à petit assimiler la notion d'erreur d'arrondi. Cela m'a permis de réfléchir à de nouvelles manières de les étudier à travers de nombreux échanges avec mes encadrants. Nous avons mis en place de nouveaux cas tests (cas tests 1D et 2D, cas test turbulent) et de nouveaux schémas d'ordre 1 et 2 nous permettant d'explorer d'autres aspects de la production d'erreur d'arrondi.

La programmation était une partie importante de mon travail et j'ai utilisé à la fois du Python et du C++. Il a aussi fallu que je me familiarise avec les outils fournis par le CEA et j'ai notamment dû apprendre à utiliser les supercalculateurs du CEA.

L'analyse de résultats et l'implémentation d'outils de post-traitement étaient au cœur de mon stage : étude de courbes d'erreur, mise en place et analyse de transformées de Fourier, tracés de diagrammes radar et création de nouveaux outils.

Ce stage au CEA m'a permis d'être à la frontière de trois domaines : les mathématiques, l'informatique et l'hydrodynamique. Ceci m'a permis d'avoir des tâches très variées et d'étudier des notions nouvelles qui me serviront de base pour la thèse qui m'a été proposée par le CEA en partenariat avec l'INRIA à la suite de ce stage.

---

\*. Adresse de l'entreprise : Chemin du Ru, 91680 Bruyères-le-Châtel

## **Framatome**

Direction technique et ingénierie \*

**Responsable : Monsieur Pascal DURANTON**

**Étudiant : Kevin ANCOURT**

**Sujet du stage : Étude de la propagation de fissures à l'aide du critère  $G_{fr}$**

### **Résumé**

Le but de mon stage était d'étudier la propagation de fissures à l'aide d'une approche énergétique, le critère  $G_{fr}$ , afin de pouvoir à terme, l'implémenter dans le cadre industriel. La sécurité des équipements nucléaires est la priorité de l'ensemble de l'industrie nucléaire. Il est indispensable pour ces entreprises de fournir de l'équipement de qualité en assurant le bon fonctionnement et le suivi sur le long terme de toutes les installations. Les dégâts pouvant être provoqués par une catastrophe nucléaire étant important, chaque détail est longuement étudié. La propagation de fissures est donc un sujet important. Les défauts peuvent provenir de différents endroits, d'un défaut lié à la fabrication, de la fatigue de la pièce ou encore d'une catastrophe naturelle. Savoir comment une fissure se propage permet de mieux anticiper les dégâts potentiels et l'arrêt de la pièce mise en cause en vue de son remplacement. L'approche énergétique de la propagation de fissures avec notamment ici la méthode  $G_{fr}$  nécessite l'utilisation d'éléments finis, ainsi qu'une grande puissance de calcul. Mon travail a donc consisté dans un premier temps à me familiariser avec le code de calcul utilisé au sein de Framatome. Ensuite, il a fallu s'approprier les différents calculs énergétiques, notamment le taux de restitution d'énergie. Après avoir étudié la méthode  $G_{fr}$ , une application sur un cas 2D a été mise en place afin d'étudier la faisabilité et les différents résultats obtenus. Le développement d'outils a été une étape importante lors de ce stage, notamment un morphing de maillage afin de permettre à notre maillage de se propager en même temps que la fissure. Ce stage a été pour moi l'occasion d'approfondir mes connaissances en mécanique, notamment en mécanique de la rupture. J'ai également pu appréhender le monde industriel et voir comment les mathématiques en général et la méthode des éléments finis en particulier sont mis en place pour les différentes études.

