

**AREVA T&D**

Service R&D<sup>1</sup>

**Responsable : Monsieur Frédéric HÉLIODORE**

**Étudiant : El hassan ALASSEN**

## **Sujet : Analyse de Risque et Fiabilité - Outils et Réseaux Électriques**

**Résumé :** Les réseaux électriques constituent des éléments clés pour assurer une alimentation fiable et de qualité en énergie électrique. Ces dernières années, ceux ci ont connu un accroissement considérable des interconnexions et ont été exploités au plus près de leurs limites de stabilité et de sécurité en raison des contraintes économiques et d'une opposition croissante à la construction de nouveaux ouvrages. La gestion de ces grands réseaux et, en particulier la coordination des systèmes de contrôle / commande est rendue difficile par effet de taille. Les perturbations inévitables, quelle que soit leur nature, peuvent amener le réseau à tout instant en dehors de sa zone de stabilité. Les exemples récents des différents blackout en sont une illustration patente.

Ainsi les pannes et incidents associés à un réseau électrique de grande taille (ou à des réseaux électriques) font l'objet d'études spécifiques d'ingénierie, en lien direct avec la conception et l'évolution de ceux-ci. En ce qui concerne les problèmes tels que l'effondrement de la tension, la congestion de réseaux ou le phénomène de blackout, c'est-à-dire ayant des conséquences à grande échelle, la complexité topologique du réseau électrique ne peut en être la seule cause et des paramètres tels que dérégulation et commerce énergétique tendent à amener le réseau dans ses conditions limites de fonctionnement. Dans ce contexte, la mise en place d'un axe Fiabilité et Analyse de Risques apparaît légitime. Cet axe vient s'agréger aux travaux déjà développés chez Areva-TD, relatifs à la caractérisation statistique des réseaux électriques.

Dans ce travail nous avons développé des outils liés à la Théorie des Valeurs Extrêmes dans le cas où les observations sont i.i.d et nous avons introduit l'Indice Extrémal. En effet, en gestions de risques, on ne s'intéresse pas à toute la distribution de probabilité d'une variabilité mais seulement aux valeurs extrêmes observées. Dans notre étude, cette variabilité est le nombre de consommateurs perturbés et la puissance électrique perdue. Étudier la modélisation de ces extrêmes ainsi que l'estimation des quantiles extrêmes requiert différents types de modèles. On a pu étudier le modèle GEV et le modèle à seuil (POT).

On a également introduit l'indice extrémal pour modéliser les valeurs extrêmes dans le cas où les données ne sont pas i.i.d. et prendre en compte les corrélations qui peuvent exister à court terme dans ces données. Avant d'appliquer les méthodologies de l'étude des extrêmes, un certain nombre de pré-traitement et statistiques descriptives sont faits sur nos données.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 9 rue Ampère, 91345 Massy Cedex

**EDF R&D**

Département OSIRIS, Groupe Fondamentaux des Marchés de l'Énergie<sup>1</sup>

**Responsable : Monsieur Alexandre KLEIN**

**Étudiante : Nadia BELHARRAT**

**Sujet : Placement optimal des capacités de production en multizones  
- Élaboration du module d'investissement Continental**

**Résumé :** L'objectif de ce stage a été d'étudier les choix optimaux d'investissement en production électrique sur la plaque européenne et élaborer un module d'investissement autour du logiciel Continental Model pour deux critères objectifs:

- Une minimisation des coûts de production par un monopole public.
- Une maximisation de la marge par un acteur privé qui peut être présent sur plusieurs zones.

Tout d'abord, le stage a consisté à aborder la problématique théorique des comportements en investissement des producteurs de l'électricité et à découvrir le vocabulaire du secteur de l'électricité puis, il a fallu se familiariser et comprendre le logiciel "Continental Model" développé au sein même du groupe.

Ensuite, j'ai établi une heuristique qui permet d'éliminer les cas non optimaux et réduire le nombre d'utilisations de Continental. Puis j'ai réalisé le module d'investissement pour les critères objectifs étudiés.

Enfin, j'ai implémenté le programme du module d'investissement avec le langage Python et j'ai proposé un choix de plusieurs options d'investissements. Le programme créé permet d'obtenir le parc optimal et les choix optimaux d'investissement. Les simulations effectuées ont donné des résultats révélateurs et en relation avec l'étude théorique.

J'ai ainsi pu remplir l'objectif de la mission et fournir un module d'investissement valide.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 1 avenue du Général De Gaulle, 92141 Clamart Cedex

**Institut Français du Pétrole (IFP)**  
Direction Géologie-Géochimie-Géophysique / Département Géophysique<sup>1</sup>  
**Responsable : Monsieur Michel LÉGER**  
**Étudiant : Driss BENMESSAOUD**

**Sujet : Découplage entre le maillage et la covariance en simulation géostatistique de réservoir**

**Résumé :** On utilise généralement des maillages structurés pour décrire la géométrie et les propriétés physiques des réservoirs. Les noeuds de ces maillages sont définis par leurs coordonnées cartésiennes  $(x, y, z)$  et numérotées par un triplet d'indices  $(i, j, k)$  dont l'ensemble constitue un parallélépipède rectangle. Actuellement, la géostatistique est définie dans le domaine  $(i, j, k)$ , et les simulations y sont calculées. Lorsque le maillage est compliqué à cause des failles, les simulations sont très déformées après leur retour dans le domaine physique  $(x, y, z)$ .

Pour éviter cet inconvénient, nous définissons les paramètres géostatistiques dans l'espace physique  $(x, y, z)$  : le type de covariance, généralement gaussien ou exponentiel, et les longueurs de corrélation, normale et tangente, avec une possible anisotropie tangentielle. Ensuite, nous transportons ces corrélations dans l'espace  $(i, j, k)$ . Comme nous calculons les simulations par transformée de Fourier inverse, ce qui implique une covariance constante, il nous faut combiner les différentes simulations obtenues avec la covariance définie en chaque noeud pour obtenir la simulation globale.

