

**Ingénierie Mathématique**  
**Master mention Mathématiques et applications**

UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE (PARIS 6)



Responsables : Edwige Godlewski  
Laboratoire Jacques-Louis Lions  
Barre 15-25 bureau 311  
Téléphone : 01 44 27 42 99  
Télécopie : 01 44 27 72 00  
Email : edwige.godlewski@upmc.fr

Marie Postel  
Laboratoire Jacques-Louis Lions  
Barre 15-25 bureau 313  
Téléphone : 01 44 27 54 08  
Télécopie : 01 44 27 72 00  
Email : marie.postel@upmc.fr

**Résumés des stages en entreprise**  
effectués par les étudiants du Master IM  
parcours Mathématiques Pour l'Entreprise (MPE)  
**année 2015-2016**

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

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

Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), BC 187, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 05



Cette brochure constitue la douzième édition de la publication des résumés des stages en entreprise effectués par les étudiants de M2 du Master spécialité Ingénierie Mathématique (parcours MPE) de l'Université Pierre et Marie Curie.

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. Cette formation a changé de nom depuis la rentrée universitaire 2004 à la faveur de la réforme LMD (Licence-Master-Doctorat). Elle est devenue, sous le nom Ingénierie mathématique, parcours Mathématiques pour l'Entreprise (MPE), une spécialité professionnelle du Master Sciences et Technologies, mention Mathématiques et applications, de l'Université Pierre et Marie Curie.

Ce document est destiné aux anciens ou futurs étudiants du Master Ingénierie mathématique, aux responsables de stages en entreprise 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 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 2015-2016**

Probabilités - statistiques : V. Lemaire, L. Abbas-Turki

Laboratoire de probabilités et modèles aléatoires, site Jussieu, couloir 16-26 1<sup>er</sup> étage

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

Autres intervenants : O. Bardou, W. Lair, M. Thieullen

Statistiques : B. Michel

Laboratoire de Statistique Théorique et Appliquée, site Jussieu, couloir 15-25, 2<sup>e</sup> étage

Autre intervenant : J.-P. Baudry

Analyse numérique - calcul scientifique : E. Godlewski

Laboratoire Jacques-Louis Lions, site Jussieu, couloir 15-25, 3<sup>e</sup> étage

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

Autres intervenants : M. Cerf, B. Despres, P. Frey, F. Hecht, X. Juvigny, M. Postel, F.-X. Roux

Mécanique : A. Monavon et P. Druault

Institut Jean Le Rond d'Alembert, site Jussieu, couloir 55-65

Téléphone : 01 44 27 37 90

Autres intervenants (Code\_Aster) : M. Abbas, E. Boyère, J. Delmas

Options :

C++ : F. Hecht

Code\_Saturne : Ph. Parnaudeau

Excel VBA : J. Rameaux

GPU : L. Abbas-Turki

Python : N. Lantos

**Responsable des stages** : M. Postel

Marie.Postel@upmc.fr

Campus Jussieu, couloir 15-25, 3<sup>e</sup> étage, 313

Téléphone : 01 44 27 54 08

**Secrétariat du Master Ingénierie Mathématique** : F. Hardoyal

Francelise.Hardoyal@upmc.fr

Campus Jussieu, couloir 15-25, 1<sup>er</sup> étage, 107

Téléphone : 01 44 27 51 14

**Responsable du Master Ingénierie mathématique** : E. Godlewski

Edwige.Godlewski@upmc.fr

Campus Jussieu, couloir 15-25, 3<sup>e</sup> étage, 311

Téléphone : 01 44 27 42 99

## Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives

Département CEA/DEN/DANS/DM2S/STMF/LMSF\*

Responsables : Madame Caroline JAPHET, Messieurs Pascal OMNES et Mathieu PEYBERNES

Étudiante : Katia AIT AMEUR

### Sujet : Implémentation de conditions de Robin pour le problème de Stokes dans le cadre de méthodes de décomposition de domaine de Schwarz : application au code TRUST

#### Résumé :

Le laboratoire dans lequel j'ai effectué mon stage est chargé du développement et de la qualification de logiciels de simulation tels que TRUST, solveur de mécanique des fluides. Cet outil est notamment dédié à la simulation des écoulements complexes au sein des réacteurs nucléaires. Ce type de simulation peut présenter des centaines de millions d'inconnues, nécessitant ainsi le recours à des méthodes de parallélisation.