---

\*. Adresse de l'entreprise : Tour Areva, 1 place Jean Millier, 92084 Paris la Défense

## **IFP Énergies Nouvelles**

Direction Sciences et Technologies du Numérique \*

**Responsables : Monsieur Laurent ASTART et Madame Alexandra BAC**

**Étudiant : Alexandre MARIN**

**Sujet du stage : Développement d'une bibliothèque de structures et algorithmes pour un mailleur polyédrique**

### **Résumé**

Ce stage sert de prélude à la thèse « *Maillage polyédrique de volumes 3D optimisé pour la simulation en géosciences* » : l'objectif de cette thèse est de proposer et confronter plusieurs stratégies de génération d'un maillage polyédrique du sous-sol à de nouveaux types de schémas numériques. Afin de permettre des simulations concernant les problématiques du stockage du CO<sub>2</sub>, la géothermie ou l'hydrogéologie, il faut représenter le plus fidèlement possible les discontinuités et hétérogénéités de la structure des sous-sols qui influencent beaucoup les transferts de masse et d'énergie. Il s'agit donc, étant donnée une description surfacique des éléments en jeu, de mailler un volume en respectant certaines contraintes, comme la conformité ou les rapports de forme des mailles.

Le premier objectif était, d'une part, d'effectuer un travail bibliographique sur la génération de maillages, et d'autre part, de créer une bibliothèque logicielle qui fournisse un maximum d'algorithmes et les structures de données nécessaires au développement du mailleur.

Finalement, une première étude bibliographique a été faite sur la génération de maillages bidimensionnels et une bibliothèque logicielle a été programmée en C++ pour former des maillages Delaunay contraints et les diagrammes de Voronoï correspondants. La gestion de version s'est faite via l'outil `Git` et les maillages obtenus étaient visualisés sous Paraview.

La fin du stage a été consacrée à une seconde étude bibliographique concernant des structures de données représentant des maillages polyédriques (demi-arêtes, demi-faces, cartes combinatoires,  $\mathcal{G}$ -cartes . . .), ainsi que des maillages modélisant des structures géologiques, créés parfois par résolution de problèmes d'optimisation.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 1-4 avenue de Bois-Préau RUEIL-MALMAISON

**Innov Plus**  
Recherche et Développement \*  
**Responsable : Monsieur Patrice LACROIX**

**Étudiant : Léonce FOPA**

**Sujet du stage : Etude statistique de données temporelles pour la génération d'un modèle de prédiction de la somnolence au volant**

### **Résumé**

En qualité de stagiaire Data Scientist chez Innov Plus (Toucango), le coeur de ma mission réside en l'analyse des signaux de clignements de conducteurs, dans le cadre de l'élaboration d'un modèle de prédiction pour lutter contre la somnolence au volant. Mon rôle est donc de valoriser les diverses données de clignements et d'implémenter des algorithmes de Machine Learning (SVM, Random Forest, Hidden Markov Models) afin de réaliser une classification des états, pour les séries temporelles de clignements de conducteurs. Innov Plus est une start-up fondée en 2014, à Orsay (Île de France), par Patrice LaCroix (CTO) et Stéphane Arnoux (CEO). Innov Plus a développé et breveté (en juillet 2015) un équipement et logiciel embarqué dénommé miniToucango, à partir d'un modèle de reconnaissance faciale des émotions du conducteur. Le miniToucango s'adresse dans un premier temps aux entreprises pour sécuriser leur flotte de véhicules d'entreprises et leurs salariés en activité de conduite. Les missions du module sont d' assister, aider, alerter le conducteur contre le risque de distraction au volant. Par effet "ricochet" il sert à sécuriser l'ensemble de l'entreprise et des citoyens usagers de la route.