Nous avons étudié plusieurs exemples synthétiques qui démontrent qu'il est maintenant possible de contrôler les covariances dans l'espace physique, de manière cohérente avec les hypothèses géologiques que l'on peut faire sur le moment du dépôt, et ceci de manière indépendante du maillage.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison Cedex, [www.ifp.fr](http://www.ifp.fr)

**optoPartner<sup>1</sup>**

**Responsable : Monsieur Julius LAWSON DAKU**

**Étudiant : Lahcen BOUOJARARNE**

**Sujet : Comportement hydrodynamique d'un cristal liquide**

**Résumé :** optoPartner est une entreprise d'édition de logiciels scientifiques et de service informatique dans le domaine scientifique. Le stage rentre dans le cadre du développement d'un logiciel (LuCiD) de modélisation et de simulation d'afficheurs à cristaux liquides. Il a pour objectif de simuler le comportement hydrodynamique d'un cristal liquide soumis à une sollicitation électrique variable.

Le stage s'est déroulé en quatre étapes :

- familiarisation avec les outils de développement de l'équipe d'optoPartner.
- recherche bibliographique sur l'aspect physique du cristal comme état de la matière, et sur l'aspect technique et fonctionnel des afficheurs à cristaux liquides.
- établissement d'un modèle de simulation.
- mise au point d'un prototype, par le codage des différentes étapes de la méthode dans l'environnement de calcul numérique SCILAB, puis mise à l'épreuve sur deux cas tests typiques.

Ce stage m'a permis

- d'approfondir et de mettre en œuvre mes connaissances en mathématiques, physique et informatique.
- de découvrir le monde de l'entreprise et le sens du travail en équipe.
- de maîtriser plusieurs outils de développement.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 21F Rue Jacques Cartier, 78960 Voisins Le Bretonneux

**Centre National pour la Fonction Publique Territoriale**  
Service Observatoire<sup>1</sup>  
**Responsable : Madame Nadia RUSTAND**  
**Étudiant : Abdelhocine BRAHITI**

**Sujet : Enquête sur les emplois de direction dans les grandes collectivités de la fonction publique territoriale**

**Résumé :** L'objectif de ce stage a été de mener une étude sur les agents occupant un emploi de direction au 31 décembre 2005 dans les grandes collectivités pour mieux connaître les caractéristiques statutaires, socio-professionnelles et démographiques de ces emplois. Il s'agit également d'analyser l'évolution des effectifs de ces agents entre 2003-2005.

Dans un premier temps, il a fallu se familiariser avec les emplois de direction dans la fonction publique territoriale. Ensuite j'ai dû prendre possession du code déjà implémenté par des chargés d'études statistiques qui a permis de réaliser les études antérieures.

La première partie du stage consistait à importer, contrôler et coder les informations sur les emplois de direction sous SAS, afin qu'elles soient exploitables pour effectuer des traitements statistiques.

Par la suite, j'ai défini des codes SAS qui m'ont permis d'effectuer des traitements statistiques afin d'établir les principaux enseignements et les résultats détaillés sur les emplois de direction. Une analyse particulière sur les femmes a été réalisée afin de faire ressortir certaines particularités.

Pour faciliter la manipulation et la présentation des résultats, les sorties SAS ont été exportées sous des fichiers Excel. Des fiches Excel automatisées ont été créées et un rapport en format pdf sur les emplois de direction a été produit.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 10-12 rue d'Anjou, 75381 Cedex 8,  
<http://www.observatoire.cnfpt.fr/>

**Business effiScience<sup>1</sup>**

**Responsables : Messieurs Nicolas LEVILLAIN et Jean-Marc ROCHER**

**Étudiant : Nurim CANOVIC**

**Sujet : Analyste Business (conseil en stratégie)**

**Résumé :** Business effiScience intervient auprès des directions générales des grandes organisations pour les aider à définir et implémenter leurs stratégies opérationnelles d'optimisation de leur rentabilité et de minimisation de leurs risques.

L'utilisation d'algorithmes de conception révolutionnaire et simplement appréhendables, non statistiques, s'appuyant sur une méthodologie rigoureuse et éprouvée, permet de générer un impact très significatif et mesurable à court terme sur les résultats financiers de nos clients.

Dans le cadre de l'exécution des missions réalisées pour le compte de nos clients (grands groupes de l'industrie, de la banque, de l'assurance) auprès de leurs dirigeants, et sous la responsabilité des Directeurs de Missions (DM), l'analyste appréhende de manière fine les problématiques stratégiques, traite et pilote les phases d'analyse algorithmique et la construction des livrables Business effiScience. Le poste d'analyste nécessite une bonne culture économique et informatique (VBA et C++).

Ce parcours initiatique m'a donné un réel goût pour les approches quantitatives des problématiques stratégiques, ainsi qu'une expertise pointue en analyse des processus.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 13 Cours Valmy, 92977 La Défense

**EADS SODERN**

Étude de systèmes neutroniques<sup>1</sup>

**Responsables : Madame Isabelle PREVOT et Monsieur Philippe JEANNEAU**

**Étudiant : Alexandre COUQUET**

**Sujet : Spectrométrie gamma**

**Résumé :** Le CNA (Continuous Neutron Analyser), fabriqué à SODERN, répond au besoin de l'industrie cimentière de connaître en temps réel la composition précise du cru cimentier. Cette méthode propose une analyse en continu des 11 oxydes les plus importants du cru cimentier, avec une précision inférieure au pourcent. Cet analyseur utilise le principe de l'interrogation neutronique : la matière à analyser est bombardée avec des neutrons. La désexcitation des atomes de la matière produit ensuite des photons à différentes énergies caractéristiques de ces atomes. Après avoir détecté ces photons, l'électronique d'acquisition de l'analyseur délivre des histogrammes en énergie que l'on appelle des spectres. L'analyse de ces spectres permet de trouver grâce à une chaîne algorithmique les teneurs de la matière analysée.

L'objectif du stage est de tester une méthode d'estimation des performances de l'analyseur basée sur la création de spectres simulés.

Il a fallu d'abord se familiariser avec les notions de Physique du problème puis avec les algorithmes et les traitements que subissent les données. J'ai ensuite codé en MATLAB le programme permettant de construire les spectres simulés à partir d'une bibliothèque de spectres élémentaires et de résultats de calculs de Monte Carlo fournis par SODERN pour des mélanges de ciment connus.

