

**Liste de sujets de stage à EDF R&D, Chatou**  
**Département de Management des Risques Industriels**

- 1 Développement d'algorithmes pour l'exploration d'un code de calcul monotone, B. Iooss & N. Bousquet
- 2 Surfaces de réponse et calcul d'incertitude en propagation acoustique extérieure
- 3 Traitements des incertitudes en simulation numérique avec deux outils logiciels, M. Baudin & A. Pasanisi
- 4 Contributions à l'analyse de fiabilité de composant industriels à l'aide d'approches bayésiennes non paramétriques, M. Keller, A-L. Popelin & E. Remy
- 5 Etude de fiabilité d'un composant industriel : analyse et application de méthodes statistiques pour la prise en compte d'incertitudes, R. Sueur & A-L. Popelin
- 6 Contribution aux évaluations de fiabilité des structures des installations de production d'électricité d'EDF, E. Ardillon
- 7 Traitement des incertitudes au sein des études d'optimisation technico-économique de stratégies d'investissement pour des centrales nucléaires, F. Douard & B. Iooss
- 8 Modélisation probabiliste de l'accessibilité d'un parc d'éoliennes offshore, F. Douard & W. Lair
- 9 Pronostic pour l'optimisation de la maintenance des matériels des centrales de production d'électricité, R. Seraoui, H. Bickert & W. Lair
- 10 Evaluation technico-économique et probabiliste de stratégies de gestion de l'impact du changement climatique sur une tranche nucléaire, H. Bickert & M. Anderhalt
- 11 Modélisation de la distribution de ténacité – Impact sur la quantification de la fiabilité, E. Remy, A-L. Popelin, E. Dautreme, N. Bousquet

## **Sujet de stage pour Master 2 en Statistiques/Mathématiques Appliquées à EDF R&D**

**Titre** : Développement d'algorithmes pour l'exploration d'un code de calcul monotone  
Bertrand Iooss et Nicolas Bousquet (EDF R&D)

Une des activités du Département de Management des Risques Industriels d'EDF R&D concerne le développement d'approches stochastiques pour le traitement des incertitudes dans les codes de calcul. L'exploration statistique du comportement de codes simulant des phénomènes physiques présente un intérêt majeur pour leur calibration et qualification. Le problème majeur est celui du coût en temps de calcul, conduisant à la volonté de réaliser un minimum d'appels au code de calcul. Certains travaux récents ont montré l'efficacité d'algorithmes exploitant des propriétés de régularité du code (e.g. monotonie de la sortie  $Y$  par rapport à chaque entrée  $X_i$  de la fonction  $Y = f(\mathbf{X})$ , cf. [1]).

Ce sujet de stage concerne une question importante liée à ces travaux : comment prouver la monotonie d'un code de calcul. D'un point de vue mathématique, cette question est liée à la recherche d'extrema locaux d'une fonction. Une bibliographie sera réalisée sur ce sujet afin de trouver les modèles les plus adaptés aux codes monotones. Une première possibilité qui pourra être explorée par le stagiaire sera de formaliser ce problème en termes probabilistes et, par exemple, de le résoudre via des algorithmes d'optimisation de type EGO (Efficient Global Optimisation, cf. [2]) qui se basent sur un modèle d'approximation du code par un processus gaussien (PG, cf. [3]). La modélisation des dérivées partielles ou d'une transformation de ces dérivées partielles par des modèles PG sera envisagée.

Le travail se déroulera schématiquement en une phase bibliographique, une phase de développements théoriques et algorithmiques, une phase de programmation (préférentiellement en langage R dans lequel existe déjà une série de packages sur la modélisation par processus gaussiens et EGO), une phase de tests sur une batterie de fonctions jouets de complexité variable et une phase d'application sur un problème industriel d'intérêt pour EDF.

Ce stage bénéficiera d'un environnement local d'une quinzaine de chercheurs et doctorants travaillant sur les problèmes d'incertitudes de modèles numériques, de l'important travail de recherche de la communauté française sur le thème des approches stochastiques pour l'expérimentation numérique (GdR du CNRS : MASCOT-NUM, <http://www.gdr-mascotnum.fr>, Consortium ReDICE, <http://www.redice-project.org/doku.php>). Ce stage sera également suivi par David Ginsbourger, chercheur à l'Université de Berne et spécialiste de modélisation par processus gaussiens et d'optimisation.

### **Bibliographie**

- [1] N. Bousquet, Accelerated Monte Carlo estimation of exceedance probabilities under monotonicity constraints, *Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse*, 21(3) : 557-591, 2012.
- [2] D. R. Jones, M. Schonlau and W. J. Welch. Efficient global optimization of expensive black-box functions. *J. Global Optim.*, 13(4):455-492, 1998.
- [3] T. J. Santner, B. J. Williams and W. I. Notz, *The design and analysis of computer experiments*, Springer, 2003.

### **Compétences du candidat**

Master 2 ou Ecole d'ingénieurs avec de solides bases en Statistique et Probabilités.  
Algorithmique et programmation (idéalement : logiciel R et langage C).