Le stage a porté sur l'étude des méthodes de décomposition de domaine appliquées aux équations de Stokes de la mécanique des fluides. Initiées par H.A. Schwarz, ces méthodes permettent de définir des algorithmes performants et adaptés aux machines parallèles. Elles consistent à partager le domaine de calcul en sous-domaines permettant ainsi de résoudre des problèmes instationnaires dans chaque sous domaine. Dans ce stage, on étudie des **méthodes de Schwarz en espace-temps pour le problème de Stokes, dans le cas incompressible**. Tous ces systèmes sont couplés via des conditions de transmission sur une interface en espace-temps à l'aide de conditions de Robin dont les coefficients peuvent être optimisés pour améliorer la convergence de l'algorithme.

Les différents travaux menés pendant le stage ont été : le choix des conditions d'interface, l'équivalence entre la formulation monodomaine et la formulation multidomaine du problème, l'étude du caractère bien posé des sous problèmes locaux associés à chaque sous domaine, l'étude de la convergence de l'algorithme.

Par ailleurs, la résolution numérique dans TRUST s'appuie sur les méthodes dites V.E.F. ("Volumes Éléments Finis"), applicable à des maillages tétraédriques, où les vitesses sont calculées aux centres des faces (éléments finis de type "P1 Non Conforme") et la pression est calculée aux centres de gravité des mailles uniquement (éléments finis de type "P0"). C'est sur ce schéma qu'a porté mon travail dans le cadre de l'implémentation des méthodes de Schwarz. Par la suite, a débuté l'étape de développement dans le logiciel afin d'introduire une nouvelle classe de conditions limites de type Robin.

Durant la participation au CEMRACS (Centre d'été Mathématique de Recherche Avancée en Calcul Scientifique), une stratégie d'implémentation de l'algorithme de Schwarz a été débutée en utilisant un module de TRUST, ICoCo (Interface Coupling Code).

Les travaux de ce stage constituent le point de départ d'une prochaine thèse qui aura pour but d'étendre cette méthode de décomposition de domaine espace-temps aux équations de Navier Stokes en la couplant avec l'algorithme pararéel.

---

\*. Adresse de l'entreprise : CEA - SACLAY L'Orme des merisiers, 91191 Gif-sur-Yvette

## EDF R&D

Département Mécanique des Fluides, Énergies et Environnement (MFEE) \*

**Responsables : Messieurs Sofiane BENHAMADOUCHE et Richard HOWARD, Madame Isabelle RUPP**

**Étudiante : Lilia BÉDIDI**

### **Sujet : Modélisation de la variance de température dans le code de thermique SYRTHES**

#### **Résumé :**

J'ai effectué mon stage de fin d'études dans la division Recherche et Développement d'EDF, au sein du département de Mécanique des Fluides, Énergie et Environnement (MFEE). Le groupe EDF entame le programme dit du Grand Carénage pour prolonger l'exploitation des centrales nucléaires au-delà des délais initialement prévus. Un moyen d'y parvenir est l'amélioration des connaissances scientifiques et techniques au sujet par exemple de la fatigue thermique dans les structures des centrales. Mon stage s'inscrit dans cette problématique.

La fatigue thermique est un phénomène associé aux chargements thermiques provenant de fluctuations thermohydrauliques transmises entre le fluide du circuit primaire et le métal des tuyauteries du circuit. On se place dans le cas où le grand nombre de petites fluctuations thermiques, sur une longue période de temps, est responsable de la fatigue d'un matériau ; les gradients négatifs le contractent, les gradients positifs le dilatent, provoquant des contraintes de cisaillement. Les fluctuations de basses fréquences pénètrent mieux le solide, elles nous intéressent plus que les hautes fréquences. On veut donc anticiper des fluctuations de température qui se propagent dans un milieu solide. On pourrait pour cela se servir d'une approche locale, LES (*Large Eddy Simulation*), qui permettrait en outre d'obtenir toutes les caractéristiques de ces fluctuations de manière explicite. Cette méthode est cependant trop lente et coûteuse pour être utilisée facilement sur toutes les zones d'intérêt du parc. On voudrait alors développer un modèle statistique, RANS (*Reynolds Averaged Navier-Stokes*), bien plus rapide puisque ne calculant que des valeurs moyennées. Le problème est qu'un modèle statistique de type RANS ne procure pas d'information fréquentielle sur ces fluctuations ; on ne peut donc pas établir la nocivité de la variance de température fournie par un calcul RANS. Par contre, un modèle RANS peut être enrichi avec la modélisation de la dissipation de la variance de la fluctuation de température. C'est en effet le paramètre qui tient compte du comportement fréquentiel dans un modèle statistique. On comprend intuitivement que trouver une dissipation faible revient à être dans un cas de fluctuations de hautes fréquences, et inversement.