On a ensuite cherché à comparer les spectres expérimentaux aux spectres simulés. Toute la chaîne algorithmique a été déroulée jusqu'au calcul des teneurs afin de comparer les performances obtenues à partir des spectres simulés à celles obtenues à partir des spectres expérimentaux.

La seconde partie du stage a consisté à étudier d'un point de vue statistique le bruit apporté par chaque étape du traitement algorithmique sur les spectres expérimentaux. Ce travail a permis d'identifier l'étape du traitement algorithmique qui dégradait le plus la répétabilité de l'analyseur.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 20 avenue Descartes, 94451 Limeil Brevannes Cedex

**AREVA T&D**

Service R&D<sup>1</sup>

**Responsable : Monsieur Frédéric HÉLIODORE**

**Étudiante : Fatoumata DIALLO**

**Sujet : Analyse de Risque et Fiabilité - Outils et Réseaux Électrique**

**Résumé :** Les réseaux électriques constituent des éléments clés pour assurer une alimentation fiable et de qualité en énergie électrique. Ces dernières années, ceux ci ont connu un accroissement considérable des interconnexions et ont été exploités au plus près de leurs limites de stabilité et de sécurité en raison des contraintes économiques et d'une opposition croissante à la construction de nouveaux ouvrages. La gestion de ces grands réseaux et, en particulier la coordination des systèmes de contrôle / commande est rendue difficile par effet de taille. Les perturbations inévitables, quelle que soit leur nature, peuvent amener le réseau à tout instant en dehors de sa zone de stabilité. Les exemples récents des différents blackout en sont une illustration patente.

Ainsi les pannes et incidents associés à un réseau électrique de grande taille (ou à des réseaux électriques) font l'objet d'études spécifiques d'ingénierie, en lien direct avec la conception et l'évolution de ceux-ci. En ce qui concerne les problèmes tels que l'effondrement de la tension, la congestion de réseaux ou le phénomène de blackout, c'est-à-dire ayant des conséquences à grande échelle, la complexité topologique du réseau électrique ne peut en être la seule cause et des paramètres tels que dérégulation et commerce énergétique tendent à amener le réseau dans ses conditions limites de fonctionnement.

Dans ce contexte, la mise en place d'un axe Fiabilité et Analyse de Risques apparaît légitime. Cet axe vient s'agréger aux travaux déjà développés chez Areva-TD, relatifs à la caractérisation statistique des réseaux électriques. Dans ce stage, j'ai concentré mes efforts sur les points suivants :

- État de l'art sur les techniques associées à la fiabilité et l'analyse de risques,
- Développement de l'analyse univariée et multivariée,
- Application sur données électriques réelles et des benchmarks.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 9 rue Ampère, 91345 Massy Cedex



**Dassault-Aviation**

Direction Technique Ingénierie de l'Avion et des Emports<sup>1</sup>

**Responsables : Messieurs Nicolas FLANDRIN et Jean-Pierre FIGEAC**

**Étudiant : Wissam HASSAN**

**Sujet : Adaptation de maillages volumiques Euler et Navier-Stokes en aérodynamique**

**Résumé :** Dassault-Aviation est un groupe industriel aux composantes multiples, et aux activités diversifiées dans plusieurs domaines de hautes technologies. La vocation première du groupe est d'assurer la conception et le développement, la production, la vente et le soutien d'avions militaires et d'avions d'affaires.

Dans le domaine des simulations numériques, la précision de la solution dépend de la qualité des maillages. L'adaptation de maillages doit permettre de réduire le coût du calcul et d'atteindre la solution numérique à la précision souhaitée en modifiant la discrétisation du domaine. Le but du stage était de mettre en place une chaîne fonctionnelle d'adaptation de maillages automatique pour la mécanique des fluides.

Dans un premier temps, des recherches sur les différentes techniques d'adaptation de maillages volumiques ont été menées. L'approche retenue pour l'adaptation est l'utilisation d'un champ de métriques construit à partir d'un estimateur d'erreur géométrique basé sur une approximation du hessien de la solution.

Après cet important travail de documentation, différentes techniques d'adaptation et de méthodes de calcul de grandeurs caractéristiques ont été codées (évaluation de la matrice hessienne et du gradient, calcul de valeurs et de vecteurs propres, intersection et interpolation de métriques,...). De plus, les recherches personnelles que j'ai effectuées ont permis d'utiliser des techniques de traitement d'images pour améliorer les résultats obtenus avec cette chaîne d'adaptation.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 78 quai Marcel Dassault, 92210 Saint-Cloud

**CEA Grenoble**

Laboratoire Spintec<sup>1</sup>

**Responsable : Monsieur Jean-Christophe TOUSSAINT et Madame  
Liliana BUDA-PREJBEANU**

**Étudiant : Evaggelos KRITSIKIS**

**Sujet : Modélisation de la dynamique de l'aimantation**

**Résumé :** L'objectif de ce stage a été de mettre en place plusieurs méthodes de calcul éléments finis du champ magnétostatique créé par l'aimantation d'un système ferromagnétique. Dans un premier temps, il a fallu implémenter l'idée de D.R. Fredkin qui consiste à ramener à distance finie les conditions de Dirichlet à l'infini satisfaites par le potentiel, par une méthode de perturbation ; il suffit ensuite de résoudre un laplacien sur un maillage interne du système. On élimine ainsi les effets de taille infinie inhérents aux techniques de "maillage dans le vide" utilisées par ailleurs.

L'approche la plus novatrice a consisté en un calcul direct du potentiel utilisant son expression comme convolution des charges magnétiques par une fonction de Green. La singularité de celle-ci cause des problèmes d'intégration numérique qu'il a fallu résoudre, y compris en trouvant des corrections analytiques locales. Enfin la complexité quadratique de ce calcul a été réduite à  $O(N \log N)$  grâce à une implémentation de la théorie moderne des FFT hors-réseau.