### **Modalités pratiques**

Durée du stage : de 4 à 6 mois. Ce stage se déroulera dans les locaux d'EDF R&D à Chatou (région parisienne). Une rémunération est prévue.

### **Contact**

Bertrand Iooss  
EDF-R&D, Département MRI, 6 quai Watier, 78401 Chatou.  
Mail : bertrand.iooss [ at ] edf.fr



SUJET DE STAGE

**SURFACES DE REPONSE ET CALCUL  
D'INCERTITUDE EN PROPAGATION  
ACOUSTIQUE EXTERIEURE**

**DEPARTEMENT  
MANAGEMENT  
DES RISQUES  
INDUSTRIELS**

**Contexte**

La prévision par le calcul ou la mesure de l'impact acoustique des installations industrielles dans l'environnement doivent tenir compte de la variabilité physique des conditions de propagation. De plus, les paramètres caractéristiques des conditions de propagation (géométrie, conditions aux limites, conditions météorologiques) sont plus ou moins bien connus. La plupart du temps, la sensibilité des situations conduit à calculer ou à mesurer des critères d'impact avec une incertitude incompatible avec les seuils réglementaires.

Des éléments de contexte supplémentaires viennent s'ajouter à cette problématique. Il s'agit de l'intégration aux méthodes normalisées des calculs d'incertitudes via notamment la transcription dans le domaine de l'acoustique des principes développés dans le GUM. EDF R&D participe à des groupes de travail en normalisation sur ce thème. Dans ce cadre, une démarche d'évaluation des incertitudes basées sur des résultats de calculs numériques est étudiée. Ces travaux de stage ont pour ambition d'y contribuer.

**Objectifs**

Les travaux sont prévus en deux grandes étapes. La première constitue la tâche essentielle du stage.

1. Construire une **surface de réponse**<sup>1</sup> à partir des résultats de calcul du code EP\_FORTRAN qui résout la forme parabolique de l'équation de Helmholtz par différences finies, notamment en utilisant la plateforme Open TURNS, plus précisément :
  - Prendre en main le code de calcul EP\_FORTRAN en maîtrisant notamment les aspects physiques, et la plateforme de traitement statistique Open TURNS (langage Python).
  - Construire un plan d'expériences numériques pertinent à budget de calcul fixé.
  - Réaliser une surface de réponse à partir des résultats de calcul en utilisant une méthode statistique ; les méthodes de krigeage seront privilégiées<sup>2</sup>.
  - Évaluer la qualité des surfaces de réponse obtenues (par validation croisée ou base de test).
2. Utiliser la surface de réponse comme outil de **calcul des incertitudes** sur la prévision des niveaux sonores. Ce calcul nécessite une quantification de la variabilité et/ou de l'incertitude sur les données d'entrée (conditions de propagation) ; celle-ci pourra constituer un travail statistique ou de modélisation de la connaissance physique non négligeable.

Ce stage combine donc des aspects statistiques, physiques et l'utilisation de calcul intensif.

**Profil souhaité**

- Master2 ou 3<sup>ème</sup> année d'Ecole d'ingénieurs ;
- Compétences recherchées : statistique, acoustique, méthodes numériques, programmation impérative (typiquement en FORTRAN, C ou Python).

**Modalités**

- Durée : 5 à 6 mois
- Indemnités : environ 1000 €/mois
- Lieu : Chatou (RER B, Rueil-Malmaison)

**Contacts**

Postuler via [http://www.edfrecrute.com/iframes.php?id\\_page=182](http://www.edfrecrute.com/iframes.php?id_page=182) (offre St-12-4065).

<sup>1</sup> C'est-à-dire une approximation d'un code de calcul peu coûteuse à évaluer, dans l'objectif d'appliquer des traitements nécessitant un grand nombre de calculs (e.g. optimisation, calcul probabiliste ou statistique).

<sup>2</sup> D'autres techniques d'apprentissage supervisé pourront éventuellement être éprouvées.

# Traitements des incertitudes en simulation numérique avec deux outils logiciels

## *Sujet de stage*

Dans le contexte des études de propagation des incertitudes, il est classique de remplacer le code de calcul par un « méta-modèle » (un émulateur du code), par exemple un polynôme de chaos ou un réseau de neurones.

Dans le but de favoriser la compatibilité entre logiciels de traitement des incertitudes, le but du stage est de réaliser une étude en utilisant deux plate-formes industrielles. Dans ce but, l'étudiant développera un module informatique permettant de lire et écrire des fichiers PMML représentant des méta-modèles. L'objectif est, par exemple, qu'un méta-modèle créé dans un logiciel, puisse être exploité par l'autre. Le lieu principal de déroulement du stage est le site EDF – R&D à Chatou.

## *Profil recherché*

Le stage est destiné à un(e) étudiant(e) de Master2 et/ou en dernière année d'Ecole d'ingénieurs intéressé(e) par les mathématiques appliquées et l'informatique scientifique. Le stage se déroulera durant la période printemps-été 2013.