L'objectif de mon stage est de résoudre puis implémenter dans le logiciel SYRTHES le système d'équations composé de l'équation de la variance de la fluctuation de température, fermée par la dissipation associée, et de l'équation de cette dissipation, fermée par un terme que l'on ne sait pas résoudre et que l'on doit donc réussir à modéliser. Pour vérifier la méthode on se place dans le cadre du canal plan : il s'agit d'une configuration où un fluide à écoulement turbulent est compris entre deux solides chauffés aux parois extérieures. Ces solides chauffent le fluide à leur contact. La turbulence du fluide crée alors une turbulence thermique, qui sera transmise aux solides. Cela nous permet de nous placer dans le même cas qu'une approche DNS (*Direct Numerical Simulation*) effectuée préalablement au stage, à laquelle on peut comparer nos résultats.

J'ai dans un premier temps écrit un code de différences finies, afin de comparer rapidement les résultats obtenus par différents modèles et schémas numériques avec les résultats fournis par la DNS. L'un des modèles testés a permis d'obtenir des résultats très satisfaisants.

J'ai alors pu passer à la deuxième partie du stage. Le logiciel SYRTHES, développé par EDF et rédigé en langage C, permet de traiter en milieu solide des problèmes en lien avec la thermique, à l'aide de la méthode des éléments finis. J'y ai implémenté un nouveau module permettant d'obtenir la variance de la température et sa dissipation associée dans un solide à partir des conditions initiales et des conditions limites entrées par un utilisateur, et de visualiser la solution dans des fichiers de résultats textes ou dans des logiciels de visualisation tels que EnSight et Paraview.

Le but final vers lequel tend ce stage est d'obtenir un couplage fluide-solide, à l'aide de la bibliothèque OpenMPI. La partie fluide est gérée par le logiciel de mécanique des fluides Code\_Saturne, également développé par EDF, rédigé en Fortran 90 et en langage C. J'ai pu implémenter le nécessaire dans les deux logiciels pour transmettre de part et d'autre la valeur de la condition limite, et l'appliquer sous forme de Dirichlet pour le fluide, et de Neumann pour le solide.

Les premiers résultats suggèrent que l'implémentation de l'ensemble fonctionne.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 6 quai Watier, 78401 Chatou

**EDF R&D**

Département Mesures et systèmes d'Information du Réseau Électrique (MIRE) \*

**Responsables : Messieurs William LAIR et Emmanuel REMY**

**Étudiant : Jules CICUREL**

**Sujet : Modélisation du vieillissement et quantification de l'efficacité de la maintenance des matériels du réseau électrique****Résumé :**

Afin de prévenir d'éventuelles défaillances, EDF procède régulièrement à des maintenances préventives sur les équipements du réseau électrique, ainsi qu'à des maintenances correctives lorsqu'une défaillance survient. L'objectif de ce stage a été de mesurer conjointement le vieillissement de ces équipements, autrement dit leur tendance à subir des défaillances au cours du temps, et l'efficacité des maintenances à retarder ces défaillances. On a exploité pour cela les données issues d'un retour d'expérience.

J'ai commencé par étudier les différentes méthodes utilisées dans le cadre de l'analyse statistique d'un jeu de données, de la fiabilité, de l'analyse de durée de vie ainsi que des modèles dits d'âge virtuel. Dans ces derniers, on considère qu'une maintenance efficace a pour effet de rajeunir le matériel. On peut alors évaluer à la fois le vieillissement des matériels et l'effet des maintenances en estimant les paramètres du modèle par maximum de vraisemblance.

Une fois ces paramètres validés, on a simulé des trajectoires du processus des maintenances pour un matériel sur un horizon de temps donné, afin de calculer par une méthode de Monte-Carlo différents indicateurs sur le coût et le nombre de défaillances attendues. Cette procédure permet en particulier de comparer différentes stratégies de maintenance préventive sur les matériels. On a donc été capable de donner des indicateurs d'aide à la décision sur les périodicités de maintenance à partir des données d'un retour d'expérience. Par la suite, les modèles d'âge virtuel pourront être davantage développés et appliqués à d'autres types de données.

