



# ermes

ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES


**NOTRE OFFRE DE STAGES**  
**2023**



	<p style="text-align: center;"><b>SOMMAIRE</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## Table des matières

Réponse dynamique d'un tube de générateur de vapeur sous chargement turbulent avec chocs .....	1
Réponse élastoplastique d'un coude au séisme par l'approche de linéarisation équivalente .....	2
Validation d un code de lubrification pour les machines tournantes .....	3
Evaluation de la perte de charge d'un fluide diphasique dans la zone d'alimentation d'un palier hydrostatique .....	4
Détection de défauts de court-circuit entre spires du bobinage rotorique d'un alternateur du parc nucléaire .....	5
Utilisation d'algorithmes de machine learning pour l'accélération de codes de calculs en mécanique .....	6
Evaluation de modélisations du comportement représentatif best-estimate de structures en béton armé et pistes nouvelles .....	7
Analyse de sensibilité des paramètres d'entrée d'un modèle d'aléa sismique probabiliste et évaluation du risque sismique pour des régions à faible sismicité .....	8
Nouvelles approches pour calculer le risque sismique d'une installation nucléaire .....	9
Des modélisations par éléments finis 1D des éoliennes aux modélisations 3D des pales : amélioration de la méthode de transfert des efforts.....	10
Création d'outils de calcul en python .....	12
Développement d'une interface python pour modéliser les moteurs électriques.....	13
Stage monopile dans 100 m de profondeur d'eau .....	14
Outil opérationnel pour les études structurelles des éoliennes .....	15
Définition d'une stratégie optimale de justification mécanique de supportages de tuyauteries.....	16
Optimisation du temps de la vérification et validation dans le cycle de développement de code_aster .....	17
Modélisation avancée en 3D de géométries complexes de tuyauteries .....	18
Résilience des lignes HTB de la Guadeloupe vis-à-vis des cyclones.....	19
Calcul de la réponse de site dans le cadre d'une analyse de risque sismique d'une installation nucléaire .....	20
REDUCTION DE MODELES APPLIQUEE AUX MACHINES SYNCHRONES.....	21

	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>REPONSE DYNAMIQUE D'UN TUBE DE GENERATEUR DE VAPEUR SOUS CHARGEMENT TURBULENT AVEC CHOCS</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6B</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### ***Mission***

Mise en place d'un prototype de calcul python de la réponse d'un tube sous chargement turbulent avec chocs

### ***Contexte et explicitation du sujet***

Dans une perspective d'améliorer la sûreté et de réduire les coûts de construction et d'exploitation des moyens de production du parc en exploitation d'EDF, les équipes de recherche de la R&D proposent des innovations et une expertise en appui aux centres de production. En particulier, de nouveaux outils de simulation numérique sont développés pour accompagner les potentielles études à réaliser afin de répondre aux besoins et objectifs mentionnés.

Le département ERMES s'occupe principalement de sujets d'électrotechnique et de mécanique pour les équipements et le génie civil du parc en exploitation. Les développements numériques sont notamment intégrés autour du code calcul CodeAster et sa plateforme en accès libre Salome\_Meca.

Le stage proposé consiste à mettre en place un prototype numérique pour représenter la dynamique non linéaire d'un tube de générateur de vapeur. Un générateur de vapeur est un composant critique d'une centrale nucléaire, et son bon fonctionnement est primordial. Celui-ci est composé de milliers de tubes soumis à des sollicitations turbulentes et des chocs tout au long de la vie de la centrale. La compréhension de l'usure associée est un grand enjeu pour adapter au mieux les stratégies de maintenance.

Ce stage consistera à développer en Python, en couplage avec CodeAster, différentes briques de codes traduisant les effets des sollicitations turbulentes, les corrélations fluide-élastiques, les chocs des tubes sur plaques. Une comparaison avec les opérateurs CodeAster existants sera menée. Différentes analyses de sensibilité seront faites, autant sur les paramètres physiques que numériques (ex. schéma d'intégration en temps), afin d'évaluer les plus importants. Un cas de benchmark servira de référence pour une comparaison expérimentale/numérique.