Le (ou la) stagiaire recherché(e) réunira les compétences techniques et humaines suivantes :

- bonne capacité d'analyse et de synthèse, rigueur, curiosité, autonomie, goût pour le travail en équipes multidisciplinaires,
- bonne expression orale et écrite,
- bonnes connaissances de base en informatique scientifique, en particulier les langages de programmation C et C++,
- connaissances de base en probabilités et statistique,
- connaissance de l'anglais écrit nécessaire.

La connaissance de Python sera un plus apprécié.

## *Contact*

Michaël Baudin

EDF-R&D. Dépt. « Management des Risques Industriels ».

6 quai Watier, 78401 Chatou.

Tél. 01 30 87 81 82. Mail : michael.baudin@edf.fr



## Sujet de stage – année scolaire 2012/2013

# CONTRIBUTION A L'ANALYSE DE FIABILITE DE COMPOSANTS INDUSTRIELS PAR UNE APPROCHE BAYESIENNE NON PARAMETRIQUE

### OBJECTIFS :

Le but de ce stage est de **contribuer à l'évaluation de la fiabilité de composants des outils de production d'EDF**. Un paramètre crucial intervenant dans cette évaluation est la distribution des tailles de défauts de fabrication dans les éléments en acier. Pour estimer cette distribution, seules des données bruitées et tronquées aléatoirement sont disponibles. L'objectif technique de ce stage est de **développer une méthode d'estimation bayésienne non paramétrique de la distribution de tailles de défauts**, en alternative à l'approche classique par maximum de vraisemblance, employée actuellement.

### CONTEXTE :

Le Département Management des Risques Industriels (MRI) participe à une mission essentielle de la R&D du Groupe EDF : apporter un appui scientifique aux directions de production et d'ingénierie pour optimiser les performances des installations de production d'électricité, tout en garantissant leur sûreté.

Dans ce contexte, l'évaluation de la fiabilité de composants industriels représente un enjeu majeur.

En effet, cette évaluation consiste à estimer la probabilité de défaillance des composants, dans les conditions naturelles d'exploitation aussi bien que dans des conditions extrêmes. Il faut pour cela faire appel à des simulateurs numériques basés sur des modèles physiques complexes, afin d'explorer des scénarios accidentels jamais observés en pratique.

De plus, la détermination finale d'une borne de confiance de la probabilité de défaillance d'un composant, tenant compte des multiples sources d'incertitudes (imperfection du modèle physique, erreurs de mesure des données expérimentales disponibles, erreurs d'estimation des modèles statistiques...) est un problème difficile, qui requiert le développement d'une méthodologie spécifique. C'est également un domaine de recherche en plein essor, dans le monde industriel autant qu'académique.

### DEROULEMENT :

Dans un premier temps, le stagiaire devra s'approprier le contexte technique et les enjeux industriels de l'étude, ainsi que prendre connaissance des travaux déjà accomplis. Cette première étape sera aussi l'occasion de découvrir l'activité transverse d'une équipe de R&D pluridisciplinaire, et les liens qu'elle entretient avec ses différents interlocuteurs, au sein d'EDF comme en dehors.

La mise en œuvre de la méthodologie bayésienne sera dans un deuxième temps l'occasion pour le stagiaire de se former à des techniques computationnelles avancées, utilisées dans de nombreux domaines, et qui constitueront un plus non négligeable dans son bagage scientifique. À cette dimension théorique s'ajoutera une dimension pratique à travers l'implémentation de la méthode pour la rendre opérationnelle, ce qui amènera le stagiaire à développer ses compétences en informatique.

Enfin, la valorisation des travaux sous la forme d'un rapport de stage, d'une présentation de ses résultats à l'équipe de recherche à laquelle l'étudiant sera rattaché, et d'une éventuelle communication scientifique, viendra compléter le tour d'horizon qu'offre ce stage de la diversité des activités à la R&D d'un grand Groupe industriel comme EDF.

### ETUDIANTS CONCERNES :

Etudiants de M2 probabilités / statistiques ou grandes écoles

### COMPETENCES SOUHAITEES :

Bases solides en probabilités et statistiques. Une connaissance des approches bayésiennes serait un plus très apprécié

Aisance en informatique

Anglais impératif

### ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE :

Bureautique classique

Langage Python

Logiciel R et plate-forme probabiliste OpenTURNS (<http://trac.openturns.org/>)

### CONTACTS :

[merlin.keller@edf.fr](mailto:merlin.keller@edf.fr)

[anne-laure.popelin@edf.fr](mailto:anne-laure.popelin@edf.fr)

[emmanuel.remy@edf.fr](mailto:emmanuel.remy@edf.fr)

### LIEU :

EDF R&D – Département MRI - Groupe "Modélisation sous Incertitudes, Simulation et Physique du Soudage et des Procédés"