---

\*. Adresse de l'entreprise : Bâtiment 503, Force A, Orsay

## **KapCode**

Data Science \*

**Responsable : Monsieur Pierre FOULQUIÉ**

**Étudiante : Manissa DEHNI**

**Mission en alternance : Détection et analyse de Parcours De Soins**

### **Résumé**

Lors de mon cursus au sein de la Sorbonne Université, au campus de Pierre et Marie Curie, j'ai réalisé une alternance d'un an sur différents sujets liés à la Data Science et plus précisément au traitement du langage naturel. J'ai intégré KapCode le 10 Octobre 2019. Cette entreprise du service numérique est au service du patient, de la recherche scientifique et de l'industrie pharmaceutique. J'ai pu développer mes compétences, tant techniques que théoriques dans le cadre de projets internes (amélioration des méthodes existantes, comme par exemple le "topic modelling", création de nouvelles méthodes telle qu'un package de détection de langues) et également des projets "clients". Le plus grand projet client dont j'ai été en charge concerne le laboratoire pharmaceutique Chiesi. Ce projet consiste à répondre aux exigences du client, en leur présentant plusieurs résultats quantitatifs, suivis de diverses analyses telles que le topic modelling, prédiction de l'âge et du sexe, analyse de la qualité de vie des patients et la détection et l'analyse de parcours de soins. Mon mémoire expose de manière synthétique la création d'une méthode de détection et d'analyse de parcours de soins qui est présentée et détaillée, tant au niveau de sa réalisation technique, que de son fonctionnement. Le projet a évolué dans le cadre de la mission d'apprentissage. Nous avons mis l'accent sur le choix de la solution finale conformément aux besoins internes et ceux du client, mais également aux technologies existantes ou développées chez KapCode par le biais du logiciel R, sur le traitement naturel du langage, l'utilisation d'un modèle en machine learning, ou bien même du développement d'une nouvelle méthode pour accueillir la solution.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 28 Rue d'Enghien. 75010, Paris

**ONERA (Office national d'études et de recherches aérospatiales)**

LMA2S (Laboratoire de Mathématiques Appliquées à l'Aéronautique et au Spatial) \*

**Responsables : Messieurs Vincent MOUYSSSET et Monsieur Sébastien PERNET**

**Étudiant : Kokou DOTSE**

**Sujet du stage : Génération de maillages quadrilatéraux par résolution numérique d'équations aux dérivées partielles**

## **Résumé**

La plupart des schémas numériques utilisés pour la simulation sont basés sur une discrétisation (le maillage) du domaine de calcul englobant la scène que l'on souhaite modéliser. Les différents schémas connus se basent alors sur un type de maillage donné présentant un intérêt propre : Différences Finies sur maillages cartésiens pour la simplicité et l'efficacité, Eléments Finis sur maillages conformes (triangles ou tétraèdres) pour la bonne représentation des objets, méthodes isoparamétriques sur maillages courbes pour le rendu précis d'effets proches de parois complexes, Volumes Finis ou Galerkin discontinus sur maillages non-structurés et conformes pour introduire des raffinements locaux... Les outils de générations de maillage pour les codes de simulation numérique se sont alors grandement développés. Pour autant, au sein d'une même famille de schémas, il est possible d'obtenir des résultats extrêmement différents, aussi bien en qualité qu'en efficacité, selon les fonctions de base choisies et donc selon les éléments utilisés. Ainsi, sur un certain nombre de schémas haute précision (Galerkin discontinu, éléments finis d'ordre élevés, différences finies spectrales...) on observe que les fonctions de bases définies sur quadrilatères en 2D, ou hexaèdres en 3D, présentent d'excellentes propriétés. Toutefois, si la génération de maillages symplectiques (triangles ou tétraèdres) est très développée depuis plus d'un demi-siècle, celle de quadrilatères ou d'hexaèdres est plus problématique.

Dans ce stage, nous avons dans un premier temps évalué une méthode de génération de maillages en quadrilatères proposée très récemment. L'idée est de construire un partitionnement « intelligent » du domaine de calcul en sous-domaines quadrangulaires qui pourraient alors être facilement maillés à leur tour en quadrilatères. Ce partitionnement est obtenu à partir de lignes de courant issues de la résolution d'une équation aux dérivées partielles vectorielle elliptique. Nous avons aussi étudié les fondements théoriques de cette méthode puis développé un code prototype afin de montrer l'apport de cette approche. Enfin, en lien avec une exploitation future pour les méthodes numériques à l'ONERA en particulier dans le cadre de la simulation d'ondes électromagnétiques sur une méthode de Galerkin discontinu, nous avons proposé un format de fichier permettant d'enregistrer le maillage généré tout en conservant la structure des sous-domaines et la connectivité entre ces sous-domaines.