---

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

## **EDF R&D**

Département SINETICS, Groupe "Réalité Virtuelle et Visualisation scientifique" \*

**Responsable : Monsieur Alejandro RIBES**

**Étudiant : Aurélien DETRUIT**

### **Sujet : Analyse paramétrique in-situ et simulations parallèles à grande échelle en mécanique des fluides**

#### **Résumé :**

La CFD (Computational Fluid Dynamics) ou Mécanique des fluides numérique, est une étape indispensable pour l'optimisation de la production d'électricité. La simulation et la visualisation ont donc en conséquence, une grande importance dans l'industrie de l'énergie.

Électricité de France (EDF), un des plus gros producteurs d'électricité d'Europe, développe depuis 15 ans un logiciel open source de CFD nommé Code\_Saturne. C'est un logiciel qui effectue des simulations sur des modèles très grands, en effet certains ingénieurs d'EDF effectuent des simulations sur des maillages de 400 millions de cellules. Se pose ensuite le problème de la visualisation de ces simulations numériques, en effet la simulation sur des maillages de plus en plus fins entraîne la génération de gros volumes de données, la méthode standard consistant à stocker toutes ces données pour pouvoir les visualiser à la fin de la simulation est très coûteuse en termes de temps de calcul et de gestion de mémoire.

EDF a donc réfléchi à des solutions pour pouvoir gérer ces bases de données de plus en plus grandes. Une solution est d'intégrer directement la phase de post-traitement dans la simulation, on réduit alors considérablement le stockage de données. Cette méthode est appelée "in-situ", la simulation et la visualisation sont couplées, l'analyse et la visualisation sont réalisées alors que les données sont encore stockées dans la mémoire vive de la machine exécutant la simulation.

Dans ce contexte où les simulations produisent des volumes de données très grands, une nouvelle tendance est apparue, l'étude paramétrique. Cela consiste en une étude statistique, par exemple le calcul d'une moyenne et de l'écart type d'un résultat, pouvant servir à déterminer l'influence d'une ou de plusieurs variables. Quand une étude paramétrique est lancée, la simulation est exécutée N fois avec un ou des paramètres variables. On estime assez clairement l'énorme quantité de données qui en découle, puisqu'on multiplie le volume des sorties d'une simulation par N, le nombre de paramètres variables. Le challenge est donc de pouvoir exploiter cet ensemble de données complexes.

C'est dans ce cadre que s'inscrit mon stage, l'analyse de résultats d'études paramétriques, la taille de ces données impliquant des problématiques de type "Big Data".

Dans un premier temps il m'a fallu bien comprendre les logiciels et outils pour la mise en place d'une simulation numérique : SALOME pour la création de maillages, Code\_Saturne pour la simulation numérique en mécanique des fluides et ParaView pour la visualisation des résultats.

Je me suis intéressé plus particulièrement aux études de sensibilité, notamment à l'indice de Sobol. J'ai implémenté en MPI l'algorithme sur Code\_Saturne, puis testé sa robustesse. Pour cela, il a fallu lancer des études paramétriques allant jusqu'à mille simulations, ce qui a nécessité l'utilisation ATHOS, un cluster d'EDF classé dans le top 500 des superordinateurs.

Les premiers résultats ont été encourageants puisque ce code réalisant l'analyse statistique n'augmente que de très peu, moins de 4%, le temps d'exécution d'une étude paramétrique de 1000 simulations, tout en stockant seulement 2,6 Go de données, là où on stockait auparavant 178 Go de données.

---

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



**EDF R&D**

Département SINETICS, Groupe I2A \*

**Responsable : Monsieur Paul RASCLE****Étudiante : Priscilla LANNOO****Sujet : Optimisation mémoire et performance du mailleur du logiciel SALOME****Résumé :**

Les besoins en simulation numérique étant de plus en plus importants, les logiciels de simulation doivent être capables de fournir rapidement des résultats précis. Or la génération du maillage de l'objet d'étude est une partie coûteuse et délicate de la simulation car elle doit souvent s'effectuer de manière interactive sur les ordinateurs de bureau moins performants que les clusters. De plus, les algorithmes doivent permettre l'obtention de maillages de plus en plus fins pour des simulations de plus en plus détaillées.