6, Quai Watier  
78401 Chatou Cedex

### REMUNERATION :

Selon barème et à partir de 750€ par mois. Une indemnité de logement est attribuée aux étudiants dont la formation est en province

# ETUDE DE FIABILITE D'UN COMPOSANT INDUSTRIEL : ANALYSE ET APPLICATION DE METHODES STATISTIQUES POUR LA PRISE EN COMPTE D'INCERTITUDES

## Description du stage

La justification de la tenue mécanique des composants des installations EDF s'appuie sur une démarche de justification dite déterministe utilisant des hypothèses conservatives sur les modèles physiques et un jeu de valeurs des variables d'entrée pénalisées. Cette approche permet d'obtenir une évaluation pénalisante et enveloppe du couple résistance/sollicitation à laquelle est soumise le composant. Cette analyse permet ainsi de démontrer de façon conservative la bonne tenue du composant. Cependant, les pénalisations associées à cette méthodologie ne permettent pas d'évaluer de façon réaliste la fiabilité du composant. Afin d'améliorer l'évaluation des marges existantes, EDF a développé des méthodes probabilistes et statistiques de propagation d'incertitudes qui valorisent les connaissances acquises sur les distributions des variables d'entrée du modèle. Ces méthodes consistent à définir une loi statistique pour les entrées du code physique modélisant le comportement du composant et à examiner la distribution obtenue en sortie selon certains critères pertinents pour évaluer la fiabilité du composant.

Cette approche peut être complétée par une analyse de sensibilité permettant d'évaluer l'impact de chaque variable sur l'estimation de la fiabilité du composant. Ces méthodes permettent de renseigner sur la forme du code physique lorsque celui-ci n'a pas d'expression analytique simple. Elles permettent également de vérifier la pertinence des hypothèses prises sur les variables d'entrée et sur la modélisation. Enfin elles permettent une hiérarchisation des variables par importance dans l'estimation de la fiabilité du composant calculée en sortie et de justifier ainsi le périmètre de l'étude probabiliste.

Un aspect particulièrement important dans la justification de la loi jointe des variables d'entrée du code est la structure de dépendance entre les variables. En l'absence de données jointes de ces différentes variables, seules les densités marginales peuvent faire l'objet d'un traitement statistique et les dépendances -ou l'indépendance éventuelle- ne peut être justifiée qu'à l'aide d'arguments de nature physique. Cette argumentation peut être complétée par l'étude de l'impact des hypothèses prises sur la structure de dépendance postulée en entrée du calcul.

Le stage consistera en :

- La mise en œuvre de la méthodologie de propagation d'incertitudes pour le cas d'application à traiter afin de prendre en main les outils
- La mise en œuvre de calculs selon cette méthodologie avec différents paramètres en entrée (analyse de sensibilité paramétrique)
- La comparaison de différents outils d'analyse de sensibilité pour les variables d'entrée prises individuellement (FORM, Thèse en cours à EDF, analyse variationnelle,...)

- L'étude de sensibilité du résultat des calculs à différents modèles de copule pour la loi jointe des variables d'entrée.

Durée du stage : 5 ou 6 mois.

Durée hebdomadaire de travail : 35 heures. Les modalités pratiques de l'amplitude hebdomadaire sont celles en vigueur à EDF R&D.

Lieu du stage : site EDF R&D de Chatou (6 quai Watier, accès par le RER A, station Rueil Malmaison).

### **Profil souhaité**

Idéalement le candidat devra :

- Maîtriser les outils de base de la modélisation statistique (estimateurs, densités, langage des probabilités, dépendances,...)
- Être motivé par la mise en œuvre de méthodes statistiques avancées
- Avoir un socle de connaissances en physique
- Avoir un goût prononcé pour les problématiques industrielles et les applications numériques (utilisation du langage Python, de l'environnement Linux, voire d'outils tels que R, Scilab ou Excel pour les post-traitements).

Merci d'envoyer vos CV et lettres de motivation à :

[Roman.sueur@edf.fr](mailto:Roman.sueur@edf.fr)

Ou

[anne-laure.popelin@edf.fr](mailto:anne-laure.popelin@edf.fr)

PROPOSITION DE STAGETitre du stage :**CONTRIBUTION AUX EVALUATIONS DE FIABILITE DES STRUCTURES DES INSTALLATIONS DE PRODUCTION D'ELECTRICITE D'EDF**Spécialité : Probabilités, Fiabilité, Mécanique, Structures, MatériauxContenu du stage :

Les composants passifs des centrales nucléaires d'EDF (tuyauteries, réservoirs) ont un niveau de fiabilité généralement élevé, lié à leur niveau de sûreté. Néanmoins, sous l'influence du vieillissement des installations, des dégradations d'origines physiques diverses peuvent apparaître. Pour maîtriser les risques liés à ces dégradations, EDF a lancé depuis les années 1990 de nombreuses approches probabilistes destinées à évaluer la fiabilité de divers composants.