Pour se familiariser avec celle-ci et les techniques de lissage associées, un important travail de bibliographie a été effectué. Les résultats montrent dans tous les cas une précision excellente ; c'est la dernière méthode, la plus rapide, qui ouvre le plus de perspectives pour les calculs dynamiques du micromagnétisme.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 17 rue des Martyrs, 38054 Grenoble

**Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC)**

Division Physico-Chimie des Matériaux (PCM)<sup>1</sup>

**Responsables : Messieurs Karim BENZARTI et Pierre ARGOUL**

**Étudiante : Mireille LAGARDE**

**Sujet : Modélisation de l'endommagement dans les assemblages collés  
- identification des paramètres par approche inverse**

**Résumé :** L'objectif de ce stage a été d'optimiser les paramètres du modèle d'endommagement des assemblages collés afin de minimiser l'écart entre les données expérimentales et la simulation obtenue avec le logiciel CESAR du LCPC, et ce au moyen d'une approche inverse.

Dans un premier temps, il a fallu filtrer les données du fichier résultats de CESAR afin de les traiter avec MATLAB. J'ai dû également modifier le fichier de données d'entrée du logiciel pour initialiser et contrôler le calcul de simulation à partir de MATLAB.

Un important travail de bibliographie a été effectué sur l'optimisation non-linéaire et sans contraintes. J'ai principalement étudié les méthodes itératives basées sur la méthode de Newton, adaptées aux problèmes non-linéaires par une approche différences finies (quasi-Newton). Une alternative aux méthodes de gradient a aussi été étudiée : la méthode directe de Nelder-Mead de type simplexe.

Les résultats obtenus montrent, dans le cadre de notre problème, l'efficacité de la méthode de Nelder-Mead qui de plus, est plus facile d'utilisation que les méthodes de gradient. Elle nous a permis de trouver des valeurs précises pour la rigidité, la viscosité, et le seuil initial d'endommagement de la colle, trois paramètres acteurs de l'endommagement des assemblages collés.

Cette méthode ou d'autres méthodes déterministes (ou bien stochastiques) pourront être utilisées pour optimiser les paramètres supplémentaires du modèle sans pour autant allonger exagérément le temps de calcul, déjà très important à cause de la simulation. En effet, ces méthodes présentent une structure algorithmique adaptée à l'emploi des architectures parallèles.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 58 boulevard Lefebvre, 75732 Paris Cedex 15

**Institut Français du Pétrole (IFP)**  
Direction Technologie, Informatique et Mathématiques Appliquées<sup>1</sup>  
**Responsables : Monsieur Quang-Huy TRAN et Madame Delphine SINOQUET**  
**Étudiant : Hoël LANGOUËT**

**Sujet : Optimisation multi-objectifs pour la calibration des moteurs**

**Résumé :** L'objectif de ce stage est d'évaluer et développer des techniques d'optimisation adaptées au problème de la calibration moteur, lequel consiste à rechercher les réglages du moteur optimaux en terme de consommation de carburant, de pollution, de performance et d'agrément de conduite. Comme on a affaire à plusieurs critères en même temps, on est amené à formuler ce problème sous la forme d'une minimisation multi-objectifs sous contraintes. En effet, nous sommes intéressés par les différents compromis entre les objectifs.

Un important travail de bibliographie a été effectué sur l'optimisation multi-objectifs, la prise en compte des contraintes, ainsi que les algorithmes évolutionnaires multi-objectifs. La méthode retenue est l'algorithme d'optimisation MO-CMA-ES (Multi-Objective - Covariance Matrix Adaptation - Evolution Strategy) qui est une méthode d'optimisation multi-objectifs globale très performante particulièrement efficace pour l'optimisation multi-objectifs sous contraintes.

Les premiers résultats obtenus sur des cas tests présentant différents types de contraintes de l'application réelle permettent d'obtenir l'optimalité du front de Pareto sous réserve d'un traitement des contraintes plus judicieux que nous proposons.

Ensuite, le MO-CMA-ES a permis d'obtenir de nombreux compromis entre les objectifs visés pour l'application réelle de calibration moteur. En particulier cette méthode permet d'atteindre des points situés dans les parties concaves du front de Pareto, qui ne pouvaient être trouvés par la méthode actuelle, ce qui améliore l'aide à la décision du motoriste.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison Cedex, [www.ifp.fr](http://www.ifp.fr)

**INRIA Futurs**

LRI (Laboratoire de Recherche en Informatique)<sup>1</sup>

**Responsable : Madame Anne AUGER**

**Étudiant : Nikolas MAUNY**

**Sujet : Développement d’une plate-forme pour l’évaluation d’optimiseurs et évaluation des performances de l’optimiseur par essais particuliers (OEP)**

**Résumé :** L’accroissement des puissances de calcul ces 20 dernières années a permis le développement de méthodes d’optimisation de plus en plus complexes. Parmi ces méthodes, les algorithmes évolutionnaires (ou génétiques) ont une place centrale. Ils constituent des optimiseurs s’appliquant à des classes très larges de problèmes les rendant très attractifs pour traiter des problèmes industriels.

Une des problématiques qui se pose à l’heure actuelle est l’évaluation des performances de ces différentes méthodes d’optimisation. La complexité de ces méthodes les rendant difficilement analysables théoriquement, il est essentiel de développer des outils permettant de tester et valider numériquement les méthodes sur des problèmes tests.

Le but de ce stage était de développer une plate-forme visant à faciliter et généraliser l’évaluation des performances de différents algorithmes d’optimisation stochastiques et déterministes. Puis d’automatiser le traitement des données par rendus graphiques et interface statistique. Les tests utilisés sont issus de travaux récemment développés dans le cadre de la conférence “Congress on Evolutionary Computation” dans le but de comparer des optimiseurs évolutionnaires.

En parallèle, des tests comparatifs ont été réalisés entre l’optimiseur EOP et CMA-ES (Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy). Ceci a permis de mettre en évidence et d’illustrer les faibles performances de l’optimiseur OEP pour des problèmes mal conditionnés et de présenter le fait qu’il exploite la séparabilité des problèmes.

Le développement de la plate-forme va être poursuivi pour intégrer la notion de modularité de branchement des optimiseurs (plugin), et, suite aux résultats sur EOP, un article sera publié.