C'est dans ce contexte que j'ai intégré l'entreprise EDF pour mon stage de fin d'études avec deux principales missions. La première était l'étude des gains possibles en occupation mémoire pour la génération d'un maillage par le logiciel de simulation d'EDF : SALOME. J'ai ainsi mis en évidence la possibilité de réduire de 35% à 40% le coût en mémoire et en temps d'une telle opération moyennant une modification des interfaces d'accès aux données du maillage. Ceci permettra de décider par la suite s'il serait avantageux ou non de changer l'actuelle structure de données du module de maillage pour une structure similaire.

La seconde était l'amélioration d'un algorithme de maillage 2D : "quadrangles from medial axis" qui permet de découper en quadrangles des géométries modélisant des cours d'eau à partir de leurs axes médians. Il est notamment utilisé à EDF dans le cadre d'études en hydraulique à surface libre.

A l'heure actuelle il s'avère inefficace dans le cas de certaines géométries dont il est incapable de fournir les axes médians.

C'est ainsi que, durant le stage, j'ai été amenée à implémenter l'algorithme présenté par Ramanathan et Gurumoorthy dans "Constructing medial axis transform of planar domains with curved boundaries" qui permet de produire l'axe médian d'une forme 2D quelconque.

Ce stage avait un caractère pluridisciplinaire qui m'a particulièrement plu. En effet, il m'a permis d'améliorer mes connaissances en programmation informatique car le développement de la structure de données pour l'étude de réduction et l'algorithme de maillage ont été codés en C++. J'ai pu m'intéresser de plus près à la géométrie algorithmique et j'ai découvert de nouveaux logiciels informatiques comme l'IDE Eclipse, l'outil de compilation d'EDF : Yamm et surtout les codes sources à l'origine du logiciel SALOME dont j'avais déjà fait l'apprentissage pendant mon année de M2.

---

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

**EDF R&D**

Département Simulation et Traitement De l'information pour l'Exploitation des systèmes de Production (STEP) \*

**Responsables : Messieurs Edouard BUCHOUD et Guillaume BOULANT**

**Étudiante : Elisavet NASTOU**

**Sujet : Développement du Modèle Accompagnateur du projet VeRCoRs****Résumé :**

Dans le cadre de son activité de production d'énergie, le groupe EDF exploite un parc de 58 réacteurs nucléaires en France. Ces derniers sont âgés de 25 ans en moyenne, et ont été conçus dans l'optique de fonctionner pendant une trentaine d'années. Afin d'étudier les possibilités de prolongation de la durée de vie de ses réacteurs, EDF a entrepris la construction de VeRCoRs, une maquette à l'échelle 1/3 d'une enceinte de confinement de centrale nucléaire. Cette maquette ayant été conçue de manière à avoir un vieillissement accéléré, l'étude de sa structure doit permettre d'évaluer l'état du parc nucléaire français à différentes étapes de sa vie.

Afin d'évaluer le facteur de vieillissement thermomécanique, la maquette est instrumentée par des capteurs ponctuels classiques et des capteurs à fibre optique. Ces derniers permettent de mesurer la déformation et la température dans une fibre optique.

Pour assurer la collecte puis l'exploitation de l'ensemble des données autour de la maquette, un Système de l'Information a été mis en place en appui de la construction de la maquette, ce système est appelé le Système Accompagnateur Vercors (SAV).

Dans la première partie du stage, il fallait faire le lien entre les outils de stockage de données (SAV) et les outils de simulation numérique pour comparer les mesures avec les sorties des modèles. Cela permet de comprendre le comportement de la maquette.

La deuxième partie du stage a consisté à vérifier et valider le stockage des données. Le point important était la capitalisation des données des capteurs à fibre optique.

En plus, j'ai développé des algorithmes de traitement des données. Afin de mettre en place ces algorithmes, j'ai développé une interface graphique qui permet de faciliter l'accès au SAV et l'utilisation des données.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 6 Quai Watier, 78400 Chatou, France

**IBM**

Global Business Services \*

**Responsable : Monsieur Georges UZBELGER****Étudiant : Pedro PAEZ****Sujet : Aide au développement de solutions "data science"****Résumé :**

L'objectif de ce stage était de participer au développement des solutions "data science" pour des besoins "client". Dans tous les projets auxquels j'ai participé, les équipes ont fait appel à moi pour que je leur apporte des solutions analytiques. Les projets étaient tous en phase d'exploration.