Le stagiaire aura donc en charge la réalisation d'étude et calculs probabilistes portant sur divers composants. Il pourra s'agir des sujets suivants :

- Evaluations pratiques de fiabilité de structures sur des cas industriels (à définir en fonction des activités 2013)
- Modélisation, quantification de l'incertitude liée au choix de modèle physique
- Sources d'écart entre fiabilité réelle et fiabilité calculée
- Fiabilité fonction du temps,
- ...

Le choix définitif des thèmes traités sera précisé en fonction des activités effectives de l'équipe EDF-R&D/MRI/T57 en 2013, non totalement connues à ce jour.

Le stagiaire devra faire preuve d'autonomie et démontrer sa capacité d'intégration à l'équipe du Groupe d'études, dont il travaillera avec plusieurs membres. Il effectuera son stage en totalité (ou au moins en grande partie) dans les locaux du service d'accueil d'EDF.

Ecole(s) concernée(s) : IFMA – 3eme année, à coupler avec un projet IFMA PIFEDurée du stage : (4 à 6 mois)

<input type="checkbox"/> 1 mois			<input type="checkbox"/> 3 mois			<input checked="" type="checkbox"/> temps plein			<u>Dates</u> (entourer les mois souhaités) :	
<input type="checkbox"/> 2 mois			<input checked="" type="checkbox"/> plus			<input type="checkbox"/> temps partiel			année 2013	
									année 200	
									J F M A M J J A S O N D	
									J F M A M J	
négociable			OUI			NON			négociable	
									OUI	
									NON	

Direction et Unité d'accueil : EDF-R&DDépartement : M.R.IGroupe : T57Lieu du stage : 6, Quai Watier - 78400 CHATOUResponsable direct du stage : E. Ardillon

01 30 87 85 89

Fonction : Ingénieur-chercheur

Cantine : OUI

Logement assuré par l'Unité : NON



# **EDF R&D**

## **Département Management des Risques Industriels (MRI)**

### *Traitement des incertitudes au sein des études d'optimisation technico-économique de stratégies d'investissement pour des centrales nucléaires*

#### **Contexte :**

EDF cherche à optimiser ses choix stratégiques et ses investissements pour son parc de production. Le département Management des Risques Industriels (MRI) de la division R&D fournit ainsi des outils et méthodes pour optimiser ces choix. En particulier, le groupe Décision et Risques pour les Investissements et la Maintenance (DRIM) réalise des études probabilistes de « rentabilité de stratégies de maintenance » qui ont pour objectif d'évaluer quantitativement l'impact technico-économique de certaines stratégies de maintenance pour EDF.

Ces études fournissent des indicateurs technico-économiques (i.e. distribution probabiliste de la Valeur Actuelle Nette, évaluation de la probabilité de regretter l'investissement,...) évalués par simulations de Monte-Carlo. Les nombreuses données d'entrée (coûts, fiabilité des composants, ...) nécessaires à ces simulations sont soumises à de fortes incertitudes (principalement liées à notre méconnaissance des scénarios étudiés). Pour comprendre l'influence des différentes sources d'incertitudes, des études de sensibilité élémentaires sont réalisées (en modifiant un seul paramètre incertain à la fois). Cette méthodologie présente un certain nombre de limitations : nombre élevé de simulations à réaliser, choix a priori des variables incertaines pouvant biaiser les résultats,...

#### **Objectifs du stage :**

Le stagiaire aura pour objectif de poursuivre les travaux relatifs à l'analyse de sensibilité afin de proposer une méthodologie de traitement des incertitudes adaptée aux besoins des études technico-économiques réalisées au sein d'EDF R&D.

L'utilisation de la théorie des plans d'expériences a été étudiée en 2012 et ne s'est pas révélée satisfaisante. Il s'agira donc de poursuivre les travaux relatifs à la sélection de variables influentes en utilisant la théorie des surfaces de réponse à travers un cas d'application dans le domaine des centrales nucléaires. D'autre part, il s'agira d'étudier (d'un point de vue théorique et pratique) les différentes manières d'aborder l'analyse fine de l'impact des variables sélectionnées sur les indicateurs de sortie.

#### **Profil recherché :**

Stage de dernière année d'école d'ingénieur ou en Master 2, avec une spécialisation en probabilités et statistiques. Un goût et/ou des compétences analyse technico-économique ou en informatique (programmation en R) seront appréciées.

#### **Renseignements pratiques :**

- Durée du stage : 6 mois.
- Date de début du stage : mars/avril 2012.
- Durée hebdomadaire de travail : 35 heures. Les modalités pratiques de l'amplitude hebdomadaire sont celles en vigueur au département MRI (ex : Alternance d'une semaine de 5 jours et d'une semaine de 4 jours).

- Lieu du stage : site EDF R&D de Chatou (6 quai Watier), 78400 (accès RER A Rueil Malmaison).
- Pour plus de renseignements sur le stage, contacter Fanny DOUARD (01.30.87.77.68 – [fanny.douard@edf.fr](mailto:fanny.douard@edf.fr)).