---

<sup>1</sup>Adresse de l’entreprise: Université de Paris-Sud 11 - Bâtiment 490 - 91405 Orsay Cedex

**EDF R&D**

Département AMA<sup>1</sup>

**Responsable : Monsieur Damijan MARKOVIC**

**Étudiant : Charles PARAÏSO**

**Sujet : Développement et implantation numérique des éléments finis pour la modélisation des coques non-lisses en statique et en dynamique**

**Résumé :** En raison de l'abondance des structures élancées (poutres, plaques, coques, etc.) dans les applications pratiques des ingénieurs civils et des mécaniciens, le développement d'éléments finis (EF) adaptés est toujours une source d'intérêt pour les chercheurs du domaine de la mécanique. Les avantages des éléments de structures par rapport aux éléments 3D des solides sont nombreux. Ce stage que j'ai effectué à EDF dans l'équipe T62 du groupe AMA avait pour objectif de travailler à l'amélioration des éléments plaques du Code Aster, pour des problèmes membranaires sur des structures élancées couplées (poutre-plaque, plaque-poutre, etc....).

Pour cela il fallait avant tout comprendre la nécessité d'utiliser, dans certaines situations, les rotations autour de la normale de la structure. L'inconvénient est que la prise en compte du phénomène physique qu'est la déformation membranaire, due aux rotations autour de la normale aux éléments plaques dans la théorie, implique l'introduction d'un paramètre coercif  $\gamma$ . Ce paramètre  $\gamma$  est par ailleurs fortement influent sur la rigidité de la structure.

Dans un premier temps afin de pouvoir coder, on a écrit le problème sous forme matricielle, et identifié les coefficients liés à cette rotation. Après le codage informatique il a fallu construire et modéliser des problèmes sur structures couplées. Pour finir on a cherché à comprendre la signification physique du paramètre coercif pour mieux l'estimer, sachant que du choix de celui-ci dépendent fortement les résultats. En observant les premiers résultats obtenus en statique, on remarque que lorsque la valeur du paramètre est trop petit, le couplage n'est plus réalisé. Lorsque  $\gamma$  est trop grand le couplage se comporte comme une sorte de liaison d'encastrement. C'est pour  $\mu = \gamma$  que le couplage donne les meilleurs résultats sur ce type de structures. En dynamique, une étude des modes propres montre que si on prend  $\mu = \gamma$ , on observe des décalages de modes propres même si le modèle réduit d'une structure couplée donne qualitativement une bonne modélisation des déformations. Ces décalages peuvent entraîner des analyses totalement erronées dans le régime transitoire.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 1 avenue du Général De Gaulle, 92141 Clamart Cedex

**EDF R&D**

Département AMA<sup>1</sup>

**Responsables : Messieurs Patrick MASSIN et Samuel GENIAUT**

**Étudiante : Caroline PERNET**

**Sujet : Contact frottant avec X-FEM**

**Résumé :** Classiquement, le calcul par éléments finis d'une structure fissurée nécessite la création d'un maillage respectant la présence de la fissure et donc d'un remaillage continu pour suivre la fissure lors de sa croissance. A l'heure actuelle, la gestion de maillage 2D/3D pour des structures complexes est extrêmement coûteuse et la robustesse de cette gestion n'est pas parfaite. De plus, pour chaque cas de figure étudié (nouvelle orientation de la fissure, nouvelle taille), le maillage doit être recréé.

L'approche X-FEM est une nouvelle technologie numérique qui permet d'insérer dans un maillage éléments finis une surface de discontinuité sans changer le maillage et ce, quelle que soit la position de la fissure.

Dans le calcul, la représentation de la fissure et sa croissance sont gérées par la technique dite des level sets.

L'objectif principal du stage est le traitement du frottement (par une méthode lagrangienne) pour les éléments X-FEM.

Après implantation de la formulation du contact dans le Code\_Aster, on a pu observer sa non-stabilité se traduisant par l'apparition d'oscillations. Certains problèmes où des points sont en contact glissant ne peuvent être résolus.

En effet, la transition entre une zone de décollement et de contact glissant ne peut pas être représentée correctement avec les relations imposées entre les semi-multiplicateurs de frottement. C'est dans le cadre de ce stage que nous allons tenter de résoudre ce problème.

Afin de mettre en évidence les limitations actuelles liées à la transition de zones décollée - glissante, un cas-test comportant différents états de contact (décollement, contact glissant, contact adhérent) a tout d'abord été mis en place. Nous avons choisi un cas d'écrasement d'un lopin sur un bâti rigide. Pour cela, il a d'abord fallu implanter dans le code le calcul des seconds membres dus à l'imposition d'une pression sur des éléments de bord 2D fissurés. Ces développements ont été restitués, c'est-à-dire intégrés à la version actuelle de Code\_Aster, après validation et rédaction de la documentation associée. La recherche des causes des problèmes actuels a permis la correction de certaines erreurs dans l'écriture de la formulation du contact frottement, ainsi que dans sa mise en place informatique.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 1 avenue du Général De Gaulle, 92141 Clamart Cedex

**Sinopia**  
Départements Recherche et Gestion-action<sup>1</sup>  
**Responsables : Madame Sandrine LARDIC**  
**et Monsieur François DOSSOU**  
**Étudiant : Pablo Winant**

**Sujet : Le risque asymétrique et les betas asymétriques**

**Résumé :**

Les gérants actions sont intéressés par l'éventuelle possibilité de construire des portefeuilles d'action ayant des propriétés de résistance aux fortes baisses du marché. Ces propriétés sont désignées de façon générique par le terme de "bêtas asymétriques" d'où le sujet du stage.

Mon travail s'est articulé autour de deux approches différentes :

- voir si une mesure du risque asymétrique, convenablement définie est diversifiable sur un univers d'action
- trouver des critères permettant de quantifier l'asymétrie des co-mouvements d'une actions avec le marché

Ce travail s'est principalement fait sur la base des résultats académiques.

Contrairement à certaines conclusions de la littérature, on a trouvé que les mesures asymétriques ne forment pas un critère diversifiable sur les univers des actions de l'indice MSCI Europe et sur des indices par pays.