---

\*. Adresse de l'entreprise : BP74025 - 2 avenue Edouard Belin, FR-31055 TOULOUSE CEDEX 4

## **Orange Labs**

OLNC/OLN/RNM/SRA \*

**Responsable : Monsieur Mohamed KARRAY**

**Étudiante : Tinhinane BEN SLIMANE**

**Sujet du stage : Evaluation de la QoS en 5G avec la fonctionnalité ‘massive MIMO’ multi-utilisateurs**

### **Résumé**

L'un des axes de développement du réseau 5G est le haut débit. Pour faire face à l'augmentation de la demande de trafic, les réseaux 5G devront allouer un débit jusqu'à dix fois supérieur à celui de la 4G, en utilisant la fonctionnalité massive MIMO (Multiple-Input Multiple-Output antennas). L'objectif de notre travail est de proposer une méthode de calcul du débit de l'utilisateur tenant compte de la fonctionnalité massive MIMO multi-utilisateurs (MU-MIMO).

A cet égard, nous étendons le modèle de calcul de la QoS dans les réseaux 4G afin de construire une méthode efficace pour calculer le débit de l'utilisateur dans les réseaux 5G avec MU-MIMO. Cela nécessite :

- Documentation sur l'architecture des réseaux cellulaires et la modélisation des arrivées des utilisateurs dans une file d'attente à l'aide de la théorie des processus ponctuels.
- Une bonne articulation des résultats de deux théories importantes : la théorie de l'information et la théorie des files d'attente ; où la première alimente la seconde dans le modèle de QoS.

La problématique théorique rencontrée –et qui nous a empêché d'utiliser directement le modèle déjà existant– c'est que le débit d'un utilisateur (donné par la théorie d'information) dépend des paramètres des autres utilisateurs. Ceci empêche de pouvoir utiliser le modèle ‘Processor Sharing’ (un des outils importants de la théorie de file d'attente) où le taux de service de chaque utilisateur ne dépend que de ses propres paramètres et du nombre d'utilisateurs dans la file d'attente.

Pour résoudre ce problème, on est amené à étudier numériquement le débit d'un utilisateur donné et à montrer, en faisant des simulations Matlab, que sa sensibilité par rapport aux paramètres des autres utilisateurs est faible, et qu'elle peut être négligée en première approximation.

Le calcul du débit en MU-MIMO conduit à un problème d'optimisation convexe avec contraintes, que nous avons résolu en utilisant l'outil CVX (sous Matlab).

Au terme de ce travail, les approximations considérées ont été validées et des résultats satisfaisants ont été obtenus. Cela conduit à une méthode efficace d'évaluation de la qualité de service, qui est intégrée dans un outil opérationnel pour Orange.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 46 Avenue de la République, 92320 Châtillon

## **Groupe PSA**

Direction après-vente, Contrats de service \*

**Responsable : Monsieur Didier DUPUIS**

**Étudiant : Roger ABBOUD**

**Sujet du stage : Modélisation des coûts techniques des contrats de service d'usure**

### **Résumé**

J'ai effectué mon stage au sein de l'équipe contrat de service (extension de garantie, entretien et maintenance).

L'objectif de ce stage était de modéliser et d'implémenter un modèle statistique afin de prédire, calculer et optimiser le coût technique de la strate usure (= coût de revient pour PSA des remplacements des pièces d'usure comme les freins, les amortisseurs...).

Dans un premier temps, on a importé la base de données des remboursements, pour pouvoir entraîner et appliquer les méthodes statistiques d'apprentissage. Ensuite on a mis à jour les paramètres de la méthode actuelle qui s'appuie sur le découpage par pièce de rechange et fréquence d'usure par pièce. Une comparaison entre les plus grands pays européens a été faite.

La deuxième partie du stage consistait à proposer une méthode alternative globale de prédiction des coûts d'usure sans détailler les pièces. Cette méthode se base sur trois paramètres à modéliser : la fréquence d'intervention, le nombre d'heures de main-d'œuvre et le coût des pièces de rechange. Pour cela, on a analysé les contrats d'usure pour déterminer les variables influentes (la durée, les kilomètres, la puissance moteur et la décomposition par segments) et étudier leurs impacts. Un modèle statistique GLM (Modèle Linéaire Généralisé) a été utilisé ensuite pour modéliser chaque paramètre. Le modèle gaussien s'est révélé le plus adapté dans chaque cas.