Au début de mon stage j'ai examiné des solutions pour la prédiction des pannes de trains pour un constructeur ferroviaire. Dans un premier cas, on m'a demandé de prendre le relais sur des analyses de séquences de signaux de panne sous la responsabilité de l'équipe de conseil en charge. Ensuite, sur le conseil de mon tuteur, j'ai exploré une solution "machine learning" pour un problème similaire proposé par Challenge Data.

Dans la deuxième partie de mon stage j'ai commencé à travailler sur des sujets de solutions cognitives, en particulier avec des algorithmes de réseaux de neurones.

J'ai d'abord rejoint l'équipe des solutions cognitives Watson qui développe un moteur de recherche pour un magasin de matériaux de construction. Dans ce projet, mon rôle a été la lecture et l'exploration des méthodes et algorithmes utilisés dans le domaine de la compréhension du langage naturel, dont un modèle de réseaux de neurones. Un important travail de bibliographie a été effectué pour bien comprendre le fonctionnement du modèle Word2vec et des méthodes générales de la Recherche d'Information.

J'ai enfin participé à l'élaboration d'une solution de traitement d'images pour une application médicale. Pour ce projet, j'ai pu travailler avec une équipe qui développait une application de "tracking" des yeux. J'ai participé au déploiement d'une solution machine learning. Avant la fin de mon stage, nous avons réussi à implémenter une architecture de "réseau de neurones à convolution" pour déterminer la zone de l'écran fixée par l'utilisateur d'une tablette.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 17 Avenue de l'Europe, 92275 Bois-Colombes

**Orange Labs**

IMT/OLN/RNM/WTE/MADE \*

**Responsable : Monsieur Mohamed Kadhem KARRAY**

**Étudiante : Alix RICHARD**

**Sujet : Prédiction de la distribution spatiale de la QoS dans le sens montant (uplink) dans un réseau cellulaire**

**Résumé :**

Un réseau cellulaire est constitué d'un ensemble de stations de base qui assurent chacune le service dans une certaine zone de couverture appelée cellule. On s'intéresse à un certain nombre de paramètres de QoS (Quality of Service) définis sur chaque cellule, notamment le trafic, le trafic critique, la charge, le nombre d'utilisateurs et enfin le débit. Les mesures récupérées sur le réseau réellement déployé par Orange montrent une grande variabilité de ces paramètres entre les différentes cellules du réseau. Cela est dû à la géométrie variable des cellules sur le réseau réel ainsi qu'aux phénomènes d'interférence qui rendent les performances de chaque cellule interdépendantes.

L'objectif de mon stage était de caractériser cette disparité spatiale en uplink (i.e. sens de communication du mobile vers la station de base) en donnant des formules explicites pour les fonctions de répartition de ces paramètres QoS entre les différentes cellules avec comme donnée d'entrée une valeur de trafic moyen par cellule. Un tel objectif est utile pour les problématiques de dimensionnement de réseau.

Le réseau est modélisé avec des outils de géométrie stochastique. La localisation des stations de base est considérée comme la réalisation d'un processus ponctuel de Poisson dans le plan. Le fonctionnement des stations de base est modélisé par des files d'attente avec une discipline processor sharing multi-classes qui conduit à la définition des paramètres de QoS. L'interdépendance entre les performances de chaque cellule est prise en compte au travers d'un système d'équations reliant la charge de chaque cellule.

Après un travail de bibliographie, un de mes premiers objectifs a été d'effectuer des simulations du modèle sous Matlab et de réaliser le traitement de données provenant du réseau réel en 3G et en 4G. Les fonctions de répartition empiriques obtenues ont ensuite conduit à proposer une distribution lognormale pour le trafic et la charge, ce qui est le point de départ de l'approche analytique développée. Ces distributions sont caractérisées par leur moyenne et leur variance qui se déduisent de la valeur de trafic moyen prise comme paramètre d'entrée. Les formules analytiques pour les distributions des autres paramètres QoS découlent des deux précédentes. Dans un deuxième temps, afin de valider ces formules, il a fallu les comparer avec les résultats empiriques obtenus d'une part par les simulations du modèle et d'autre part par les données terrain. Cette étape s'est également faite avec Matlab.