A l'inverse, il est apparu que certaines mesures des co-mouvements, notamment les probabilités de chuter avec le marché font apparaître clairement des asymétries documentées dans la littérature, notamment l'augmentation des co-mouvement pour les risques extrêmes et des co-mouvements plus forts pour les baisses que pour les hausses.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: Immeuble Île de France, 4 place de la Pyramide, la Defense 9, 92800 Puteaux, France



**Nom de l'entreprise**  
Business effiScience<sup>1</sup>

**Responsables :** Monsieur Nicolas LEVILLAIN et Monsieur Jean-Marc ROCHER  
**Étudiant :** Nurim CANOVIC

**Sujet :** Analyste chez Business effiScience

**Résumé :**

L'objectif de ce stage a été pour moi d'apprendre le métier d'analyste principalement à travers deux projets pour un groupe d'assurance dont j'ai en grande partie assumés la responsabilité opérationnelle.

Dans un premier temps, il m'a fallu me familiariser avec les différents outils de l'entreprise, notamment le logiciel **Hypercube**.  
L'environnement de travail d'un analyste est Excel/VBA.

Le but de la technologie Hypercube est principalement de tenter d'expliquer des phénomènes globaux à partir de leur comportements locaux.  
C'est une technologie d'exploration de données basée sur des algorithmes de nouvelle génération, non statistiques.

Le travail de l'analyste consiste en grand partie à assurer la préparation des données Excel que nous envoio le client (vérification de la cohérence des valeurs, présence de valeurs aberrantes, création de variables recombinaées plus pertinentes pour l'étude, suppression de variables qui veulent dire la même chose mathématiquement à l'aide des décorrélations, etc....) avant d'appliquer la technologie Hypercube sur ce tableau de données.

Cela a été mon travail en particulier durant les 2 projets pour un groupe d'assurance auxquels j'ai participé.

Dans le premier projet, nous cherchions grâce à Hypercube à trouver les profils des clients qui quittaient ce groupe d'assurance en cours d'année 2006.

Dans le second projet, nous cherchions, toujours grâce à Hypercube, à trouver les profils des clients qui achetaient des contrats actifs chez ce groupe en plus de celui ou ceux qu'ils avaient déjà, durant l'année 2006.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 13 Cours Valmy 92977 La Défense

**Dassault Systèmes**

Département SIMULIA, service Maillage Eléments Finis<sup>1</sup>

**Responsable : Monsieur Philippe HRYCAJ**

**Étudiante : Anne ROUVELLAT**

**Sujet : Topologie pour le maillage surfacique**

**Résumé :** Dassault Systèmes est le leader mondial sur le marché des solutions logicielles de gestion de cycle de vie des produits s'appuyant sur la puissance de la représentation en trois dimensions. Ces logiciels permettent aux entreprises de concevoir et développer leurs produits industriels en disposant d'une vision en 3D de l'ensemble du cycle de vie du produit, depuis sa conception initiale jusqu'à sa maintenance.

SIMULIA, l'un des produits de Dassault Systèmes, permet la simulation comportementale d'objets 3D.

Effectué au sein de l'entité SIMULIA, dans l'équipe maillage, mon stage avait pour objectif d'améliorer un des algorithmes situés à la base de la simulation : celui de la simplification topologique.

L'analyse des maillages objectifs, fournis par certains clients, a été la première étape du stage. En effet, la comparaison entre le résultat actuel et celui souhaité par les clients a été indispensable pour comprendre les enjeux de ce nouvel algorithme.

Après cette première étude, j'ai pu implémenter en C++ sous Visual Basic une autre technique de simplification topologique basée sur des nouveaux opérateurs géométriques.

Les premiers résultats obtenus sont assez satisfaisants, qualitativement parlant. Cependant, il reste encore quelques anomalies : l'exécution est plus lente due à la rigueur de ce nouveau code et, de plus, l'algorithme n'est pas assez robuste puisqu'il manque encore de fiabilité en vue d'une industrialisation. Ce qui fera le sujet d'un nouveau stage.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 9 quai Marcel Dassault, 92150 Suresnes

**EADS APSYS**

Pôle Logiciel<sup>1</sup>

**Responsable : Monsieur Emmanuel ARBARETIER**

**Étudiant : Samir SALMI**

**Sujet : Optimisation des stocks**

Durant mon stage j'ai travaillé sur le logiciel SIMLOG qui permet d'assister le logisticien dans la mise en place des éléments du soutien logistique, pour un ou plusieurs systèmes réparables de haute technologie. Ce logiciel comporte trois modules applicatifs articulés autour d'un noyau central : OTIM-STOCK, COST et LORA.

Le module OPTIM-STOCK permet d'effectuer des optimisations Coût/Disponibilité opérationnelle des stocks de pièces de rechange initiales. L'algorithme d'optimisation de stocks initiaux utilisé dans ce module est très long dans le cas des gros modèles.

Le premier objectif de mon stage a donc été de trouver un algorithme plus rapide. La méthode que j'ai proposée est d'abord d'estimer les objectifs de disponibilité de chaque composante du système qui permettraient d'atteindre l'objectif de disponibilité du système d'une façon optimale. Puis on utilise l'algorithme initial de SIMLOG pour calculer les stocks qui satisfassent l'objectif de disponibilité estimé de chaque composante. Cette méthode permet de diviser le temps de calcul par le nombre de composantes du système. Les tests réalisés sur un modèle classique ont donné des résultats plus satisfaisants par rapport à l'algorithme initial.

Le deuxième objectif de mon stage a été de calculer le temps moyen de disponibilité et d'indisponibilité d'un système en redondance froide puis chaude, par la méthode de chaîne de Markov. Le travail consistait principalement à construire la matrice de transition et à résoudre de façon analytique le système linéaire associé à la matrice de transition. Ce calcul permet de mesurer l'impact de l'augmentation du nombre d'éléments dans le système sur le temps moyen d'indisponibilité du système.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 22 quai Galliéni, 92158 Suresnes Cedex

**Institut Français du Pétrole (IFP)**

Direction Technologie, Informatique et Mathématiques Appliquées<sup>1</sup>

**Responsable : Monsieur Jean-Marc GRATIEN**

**Étudiant : Albert SAVARY**

**Sujet : Test et validation de la version 64 bits d'OpenFlow**

**Résumé :** J'ai réalisé mon stage à l'IFP. L'IFP est un institut de recherche appliquée sur les hydrocarbures et les nouvelles technologies énergétiques. Le but de mon stage est de tester la versions 64 bits d'OpenFlow en utilisant PumaFlow. OpenFlow est une plate-forme développée par l'IFP. PumaFlow est un logiciel qui simule un écoulement triphasique en trois dimensions dans un milieu poreux. Ce logiciel sert à modéliser des réservoirs pétroliers. L'idée est de montrer l'importance de la version 64 bits pour des modèle de réservoirs comprenant un grand nombre de mailles.