Les résultats des deux méthodes ont été comparés. Les écarts ont été expliqués en analysant le calcul des prix des pièces dans chaque méthode. Après correction, les deux méthodes convergent.

Ce stage m'a permis de développer mes compétences en Python et Excel. J'ai pu appliquer mes connaissances théoriques sur l'analyse et acquérir de nouvelles connaissances sur SPSS Modeler.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 2-10 boulevard de l'Europe, 78300 Poissy

## **Groupe PSA**

RD2 - Research & Development Division

DCTC - Direction Chaîne de Traction et Châssis

MTCC / INCC - Ingénierie Numérique Chaîne de Traction et Châssis \*

**Responsables : Messieurs Miguel DINIS et Alexandre RAULOT**

**Étudiant : Charly NANA KONGUEP**

**Sujet du stage : Développement d'un algorithme de plan d'expériences D-optimal sous contraintes non-linéaires**

### **Résumé**

J'ai effectué mon stage au sein du Département DCTC - Chaîne de Traction et Châssis de Groupe PSA et plus précisément au sein de l'équipe simulation numérique.

La mission principale de mon stage a été, pour l'identification des surfaces de réponses par régression polynomiale, de développer un algorithme de construction des plans d'expériences D-optimaux dans le cas particulier d'un domaine expérimental sous contraintes non-linéaires.

Le travail effectué a été reparté en deux étapes. Dans la première étape, un important travail bibliographique a été réalisé sur les principales méthodologies de constructions des plans d'expériences optimaux qui existent. Après ce travail de base, nous avons sélectionné la méthode (algorithme) qui répondait le mieux à nos besoins : il s'agit de *la méthode d'échange de coordonnées cycliques* proposée par *K. Ruth Meyer et Christopher J. Nachtsheim (1995)*. Dans la deuxième étape, nous avons implémenté en langage Matlab la méthode de construction de plan d'expériences sélectionnée et ensuite, nous avons comparé les performances de cet algorithme avec ceux intégrés dans Matlab et en particulier à celui de l'algorithme d'échange de coordonnées.

Les divers tests réalisés ont montré que l'algorithme développé présente de meilleures performances par rapport à l'algorithme d'échange de coordonnées intégré dans Matlab, à savoir : la non-répétition des essais dans le plan construit, la réduction du temps d'exécution pour des grands problèmes (nombre de facteurs supérieurs à 10) et enfin une meilleure qualité des plans construits selon le critère de la D-efficacité.

Ce stage m'a permis de développer mes compétences en langage Matlab et d'avoir une bonne maîtrise des principales méthodologies de construction des plans optimaux pour l'identification des surfaces de réponses par régression polynomiale.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 2 - 10 Boulevard de l'Europe, 78300 POISSY

## **Safran Tech**

Modélisation & Simulation \*

**Responsable : Monsieur Etienne LAC**

**Étudiant : Adrien TALATIZI**

**Sujet du stage : Réduction de modèles pour la simulation multi-physiques**

### **Résumé**

Le sujet du stage est la réduction de modèles pour la simulation multi-physiques sur des systèmes complexes au sens large. Ce stage a eu lieu au sein de l'équipe Collaborative System Design du département Modélisation et Simulation à Safran Tech (Châteaufort, Yvelines) qui est le centre R&T de Safran.

CoSApp est un outil OpenSource développé par Safran afin de faciliter les phases de préconception de ses nouveaux produits. Le logiciel a particulièrement intérêt à être utilisé lors de l'exploration de nouvelles architectures.

Le travail est découpé en 3 parties : prendre en main le logiciel CoSApp (code source en Python) qui permet la simulation multi-systèmes, réfléchir à –et proposer une implémentation dans le noyau d'–une mécanique permettant de méta-modéliser un système complexe représenté en CoSApp et enfin étudier les problématiques de la multi-fidélité et fournir des prototypes.