Les compétences requises pour mener à bien ce stage sont :

- Notions sur la turbulence et l'interaction fluide-structure
- Bonnes connaissances en dynamique des structures, avec aspects non linéaires en bonus
- Bonne connaissance du développement en Python, notamment orienté objet.
- Esprit d'initiative fort et capacité de travailler en autonomie sur un sujet R&D complexe.

### ***Profil souhaité***

- Formation : Master 2, 3ème année d'école d'ingénieurs
- Compétences : Dynamique des structures, modélisation/calcul scientifique, python

### ***Modalités***

- Date de début : 01/03/2023
- Durée : 6 mois
- Localisation : EDF R&D Palaiseau ERMES
- Contact EDF : Jordan CURT - jordan.curt@edf.fr

	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>REPONSE ELASTOPLASTIQUE D'UN COUDE AU SEISME PAR L'APPROCHE DE LINEARISATION EQUIVALENTE</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6B</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### **Mission**

Simulation des réponses sismiques d'un coude par la méthode transitoire élastoplastique et l'approche de linéarisation équivalente

### **Contexte et explicitation du sujet**

Dans le cadre des réévaluations de la sûreté sismique des installations nucléaires, EDF est amené à caractériser la tenue sismique des lignes de tuyauterie. Soumises au fort séisme, les dernières ont souvent le comportement non-linéaire avant la rupture. Bien que l'approche transitoire élasto-plastique soit réputée fiable pour estimer la réponse non-linéaire des tuyauteries, elle est très lourde à mettre en place. Dans ce contexte, l'approche de linéarisation équivalente (LE) étant plus simple à mettre en place est étudiée afin d'estimer la réponse non-linéaire des tuyauteries au séisme.

Depuis des années, l'approche LE a été développée dans le domaine géotechnique. Elle consiste à estimer le niveau de distorsion dans le sol soumis au séisme par un calcul élastique en utilisant les caractéristiques linéaires équivalentes du sol (module de cisaillement et amortissement) correspondant au niveau de distorsion. Cette méthode est en cours de développement dans le domaine du génie civil. Dans ce stage, nous évaluons la possibilité de mettre en place cette approche LE dans le domaine des tuyauteries. Il consiste en plusieurs étapes suivantes :

- Etude bibliographique sur le comportement du coude au séisme, notamment au travers des essais des coudes réalisés dans le cadre du benchmark international MECOS ainsi que les essais EPRI ;
- Simulation des réponses élasto-plastiques des coudes avec des configurations testées où des paramètres sont calibrés sur les résultats des essais. Sur cette base de simulation, on effectue d'autres simulations sans calibrage des paramètres sur d'autres configurations de coudes (géométrie, chargement). Ces simulations permettent de construire une base numérique importante des réponses élasto-plastiques des coudes avec plusieurs configurations variées.
- Etablissement des lois de dégradation de rigidité et d'augmentation d'amortissement des coudes, en fonction d'un indicateur d'endommagement à choisir, à partir des bases de réponses transitoires élasto-plastiques pour plusieurs configurations.
- Application de l'approche LE sur la ligne BARC du benchmark MECOS où seuls les coudes sont modélisés par l'approche LE avec la dégradation de rigidité et l'augmentation d'amortissement. Le reste de la ligne est modélisé en élastique. Nous comparons les résultats de l'approche LE avec les essais BARC disponibles afin d'évaluer la robustesse de l'approche LE.