J'ai commencé par me documenter sur la modélisation des réservoirs de l'IFP. Puis j'ai réalisé l'installation dans un environnement 64 bits d'OpenFlow et de PumaFlow. Ensuite j'ai testé la version 64 bits en parallèle avec plusieurs cas de réservoirs. Enfin j'ai comparé les résultats.

Faute de temps, mes résultats n'ont pas montré l'importance de la version 64 bits pour des cas volumineux. Des travaux complémentaires restent à faire par l'IFP pour valider la versions 64 bits d'OpenFlow.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison Cedex, [www.ifp.fr](http://www.ifp.fr)

**Institut Français du Pétrole (IFP)**  
Direction Ingénierie de réservoir<sup>1</sup>  
**Responsable : Monsieur Marc FLEURY**  
**Étudiant : Jawed SOUALEM**

**Sujet : Résolution numérique d'équations intégrales de Fredholm -  
Traitement du signal RMN**

**Résumé :** Le traitement de signaux issus d'expériences de Résonance Magnétique Nucléaire (R.M.N) en pétrophysique repose sur la résolution d'équations intégrales de Fredholm de première espèce. La résolution numérique de ces équations intégrales est un problème mal conditionné et justifie l'usage d'une méthode de régularisation de Tikhonov afin de rendre la solution moins sensible aux bruits expérimentaux. La méthode d'optimisation actuellement utilisée dans le logiciel de traitement du signal de l'IFP M.E.A. (Multi-Exponential Analysis), est difficilement applicable à deux dimensions à cause de temps calcul prohibitif. Le travail demandé consistait à :

- développer une méthode de résolution rapide basée sur la décomposition en valeurs singulières de matrices.
- adapter cette méthode pour résoudre les problèmes à deux dimensions.

Des tests de ces deux méthodes sur des signaux synthétiques et expérimentaux ont également été réalisés.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison Cedex, [www.ifp.fr](http://www.ifp.fr)

**AXA France Solutions**Direction Comptes et Analyse Financière<sup>1</sup>**Responsables : Mesdames Maude MARTIN et Sabrina DE LEONARDIS****Étudiant : Jean-Michel THACHINAMURTHI****Sujet : Étude des garanties de fidélité**

**Résumé :** Leader sur le marché français de la protection financière, AXA France présente en 2006 un chiffre d'affaires de 79 Milliards d'euros. Dans l'organisation de ce groupe, l'entité AXA France Solutions est en charge de la conception, de l'évolution et du suivi des produits.

Dans le cadre de mon stage de fin d'études, j'ai ainsi intégré l'équipe Comptes et Analyse Financière. Cette unité est responsable de la réalisation des comptes techniques et financiers de la société, ainsi que de la maîtrise des risques relatifs aux engagements pris par la société auprès des assurés. L'audit des comptes étant des plus rigoureux dans ce secteur, de nombreuses études et outils sont mis en œuvre pour une plus grande fiabilité et un gain de temps dans l'établissement des comptes.

C'est dans ce contexte que j'ai été chargé du sujet des garanties de fidélité sur les produits d'épargne. Les garanties de fidélité, commercialisées sur quelques produits d'épargne, contribuent à une rémunération supplémentaire du contrat dans le cas où l'assuré respecte les engagements pris à la souscription. Élément important de marge et représentant un risque financier, ces garanties font l'objet d'études spécifiques lors des arrêtés de comptes.

Outre la compréhension du fonctionnement technique des produits étudiés, un de mes premiers objectifs consistait en l'automatisation du traitement d'analyse de marge. Après analyse du processus existant faisant appel à Excel, Access et SAS, une phase d'optimisation de chaque étape du traitement a permis d'élaborer un nouveau processus uniquement sous SAS.

De façon identique, le traitement de la fiscalité des garanties de fidélité a été automatisé, donnant lieu à un nouvel outil sous SAS. Ce processus permet de calculer les provisions qu'AXA devra réintégrer à l'assiette fiscale dans les années futures. En effet, celle-ci doit prendre en compte toutes les pertes anticipées de bonus de fidélité, liées au non respect des engagements des assurés. A cet effet, une modélisation des lois de chutes a été mise en place.

Mon étude et mes outils seront utilisés pour les prochains arrêtés de comptes.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 313 Terrasses de l'Arche, 92727 Nanterre Cedex

**Institut Français du Pétrole (IFP)**  
Département de Géomécanique<sup>1</sup>  
**Responsable : Monsieur Guillaume SERVANT**  
**Étudiant : Abou-Bakar TRAORE**

**Sujet : Modélisation poro-mécanique du procédé SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage)**

**Résumé :** Le procédé SAGD est dédié à la récupération des huiles visqueuses dans les sables. Il consiste en un doublet de puits horizontaux. De la vapeur est injectée dans un puits injecteur, situé au-dessus du puits producteur, afin de chauffer le milieu et de diminuer la viscosité de l'huile. L'huile est alors récupérée au puits producteur. Les effets géomécaniques sont particulièrement prononcés dans ce type de procédé : très rapidement, le sable présente un caractère dilatant. Pour optimiser par la simulation un tel procédé, il est important de modéliser les effets mécaniques associés aux variations de pression et de température.