Les compétences sollicitées sont la compréhension mathématiques des outils déjà utilisés, la programmation Python et la force de proposition pour inventer des solutions qu'on rectifie lors de discussions avec les membres de l'équipe.

***Mots-clefs :** Systèmes complexes, réduction de modèles, multi-physiques, multi-fidélités, Python, architecture de code.*

---

\*. Adresse de l'entreprise : Rue des Jeunes Bois, Châteaufort, CS 80112,78772 Magny-Les-Hameaux

## **IRT SystemX**

Équipe Calcul Scientifique et Optimisation, Projet TOP (Topology Optimization Platform) \*

**Responsable : Monsieur David DANAN**

**Étudiant : Paul RICOLLEAU**

**Sujet du stage : Optimisation Topologique pour les Critères Semi-Infinis**

### **Résumé**

L'Institut de Recherche et Technologie SystemX se situe à la frontière entre le milieu académique et l'industrie. Des chercheurs académiques renommés et des partenaires venant d'entreprises à la pointe de la technologie y collaborent, et partagent leurs connaissances, leurs outils numériques et leur temps avec les ingénieurs/chercheurs des équipes de l'IRT SystemX.

L'équipe de Calcul scientifique et Optimisation de l'institut a monté, dans le secteur de l'Industrie du Futur, le projet TOP (Topology Optimization Platform). Ce dernier a pour visée le développement de méthodes et outils numériques performants dédiés à la conception optimale de pièces et de systèmes complexes. Pour cela, ils se sont associés à Airbus, ESI Group, Renault et Safran.

L'optimisation topologique consiste à chercher une forme qui minimise un critère donné parmi un ensemble de formes admissibles, tout en respectant certaines contraintes. La mission de ce stage consiste à tester et implémenter des méthodes innovantes pour traiter un certain type de critères : les critères dits semi-infinis. Ils ont la particularité de devoir respecter des contraintes d'optimisation locales en tout point d'une structure, au lieu de devoir utiliser des contraintes globales. Ces méthodes seront implémentées dans le démonstrateur logiciel co-développé dans le projet TOP par l'IRT SystemX et Safran.

Pendant les six mois de la mission, j'ai effectué dans un premier temps des recherches bibliographiques sur le sujet. Puis, j'ai appris à manipuler le démonstrateur logiciel utilisé au sein de l'équipe. Par la suite, après avoir établi un état de l'art et déterminé, avec les partenaires du projet, les méthodes les plus prometteuses à explorer, j'ai pu les implémenter dans le démonstrateur logiciel. Pendant plusieurs mois, j'ai manipulé, testé, présenté et amélioré ces méthodes, pour finalement aboutir à des résultats satisfaisants. Enfin, j'ai travaillé en collaboration avec l'équipe en charge du logiciel pour intégrer ces nouvelles fonctionnalités au démonstrateur.

J'ai trouvé la mission très intéressante, et j'ai beaucoup appris sur les méthodes de travail et de fonctionnement d'une entreprise. Par ailleurs, les développements effectués présentent d'autres utilisations qui permettront de prendre en compte d'autres critères innovants en optimisation topologique.

---

\*. Adresse de l'entreprise : Bâtiment 660 DIGITEO Moulon, Rue Noetzlin, 91190 Gif-sur-Yvette