Ce stage m'a permis de me familiariser avec les modèles probabilistes appliqués à la modélisation de réseau dans le secteur des télécommunications, et de développer mes compétences en programmation Matlab.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 44 avenue de la République 92320 CHATILLON

**Saint-Gobain Recherche**

Département "Couches Minces"\*

**Responsable : Monsieur Anis DJEDIDI****Étudiant : Gryshka BELHASSEN****Sujet : Apprentissage automatique d'un processus industriel****Résumé :**

Mon projet de fin d'étude s'est déroulé à Saint-Gobain Recherche, principal centre de recherche du groupe Saint-Gobain.

Au sein du département "Couches Minces", j'ai collaboré avec une équipe qui développe des outils d'aide à la décision pour les opérateurs en usine afin d'optimiser le processus de production.

Le problème se pose de la manière suivante : En usine, nous avons accès à un appareil ayant pour paramètres  $x_1, \dots, x_n$  que nous faisons varier, dans le but de réaliser un produit. Pour être certain que le produit est bien conforme aux spécifications, nous effectuons des mesures de qualité  $y$ . Cependant, en pratique, les produits étant complexes à réaliser, plusieurs tentatives sont nécessaires pour mettre au point le produit final désiré. Ces tentatives sont les corrections  $\Delta x_1, \dots, \Delta x_n$  à appliquer à la machine pour parvenir aux mesures cibles de qualité  $y_{cible}$ .

L'objectif de mon stage est de minimiser le temps de réalisation du produit, en réduisant le nombre de ces itérations.

Pour cela, deux approches ont été tentées, divisant ainsi mon stage en deux parties.

Dans une première partie, j'ai abordé le problème par des méthodes d'optimisation numérique en utilisant des techniques de régularisation permettant d'exploiter les corrélations existant entre les différents paramètres.

La seconde partie de mon stage a consisté à traiter le sujet comme un problème de régression, grâce à des outils d'apprentissage automatique. J'ai été amené à utiliser de nombreux algorithmes de *machine learning*, implémentés de telle sorte à résoudre au mieux notre problème.

Les résultats sont très encourageants et des tests en usine sont prévus pour une prochaine production.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 39 Quai Lucien Lefranc, 93300 Aubervilliers

**Université de Sherbrooke**

Faculté de génie \*

**Responsables : Messieurs Stéphane MOREAU et Yann PASCO**

**Étudiant : Amédée Costes**

## **Sujet : Contrôle actif du bruit de soufflante et modélisation de sources secondaires**

### **Résumé :**

L'objectif du stage a été de découvrir la problématique actuelle de réduction du niveau de bruit généré par les turbomachines, notamment aux phases de décollage et d'atterrissage des avions où le bruit de jet jusqu'alors source principale du bruit émis par les turbomachines est devenu beaucoup moins prépondérant en comparaison d'autres sources telles que le bruit de soufflante. Une des stratégies de réduction de bruit envisagée est le contrôle actif du bruit qui consiste à générer des ondes acoustiques par des sources dites secondaires qui vont interférer destructivement avec celles produites naturellement par la turbomachine, qui est dite source primaire, réduisant alors le niveau global de bruit. L'angle pris pour réaliser le contrôle actif a été d'utiliser la décomposition en valeurs singulières généralisée (GSVD) afin de cibler les principaux éléments qui contribuent à la génération du bruit.

Dans un premier temps, il a fallu réaliser un travail bibliographique afin de prendre connaissance de l'historique des systèmes de contrôle actif que se soit sur les aspects théoriques de mécanique ou de traitement du signal. La deuxième étape a été la compréhension des codes simulant le contrôle actif en fréquentiel et les algorithmes de contrôle en temps réel. Une fois qu'une certaine maîtrise des outils a été atteinte en plus d'une certaine compréhension théorique, le travail de recherche a commencé et a consisté en une étude paramétrique du contrôle actif.

Les premiers résultats obtenus ont montré que le contrôle effectué avec des dipôles plutôt que des monopoles s'avérait plus efficace avant qu'il apparaisse que les ressources nécessaires à leur utilisation sont trop importantes au regard du gain espéré. Finalement, après un certain temps d'étude, il s'est avéré qu'il est possible de palier drastiquement la contrainte imposée par les sources dipolaires en choisissant entre les deux types de source par des procédures d'optimisation.