La modélisation du procédé SAGD nécessite une approche dite partiellement couplée utilisant un code géomécanique et un code de réservoir conventionnels. Le but de ce stage est de mettre en place et d'interpréter les résultats de modélisation couplée du procédé SAGD. Les problèmes de mécanique et d'écoulement seront résolus séparément pour chaque pas de temps, mais des données entre les deux simulateurs sont échangées, de manière itérative et jusqu'à convergence.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison Cedex, [www.ifp.fr](http://www.ifp.fr)

**Saint-Gobain Recherche**  
Groupe Physique de la Fusion<sup>1</sup>  
**Responsable : Monsieur Jérémie Tâche**  
**Étudiant : Yann VAITILINGOM**

**Sujet : Simulations couplées de procédés verriers**

**Résumé :** Aujourd'hui, la simulation numérique d'un four verrier se déroule par la simulation séparée de ses deux grands sous domaines : le laboratoire et le bain de verre, séparés par une surface commune : la surface du bain de verre. L'objectif de ce stage est la mise au point de méthodes pour coupler thermiquement les calculs de bain de verre et du laboratoire sous Fluent (code industriel de CFD), par échange de conditions aux limites de nature thermique (température, etc.), appliquées à l'interface de couplage (la surface du bain de verre) de chacun de ces sous domaines.

Après la prise en main du code Fluent et de la synthèse des méthodes de couplage existantes à Saint-Gobain Recherche, j'ai mis en place une liste de spécifications fonctionnelles d'un coupleur (programme informatique) pour la gestion du calcul couplé. Ces spécifications englobent certaines spécificités des autres méthodes existantes, avantageuses pour le calcul couplé.

Le développement du coupleur s'est déroulé en deux étapes : l'élaboration des routines écrit en langage PERL pour la gestion du couplage et celui d'une interface graphique écrit en langage JAVA, pour la saisie des paramètres d'initialisation et le pilotage du calcul couplé.

Enfin, ce stage s'est terminé par une campagne d'évaluation du coupleur sur un cas de four verrier simplifié sous différents types de couplages thermiques imposés sous forme de conditions limites à l'interface.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 39 quai Lucien Lefranc, BP 135, 93303 Aubervilliers Cedex



**Institut Français du Pétrole (IFP)**

Direction Ingénierie de réservoir - Département Simulations des écoulements et transferts en milieux poreux<sup>1</sup>

**Responsable : Monsieur Didier DING**

**Étudiant : Armand WAMY**

**Sujet : Étude des méthodes d'optimisation adaptées au problème du placement de puits non-conventionnels**

**Résumé :** Mon stage de fin d'études effectué à l'IFP avait pour objectif principal de comparer l'algorithme génétique et le CMA-ES (Covariance Matrix Adaptation - Evolution Strategy), méthode de la famille des algorithmes évolutionnaires. Il s'inscrit dans l'optique de la recherche de techniques réduisant les temps CPU actuellement nécessaires à la détermination de la configuration optimale d'un puits permettant de maximiser la production d'hydrocarbures.

La première partie du stage ( $\sim 3$  semaines) fut axée sur la bibliographie, tant au niveau du domaine pétrolier que des travaux réalisés précédemment à l'IFP. J'ai donc eu l'occasion d'étudier en profondeur l'algorithme CMA-ES ainsi que le GA tout en prenant connaissance de la problématique.

La découverte des programmes utilisés pour l'optimisation basée sur l'algorithme génétique a constitué la seconde étape de mon stage. J'ai donc pu mieux comprendre le fonctionnement de l'algorithme. Cela m'a ainsi aidé à implémenter le CMA-ES en vue notamment de l'intégrer au simulateur de réservoir de l'IFP. J'ai ensuite effectué une première série de tests sur l'*Indice de Productivité numérique* ( $IP_{num}$ ). Ils m'ont permis de déceler certaines imperfections et problèmes qui m'ont amené à modifier le GA et le CMA-ES.

Une fois ces problèmes réglés, et après avoir adapté les méthodes pour un cas quelconque (1 ou plusieurs puits avec ou sans branche latérale), la comparaison des 2 méthodes s'est poursuivie, avec pour fonction objectif l'*Indice de Productivité champs* ( $IP_{champs}$ ). Parallèlement à cela, j'ai testé les indices de productivité sur des types de puits différents afin d'observer le comportement des 2 algorithmes (et plus particulièrement du CMA-ES) sur des cas un peu plus complexes (1 puits + 1 latéral = 18 variables, 20 puits = 120 paramètres...).

J'ai pu ensuite étudier les corrélations de ces indices de productivité avec le *NPV* (*Net Present Value*), réel enjeu de notre problème. En effet, c'est "la véritable fonction" à optimiser, qui détermine la notion de "bon ou mauvais placement" d'un puits. J'ai enfin élaboré des tests de sensibilité, aussi bien pour le GA que pour le CMA-ES, afin de mieux déterminer les facteurs entraînant l'amélioration (ou la régression) des performances de chacun des algorithmes. Les résultats obtenus ont montré que le CMA-ES possède l'avantage sur le GA. Néanmoins il dépend de nombreux paramètres et ses performances sont donc susceptibles d'être améliorées.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison Cedex, [www.ifp.fr](http://www.ifp.fr)

**HSBC**

HSBC Investments FCP (France)<sup>1</sup>

**Responsable : Monsieur Tony CARPENTIER**

**Étudiant : Adil OUIDADI**

**Sujet : Les modèles des taux à court terme dans le marché monétaire**

**Résumé :** Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un stage de fin d'études effectué au sein de l'équipe de la gestion Fixed Income à la banque de gestion d'actif HSBC Investements. L'objectif de ce stage est de développer et d'analyser des méthodes numériques pour anticiper les taux courts termes du marché monétaire.

Deux champs d'application sont privilégiés : Comprendre les mécanismes de la politique monétaire et l'anticipation du taux de référence de la banque centrale. Vu l'importance du taux de refinancement comme le principal taux directeur des banques centrales, le but de ce stage est l'anticipation de ce taux, par une méthode déterministe et aléatoire.

Pour anticiper ce taux de référence ou de base il faut anticiper le taux l'EONIA (Euro OverNight Interest Average) le jour de la réunion de la BCE. Cela nous donne une probabilité sur la hausse ou la baisse du taux de référence.

---

<sup>1</sup>Adresse de l'entreprise: 4, place de la Pyramide, Immeuble Ile-de-France, La Défense 9, 75419 Paris Cedex 08