**Thales Alenia Space**

Architectue chaîne image \*

**Responsable : Monsieur Jean-Michel GAUCELI**

**Étudiant : Yassine HMIDY**

**Sujet du stage : Réseau de neurones pour le traitement d'images satellitaires**

## **Résumé**

Mon stage a commencé par une documentation afin de me familiariser avec le domaine de l'aérospatiale et plus précisément le traitement d'images satellitaires. L'acquisition d'images hyperspectrales par des satellites en vol nécessite de disposer de certains critères rendant compte de la qualité de ces images. La fonction de transfert de modulation (FTM) fait partie de ces critères. Des méthodes telles que l'observation d'une mire carrée ou d'un point lumineux existent afin de parvenir à déterminer la FTM d'une image. Cependant, ces méthodes présentent des contraintes d'ordre pratique, ce qui a conduit les ingénieurs en aérospatiale à se tourner vers des techniques d'intelligence artificielle. La première étape consiste à estimer la FTM d'images satellitaires en apprenant à l'aide d'exemples issus d'images dont la FTM aurait déjà été estimée par les méthodes conventionnelles. Il faut ensuite savoir s'il est possible de quantifier la confiance que l'on pourrait avoir en l'estimation de cette FTM pour des images nouvelles pour le modèle d'intelligence artificielle. Cette problématique sera le sujet de mon stage.

Le domaine de l'intelligence artificielle retenu pour effectuer cette tâche d'estimation de la FTM sera la machine learning, et plus précisément le deep learning. Le modèle de réseau de neurones utilisé pour estimer la FTM est un réseau de neurones convolutifs car ce type de réseau est optimisé pour le traitement d'images. L'idée ensuite est de modifier ce réseau de neurones afin qu'il nous donne en sortie une mesure de confiance en son estimation de la FTM. Le problème rencontré est que cette modification altère la qualité de la prédiction. Je me suis donc documenté afin de trouver une alternative. J'ai en conséquence mis en place un réseau de neurones récurrent, qui s'appuie sur la notion de mémoire à court terme afin d'effectuer une boucle dans la propagation de l'information au travers du réseau. Ce type de réseau parvient à nous donner une bonne évaluation de la mesure de confiance. Néanmoins, contrairement à un réseau de neurones convolutif il n'est pas optimisé pour le traitement d'images, les performances de prédiction de la FTM sont donc moins bonnes. J'ai donc finalement codé un double réseau de neurones, où l'un utilise la sortie de l'autre pour calculer son entrée. On conserve ainsi les performances de la prédiction de la FTM. Mais les résultats obtenus en terme de mesure de confiance ne sont pas optimaux, ce qui m'a conduit à m'interroger sur des questions liées à la structure des images d'entrée, en codant une carte auto-adaptative. J'ai également pu coder un modèle de réseau antagoniste génératif avec l'idée d'augmenter la taille de la base de données afin d'améliorer les performances du modèle.

Ce stage a été enrichissant car il m'a permis d'acquérir des compétences dans un domaine en plein essor, et également de me rendre compte de l'étendue des applications des mathématiques dans le monde industriel.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 5 allée des Gabians 06210

## **Total SE**

Computational Geometry and Meshing project \*

**Responsable : Madame Jeanne PELLERIN**

**Étudiant : Kenneth Assogba**

**Sujet du stage : Génération de maillage hybride pour la simulation d'ondes sismiques**

### **Résumé**

Une bonne compréhension des structures du sous-sol est capitale pour l'exploration et la protection des ressources en eaux souterraines, la prospection des gisements miniers, des réserves d'hydrocarbures ou l'évaluation des capacités de stockage en dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>. L'imagerie sismique du sous-sol est un des principaux moyens d'acquérir ces informations. Son principe est de comparer les données sismiques obtenues sur le terrain par des dispositifs couplant émetteurs et récepteurs avec des simulations numériques de la propagation d'onde dans un modèle multi-matériaux. L'objectif est de déterminer la géométrie des couches de roches et la vitesse de propagation des ondes dans ces couches.

Afin d'évaluer une méthode numérique combinant deux types d'éléments finis, les éléments spectraux et les éléments Galerkin discontinus, des maillages spécifiques, constitués de quadrilatères et de triangles à proximités des interfaces entre les couches de roches, sont requis. L'objectif de ce stage est le développement d'un mailleur hybride 2D qui génère ces maillages à partir de la définition de la géométrie du modèle. Partant d'un maillage quadrilatéral, les cellules à proximité des interfaces du modèle sont remplacées par des triangles. Le point majeur de difficulté est de déterminer de manière robuste le contour des zones à remailler par des triangles. Le code final écrit en Python permet de générer des maillages hybrides où la taille des quadrilatères et la largeur des zones à mailler en triangles sont contrôlées par l'utilisateur. Les premiers résultats de simulation sont prometteurs, en 2D la simulation sur un maillage hybride généré par la méthodes est environ deux fois plus rapide que sur un maillage triangulaire.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 8, boulevard Thomas Gobert – 91120 Palaiseau