# EDF R&D

## Département Management des Risques Industriels (MRI)

### SUJET DE STAGE 2013

#### *Modélisation probabiliste de l'accessibilité d'un parc d'éoliennes offshore*

##### **Contexte :**

Dans le secteur de la production d'électricité, soumis à une concurrence toujours plus forte, la maintenance est désormais vue à sa juste valeur, comme un levier pour créer de la valeur ajoutée pour l'entreprise, et non plus seulement comme un centre de coûts. Ceci implique la mise en place de stratégies de maintenance de plus en plus complexes, basées en particulier sur une surveillance de la dégradation des composants et/ou une anticipation de la défaillance. La modélisation et la simulation quantitative des programmes de maintenance appliqués des installations d'EDF constituent donc un enjeu majeur pour consolider la justification et l'optimisation de ces programmes, et leur assurer une efficacité maximale. Les modèles à développer doivent pouvoir représenter la complexité du système à modéliser ainsi que les incertitudes sur les données d'entrée : cinétique de dégradation et fiabilité des composants, impact des actions de maintenance, durées d'intervention et coûts associés...

Dans le cadre de l'étude de parcs éoliens offshore, il existe une autre source d'aléa : la météo. En effet, la durée pendant laquelle une éolienne est indisponible à la suite d'une défaillance dépend directement de la météo (vent, vagues...) : la maintenance corrective sera possible quand les bateaux pourront naviguer. Entre temps, l'éolienne ne produit pas d'électricité. Il s'agit donc d'un paramètre important dans l'évaluation d'un programme de maintenance.

EDF développe un outil d'évaluation des coûts d'exploitation et de maintenance d'un parc éolien offshore prenant en compte la fiabilité des composants et les caractéristiques météos liées à la position géographique de ce parc. Les modèles de météo étudiés jusqu'à présent ne sont pas satisfaisants.

##### **Objectifs du stage :**

Le stagiaire sera intégré dans une équipe d'ingénieurs chercheurs et participera à l'étude de modèles probabilistes de météo. Plusieurs modèles sont envisagés, notamment les Vecteurs AutoRégressifs (VAR) et les processus semi-markoviens. Le stagiaire devra prendre en main les modèles retenus et les appliqués à des données réelles. Il devra alors effectuer différents tests qui permettront de déterminer le « meilleur » modèle. En particulier, le modèle idéal devra prendre en compte la dépendance stochastique entre les différents paramètres météos considérés et la saisonnalité.

##### **Profil recherché :**

Elève ingénieur généraliste en dernière année ou Master, avec une spécialisation en mathématiques appliquées (probabilités, statistiques) et de bonnes connaissances en informatique (C++, Matlab, Scilab...).

##### **Renseignements pratiques :**

- Durée du stage : 5 ou 6 mois à partir de février 2012.
- Durée hebdomadaire de travail : 35 heures. Les modalités pratiques de l'amplitude hebdomadaire sont celles en vigueur à EDF R&D.

- Lieu du stage : site EDF R&D de Chatou (6 quai Watier, accès par le RER A, station Rueil-Malmaison).
- Pour plus de renseignements sur le stage, contacter Fanny DOUARD (0130877768 – [fanny.douard@edf.fr](mailto:fanny.douard@edf.fr)).

**EDF R&D**  
**Département Management des Risques Industriels (MRI)**

**SUJET DE STAGE 2013**

*Pronostic pour l'optimisation de la maintenance des matériels des centrales de production d'électricité*

## **Contexte**

Dans le secteur de la production d'électricité, soumis à une concurrence toujours plus forte, la maintenance est désormais vue à sa juste valeur, comme un levier pour créer de la valeur ajoutée pour l'entreprise, et non plus seulement comme un centre de coûts. Ceci implique la mise en place de stratégies de maintenance de plus en plus complexes, basées en particulier sur une détection et un diagnostic précoce des défauts critiques mais également sur une prédiction ou « pronostic » de leurs évolutions.

Différentes définitions peuvent être données au terme « pronostic ». Nous retiendrons la définition proposée par la norme ISO 13372 « Surveillance et diagnostic des machines - Vocabulaire » : le pronostic consiste, suite à un diagnostic de défaut, à estimer la progression des défauts présents ainsi que l'initiation et la progression des défauts induits futurs. Dès qu'une anomalie est détectée, un des résultats essentiels pour une opération de pronostic consiste à estimer le temps avant l'alarme d'exploitation ou la défaillance de l'équipement considéré. »

Autrement dit effectuer un pronostic sur un système revient à déterminer la loi du temps restant avant la défaillance du système surveillé (Remaining Useful Life ou RUL). L'évaluation de la RUL passe par :

- la compréhension des phénomènes physiques sous-jacents, notamment décrivant la dépendance entre l'évolution de l'état de santé du système et les paramètres physique d'influence ;
- l'évaluation pratique de la dépendance existant entre la RUL et les paramètres observés durant la surveillance du système.