Compétences à acquérir ou à développer : Simulations numériques en dynamique non-linéaire, Comportement élasto-plastique des lignes de tuyauterie

### **Profil souhaité**

- Formation : Master 2, 3ème année d'école d'ingénieurs
- Compétences : mécanique des équipements, modélisation comportement, python

### **Modalités**

- Date de début : 01/03/2023
- Durée : 6 mois
- Localisation : EDF R&D Palaiseau ERMES
- Contact EDF : Thuong Anh NGUYEN - [thuong-anh.nguyen@edf.fr](mailto:thuong-anh.nguyen@edf.fr) ou Sylvie AUDEBERT - [sylvie.audebert@edf.fr](mailto:sylvie.audebert@edf.fr)

	<p style="text-align: center;">SUJET DE  <b>VALIDATION D UN CODE DE  LUBRIFICATION POUR LES MACHINES  TOURNANTES</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT  ELECTROTECHNIQUE  ET MECANIQUE DES  STRUCTURES  GROUPE T6B</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### **Mission**

Validation des modèles de butées hydrodynamiques dans le code LEGOS

### **Contexte et explicitation du sujet**

#### **Contexte général**

Dans une perspective d'améliorer la sûreté et de réduire les coûts de construction et d'exploitation des moyens de production du parc en exploitation d'EDF, les équipes de recherche de la R&D proposent des innovations et une expertise en appui aux centres de production.

En particulier, de nouveaux outils de simulation numérique sont développés. A la fin de leur développement, ils sont soumis à un processus de validation permettant leur mise sous Assurance Qualité.

Le département de recherche ERMES s'occupe principalement de sujets d'électrotechnique et de mécanique pour les équipements et le génie civil du parc en exploitation. Les développements numériques sont notamment intégrés autour du code calcul CodeAster et sa plateforme en accès libre Salome\_Meca.

#### **Contexte particulier au stage**

Les moyens de production nécessitent l'utilisation de turbines et de pompes dont les arbres sont soutenus par différents organes de supportage. Dans de nombreux cas, une lubrification fluide est utilisée dans des paliers et butées afin de permettre leur guidage et de réduire les frottements et l'usure. La R&D développe un nouveau code de calcul pour évaluer les performances statiques (épaisseur de film, pression, température, efforts ...) et dynamiques (raideur et amortissement) des différentes technologies de paliers et de butées du parc en exploitation. Différents modules de calcul sont développés en parallèle pour le domaine fluide, prenant en compte des hypothèses plus ou moins restrictives (fluide isotherme ou non, prise en compte des déformations thermo-mécaniques des solides, systèmes de soulèvement). Dans le cadre de la phase de validation, les résultats du code sont comparés à des résultats expérimentaux, de la littérature scientifique ou à des codes de calcul de référence.


Vous serez intégré au groupe Vibrations des Structures pendant la durée de votre stage. Votre activité consistera à valider un ou plusieurs modules du code de calcul. Vous aurez principalement une position d'utilisateur avancé du code de calcul et serez en charge, d'une part de comparer les résultats du code avec des données de référence, d'autres parts de construire (coder) les cas tests de validation en langage Python. Vous serez en interaction avec des ingénieurs du groupe pour réaliser les corrections éventuelles dans le code. A la fin de votre stage, un dossier établira la validité des modules qui vous auront été confiés. .

### **Profil souhaité**

- Formation : mécanique, modélisation/calcul scientifique, tribologie/lubrification
- Compétences : Programmation, lubrification, tribologie, machines tournantes

### **Modalités**

- Date de début : 01/03/2023
- Durée : 6 mois
- Localisation : Saclay
- Contact EDF : Simon GATIGNOL - [simon.gatignol@edf.fr](mailto:simon.gatignol@edf.fr)

	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>EVALUATION DE LA PERTE DE CHARGE D'UN FLUIDE DIPHASIQUE DANS LA ZONE D'ALIMENTATION D'UN PALIER HYDROSTATIQUE</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6B</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### **Mission**

Evaluation de la perte de charge d'un fluide diphasique dans la zone d'alimentation d'un palier hydrostatique

### **Contexte et explicitation du sujet**

#### **Contexte général**

Les problématiques de dimensionnement, de surveillance et de maintenance des turbines et des pompes des centrales de production d'électricité sont essentielles à la sûreté et la disponibilité de ces dernières.