## **VO2 GROUP**

58 bis Rue de la Chaussée d'Antin \*

**Responsable : Monsieur Etienne GAY**

**Étudiant : Hamidou THIAM**

**Sujet du stage : Simulations numériques et Machine Learning**

### **Résumé**

Au sein de VO2, les missions qui m'ont été confiées sont diverses et variées. Les deux principales tâches consistaient d'une part à faire des simulations des modèles du trafic routier et d'autre part à retrouver les hyperparamètres des modèles considérés grâce aux algorithmes de Machine Learning.

Dans la première partie, nous avons d'abord pris connaissance de quelques modèles notamment les modèles microscopiques, macroscopiques et hybrides. Ensuite nous les avons simulés avec le logiciel Matlab afin de voir comment les véhicules se propagent sur un tronçon de route. L'une des plus grandes difficultés était la simulation du modèle hybride. En effet, la particularité de ce dernier est le couplage de deux modèles ayant une vision différente de l'écoulement du trafic : un modèle microscopique regardant le trafic à l'échelle d'une voiture et un modèle macroscopique considérant l'écoulement du trafic sous forme d'un flux. Ainsi, la problématique de cette simulation était de respecter l'ensemble des hypothèses mises en place afin que l'échange d'informations entre les modèles couplés se fasse de sorte que les erreurs soient minimales.

Dans la deuxième partie du stage, il était question de constituer un jeu de données et de tester plusieurs modèles de Machine Learning pour retrouver quelques hyperparamètres des modèles considérés. Nous nous sommes ainsi intéressés principalement à un modèle microscopique (modèle à vitesse optimale) et à un modèle macroscopique (le modèle LWR) en ayant recours à deux méthodes de Machine Learning avec le langage Python, la méthode des K-plus proches voisins et l'algorithme de Random Forest. Ce dernier nous a permis de générer des hyperparamètres très proches de ceux choisis lors des simulations.

En dehors de notre sujet de stage, nous avons participé à un challenge Kaggle. Ce dernier consistait à utiliser l'apprentissage automatique pour créer un algorithme qui prédit quels passagers ont survécu au naufrage du Titanic.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 75009

## Les étudiants de l'année 2019-2020

Nom	Prénom	Entreprise	Option	Page
ABBOUD	Roger	PSA	ps	15
AIT DAHMANE	ASSIA	AG2R La Mondiale	ps (app)	3
ANCOURT	KEVIN	Framatome	m	9
ASSOGBA	KENNETH	Total	m	20
BEN SALEM-KNAPP	LOUISE	CEA	m	8
BEN SLIMANE	TINHINANE	Orange	ps	14
CHELHAB	KATIA	SAFRAN Montereau	ps (app)	
DEHNI	MANISSA	KAPCODE	ps (app)	12
DOTSE	KOKOU	ONERA Toulouse	m	13
FOPA NOTEMI	LÉONCE	Innov plus	ps	11
HMIDY	YASSINE	Thales	ps	19
LEPREVOST	ANTONIN	CEA	m (app)	6
MARIN	ALEXANDRE	IFPEN	m	10
NANA KONGUEP	CHARLY	PSA	ps	16
RICOLLEAU	PAUL	System X	m	18
ROBERT DE BEAUCHAMP	ZACHARIE	DASSAULT AVIATION	ps (app)	
SQUARCIONI	Alexis	CEA	m	7
TALATIZI	ADRIEN	SAFRAN	m	17
THIAM	HAMIDOU	VO2	ps	21
VALBON	FLORENT	BNP Paribas	ps	5
WANG	XIAOYUAN	ISCD	ps	
WANG-MA	DAVID	Air France	ps (app)	4

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