Ainsi, trois types d'approche se distinguent :

- La modélisation physique de la dégradation conjointement à la modélisation probabiliste des temps à défaillance : cette approche requiert de disposer d'une connaissance fine des lois physiques qui régissent le comportement en défaut du système.
- La modélisation de l'évolution des données de surveillance (méthodes data-driven) : seule l'instrumentation disponible sur la machine est utilisée pour aboutir une prévision de durée de vie. Différentes techniques (reconnaissance de formes, réseaux de neurones récurrents, data-mining...) permettent, à partir des données de défauts similaires, de prévoir le comportement futur des données de surveillance lors d'une dégradation.

- La modélisation statistique des temps à défaillance dépendant de covariables : des modèles statistiques d'estimation du temps à défaillance, permettent de prendre en compte les effets non seulement du temps, mais aussi de variables externes à l'équipement (environnement) ou internes (caractéristiques mécaniques, mesures intrinsèques...).

## Objectifs du stage

Le stagiaire devra, dans un premier temps, effectuer une étude bibliographique des méthodes de pronostic. Plusieurs études bibliographiques ont été réalisées, il s'agira donc de compléter ces études, afin de se familiariser avec les différentes approches.

Dans un deuxième temps, le stagiaire devra sélectionner et appliquer une méthode de pronostic adaptée à un système industriel d'EDF issu du parc nucléaire.

## Profil recherché

Elève ingénieur généraliste en dernière année ou Master, avec une spécialisation en mathématiques appliquées (probabilités, statistiques, fiabilité) et de bonnes connaissances en informatique (C++, Matlab, Scilab, Python...).

## Renseignements pratiques

- Durée du stage : 5 ou 6 mois à partir de mars 2013.
- Durée hebdomadaire de travail : 35 heures. Les modalités pratiques de l'amplitude hebdomadaire sont celles en vigueur à EDF R&D.
- Lieu du stage : site EDF R&D de Chatou (6 quai Watier, accès par le RER A, station Rueil-Malmaison).
- Pour plus de renseignements sur le stage, contacter Redouane Seraoui ([redouane.seraoui@edf.fr](mailto:redouane.seraoui@edf.fr)), Hélène Bickert ([helene.bickert@edf.fr](mailto:helene.bickert@edf.fr)) ou William Lair ([william.lair@edf.fr](mailto:william.lair@edf.fr)).

## EDF R&D

### Département Management des Risques Industriels (MRI)

#### SUJET DE STAGE 2013

Evaluation technico-économique et probabiliste de stratégies de gestion de l'impact du changement climatique sur une tranche nucléaire

### Contexte

Les activités d'EDF sont fortement dépendantes des conditions météorologiques, comme les tempêtes de décembre 1999 ou la canicule de l'été 2003 l'ont rappelé. L'évolution des conditions météorologiques imputable au changement climatique aura donc des conséquences pour l'entreprise, tant en termes de production que de consommation et de transport d'électricité.

Le département MRI d'EDF R&D a développé des méthodes et des outils pour optimiser les choix stratégiques en matière de gestion de la durée de vie des tranches nucléaires. La particularité de cette approche est de permettre une évaluation technico-économique de stratégies de maintien d'un patrimoine dans la durée avec prise en compte de l'incertain (vision en risques par l'utilisation de variables d'entrée probabilisées).

Dans un contexte de changement climatique, EDF R&D a initié la mise en œuvre de cette approche technico-économique afin de valoriser des stratégies de gestion des impacts climatiques sur les tranches nucléaires. La quantification directe des risques et de leurs impacts n'étant pas envisageable en l'état actuel des connaissances, l'approche retenue consiste à modéliser les différents phénomènes physiques et systèmes associés au changement climatique et à la centrale, par une segmentation et une intégration successive de modèles. Les résultats de ces modèles permettent ensuite de quantifier l'impact des indisponibilités des tranches, et de valoriser les investissements envisagés pour parer au risque.

### Objectifs du stage

Les travaux et développements réalisés à ce jour portent sur la réglementation relative aux températures de rejet des centrales. Le stagiaire aura pour mission d'adapter les travaux existants pour traiter les risques liés aux bas débits des fleuves.

Les centrales nucléaires à circuit fermé utilisent l'eau des fleuves dans leur système de refroidissement. Quand le débit des fleuves est trop bas, les rejets thermiques ne sont pas assez dilués et la centrale ne peut plus utiliser leur eau pour assurer son refroidissement. Ceci peut contraindre la centrale à réduire la puissance produite voire à interrompre sa production d'électricité.

Il s'agit de caractériser de manière probabiliste l'occurrence des épisodes de bas débit et leurs impacts sur les performances de la centrale afin de leur attribuer une valeur économique.

## Compétences

- Séries temporelles, processus stochastiques
- Statistiques extrêmes
- Optimisation, programmation dynamique

## Profil recherché

Elève ingénieur généraliste en dernière année ou Master, avec une spécialisation en mathématiques appliquées (probabilités, statistiques) et de bonnes connaissances en informatique (R, Scilab, Matlab, C++, Python...).