Une expérience de contrôle actif par utilisation de la décomposition en valeurs singulières simple (SVD) et généralisée (GSVD) a pu être mise en place afin de vérifier expérimentalement l'intérêt théorique que présente la GSVD par rapport à la SVD. Cette expérience consistait à produire des ondes planes à une extrémité d'un tuyau et d'appliquer un contrôle actif avec des sources acoustiques positionnées à peu près au centre du tuyau afin d'atténuer le niveau de bruit en aval des sources en laissant le niveau de bruit en amont inchangé. L'application de la GSVD permet d'accomplir l'objectif tandis que la SVD, bien que réalisant une atténuation en aval des sources secondaires équivalente, échoue à laisser le niveau sonore en amont inchangé.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 2500 Boulevard de l'Université, Sherbrooke, QC J1K 2R1, Canada

**Institut de Recherche Technologique SystemX**

Ingénierie Systèmes \*

**Responsables : Madame Sarah JULISSON et Monsieur Paul DE NAZELLE**

**Étudiante : Idil DUSMEZ**

**Sujet : Développement et implémentation de critères d'optimisation de forme en isogéométrie. Application à la vibroacoustique des structures minces**

**Résumé :**

L'évaluation et la réduction du bruit est une problématique actuelle, notamment dans le secteur de l'automobile. Il existe de nombreuses sources de bruit dans un véhicule et pour garantir le confort de ses passagers, il est nécessaire de mesurer ce bruit et de le réduire.

Dans le cadre de ce stage, nous nous sommes intéressés en particulier à celui engendré par le groupe motopropulseur. En effet, le moteur génère la vibration de pièces autour de lui, qui sont majoritairement de faibles épaisseurs et que l'on appelle des coques minces. Leurs vibrations engendrent un brassage de l'air ce qui entraîne des variations de pression et donc le bruit perçu.

Le but était donc d'optimiser la forme des pièces de structures minces pour minimiser le rayonnement acoustique. Pour quantifier ce rayonnement, nous nous sommes référés à des critères acoustiques, comme la puissance acoustique et le facteur de rayonnement.

Notre objectif était d'implémenter ces critères acoustiques dans le cadre d'une méthode d'optimisation de forme basée sur le modèle de coques de KOITER et un paramétrage de la forme via son modèle CAO (Conception Assistée par Ordinateur).

Après une étude bibliographique, nous avons étudié le calcul de ces critères dans le cas général, puis dans le cas particulier des structures minces. Nous avons ensuite tenté une implémentation numérique de la méthode avec la bibliothèque BEM++ via son interface PYTHON. Finalement, une implémentation en FREEFEM++ a pu soulever les limitations rencontrées avec BEM++.

Les résultats que nous avons obtenus avec FREEFEM++ sont prometteurs et constituent une première étape vers l'industrialisation du processus d'optimisation proposé. Basée sur le modèle CAO, la méthode s'adapte à toutes les formes de faible épaisseur.

Ce travail a ainsi permis de prouver que l'optimisation de forme pour un critère acoustique était possible avec la méthode de paramétrage proposée.

---

\*. Adresse de l'entreprise : 8, avenue de la Vauve - 91120 Palaiseau

## Les étudiants de l'année 2015-2016

Nom	Prénom	Entreprise	Parcours	Page
AIT AMEUR	Katia	CEA	m	3
BEDIDI	Lilia	EDF R&D	m	4
BELHASSEN	Gryschka	Saint-Gobain Recherche	ps	11
BENSLIM	Ibrahim	Pollen AM	m	??
CICUREL	Jules	EDF R&D	ps	5
COSTES	Amédée	Univ. Sherbrooke	m	12
DETRUIT	Aurélien	EDF R&D	m	6
DUMEZ-TAPANOGLU	Idil	IRT SystemX	m	13
GUO	Lin	ENS Cachan	m	??
LANNOO	Priscilla	EDF R&D	m	7
NASTOU	Elisavet	EDF R&D	m	8
PAEZ	Pedro	IBM	ps	9
RICHARD	Alix	Orange	ps	10

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

Sigles des parcours :

MPE ps : Mathématiques Pour l'Entreprise - analyse numérique, calcul scientifique et probabilités, statistiques

MPE m : Mathématiques Pour l'Entreprise - analyse numérique, calcul scientifique et mécanique