Bonnes capacités rédactionnelles.

## Renseignements complémentaires

- Durée du stage : 5 ou 6 mois à partir de mars 2013.
- Durée hebdomadaire de travail : 35 heures. Les modalités pratiques de l'amplitude hebdomadaire sont celles en vigueur à EDF R&D.
- Lieu du stage : site EDF R&D de Chatou (6 quai Watier, accès par le RER A, station Rueil-Malmaison).
- Pour plus de renseignements sur le stage, contacter Hélène Bickert ([helene.bickert@edf.fr](mailto:helene.bickert@edf.fr)) ou Mathieu Anderhalt ([mathieu.anderhalt@edf.fr](mailto:mathieu.anderhalt@edf.fr)).





## Sujet de stage (6 mois) – année scolaire 2012/2013

### MODELISATION DE LA DISTRIBUTION DE TENACITE - IMPACT SUR LA QUANTIFICATION DE LA FIABILITE

#### CONTEXTE :

L'évaluation d'une probabilité de défaillance  $P_{\text{déf}}$  d'un composant industriel sur la base d'un modèle physique déterministe est l'un des problèmes classiques de la fiabilité des structures. Il revient à calculer une intégrale multiple faisant intervenir la densité jointe  $f_X$  des variables aléatoires  $X = (X_1, \dots, X_d)$  en entrée du modèle de comportement du composant, noté  $G(\cdot)$  :  $P_{\text{déf}} = \mathbb{P}(G(X) < 0) = \int_{G(x) < 0} f_X(x) dx$ .

Même si l'approximation de cette intégrale à partir de méthodes probabilistes de propagation d'incertitudes est un point fondamental pouvant s'avérer délicat dans certains contextes (probabilité de défaillance faible, modèle physique coûteux en temps de calcul...), la quantification des sources d'aléas en amont de  $G(\cdot)$ , ou de façon équivalente la détermination de la densité jointe  $f_X$ , par exemple à partir de données directement observées sur  $X$ , est également un élément de toute première importance si on souhaite obtenir en aval une évaluation robuste de la probabilité de défaillance.

La ténacité du matériau (à savoir sa capacité à résister à la propagation d'une fissure) est une variable aléatoire fondamentale en entrée de nombreux codes mécaniques  $G$ . Cette grandeur physique, dont on peut obtenir des mesures grâce à des essais expérimentaux sur éprouvettes, dépend de la température, ce qui nécessite une modélisation probabiliste spécifique et des techniques d'estimation statistique particulières, qui font l'objet depuis plusieurs années de travaux de la part du CEA et d'EDF R&D.

#### OBJECTIF :

L'objectif du stage est de progresser sur la modélisation de la distribution de la ténacité, en comparant différents modèles et méthodes d'estimation à partir de données simulées et réelles.

#### DEROULEMENT :

1. Dans un premier, l'étudiant s'appropriera le contexte industriel et les travaux scientifiques existants sur la modélisation de la distribution de la ténacité. En particulier, il montera en compétences d'une part sur l'outil logiciel WOLF3 (pour "Weibull Or Log-normal distribution Fitting with 3 parameters") développé par le CEA et d'autre part sur les méthodes d'estimation développées par le Laboratoire de Mathématiques de l'Université de Savoie dans le cadre d'un partenariat avec EDF R&D.
2. Dans un second temps, il mènera un travail de réflexion méthodologique sur des méthodes alternatives qui pourraient être utilisées (on peut penser à la régression quantile pour ajuster les quantiles faibles de la ténacité).
3. Ces modèles et méthodes concurrents seront ensuite comparés sur des données simulées et réelles, par exemple sur la base de critères statistiques, mais aussi en termes d'impact sur la valeur finale de  $P_{\text{déf}}$ .
4. L'ensemble des travaux réalisés fera l'objet d'un rapport de stage.

#### ETUDIANTS CONCERNES :

Etudiants de M2 en probabilités / statistiques ou grandes écoles

#### COMPETENCES SOUHAITEES :

- Méthodes probabilistes et statistiques pour l'évaluation de fiabilité de composants industriels
- Aisance en informatique
- Anglais impératif

#### ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE :

- Bureautique classique
- Langage Python
- Logiciel R et plate-forme probabiliste OpenTURNS (<http://trac.openturns.org/>)

#### CONTACTS :

- [emmanuel.remy@edf.fr](mailto:emmanuel.remy@edf.fr)
- [anne-laure.popelin@edf.fr](mailto:anne-laure.popelin@edf.fr)
- [emilie.dautreme@edf.fr](mailto:emilie.dautreme@edf.fr)
- [nicolas.bousquet@edf.fr](mailto:nicolas.bousquet@edf.fr)

#### LIEU :

EDF R&D – Groupe "Maintenance, Optimisation, Décision d'Investissements, Fiabilité"

06, Quai Watier  
78401 Chatou Cedex

#### REMUNERATION :

Entre 700 et 850 € par mois – possibilité d'indemnité de logement