En appui des unités d'exploitation, la R&D d'EDF développe de nouveaux outils pour répondre à ces attentes. La modélisation numérique est au cœur de ses activités. Elle permet à la fois de mener des études sur des sujets d'ingénierie mais aussi, d'entreprendre des recherches sur des thématiques plus exploratoires.

#### **Contexte particulier au stage**

Le groupe de recherche Machines Tournantes, auquel vous serez rattaché, étudie spécifiquement le comportement des turbines et pompes en proposant notamment des analyses vibratoires et tribologiques.

Ce stage constitue un travail complémentaire à une thèse en cours au sein du département. Il concerne l'étude du comportement du guidage des pompes lorsqu'il est alimenté par un mélange eau-air. En effet, certaines pompes des centrales nucléaires sont susceptibles d'être alimentées par ce type de mélange, en particulier en cas de défaut d'éventage des circuits hydrauliques lors de leur remplissage. Les paliers de ces pompes pouvant être lubrifiés par le fluide pompé, cette aspiration d'un mélange eau-air pourrait modifier les conditions de lubrification, phénomène qu'il est important de maîtriser. Au niveau des paliers, la création d'un film fluide permet de créer une portance qui assure le guidage de l'arbre tout en diminuant les frottements, l'usure et en garantissant un faible niveau vibratoire. L'introduction d'air dans les paliers va modifier les propriétés du film lubrifiant pouvant engendrer par exemple une portance insuffisante ou l'apparition d'instabilités vibratoires. Le fluide qui arrive dans le palier passe par des orifices débouchant sur des alvéoles d'alimentation à partir desquelles il s'écoule pour remplir l'ensemble de l'espace entre l'arbre et le palier (zone de film fin). Les pressions au sein de ces alvéoles sont des grandeurs d'entrée (conditions aux limites) du modèle de lubrification. Or, dans le cas de l'écoulement d'un fluide diphasique, l'évaluation des pertes de charge (au niveau des orifices et aux entrées du film mince) permettant de remonter aux pressions aux limites du modèle de lubrification est un exercice complexe et nécessite la mise en place d'une modélisation CFD précise de la zone d'alimentation.

Dans le cadre de ce stage vous serez en charge de mettre en place un modèle numérique de la CAO sur Salomé à la simulation à l'aide du code de CFD diphasique neptune cfd, développé dans un cadre quadripartite EDF-FRAMATOME-CEA-IRSN. Cela permettra d'évaluer avec précision des coefficients de perte de charge propres à la géométrie de la zone d'alimentation des paliers des pompes en fonction des conditions d'alimentation (pression et débit fournis par la pompe). En cas de bonne avancée sur le sujet, le stagiaire pourra prendre part aux études portant sur la modélisation de l'écoulement diphasique au sein du film fluide (théorie de la Lubrification).

### **Profil souhaité**

- Formation : Master 2, 3ème année d'Ecole d'Ingénieurs
- Compétences : Mécanique des fluides, Simulation CFD

### **Modalités**

- Date de début : 01/02/2023
- Durée : 6 mois
- Localisation : EDF Lab Paris Saclay, Palaiseau
- Contact EDF : VOITUS Anthony - anthony.voitus@edf.fr ou HASSINI Mohamed-Amine - mohamed-amine.hassini@edf.fr ou DE LAAGE DE MEUX Benoît - benoit.de-laage-de-meux@edf.fr

	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>DETECTION DE DEFAUTS DE COURT-CIRCUIT ENTRE SPIRES DU BOBINAGE ROTORIQUE D'UN ALTERNATEUR DU PARC NUCLEAIRE</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6E</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### **Mission**

Modélisation et analyse du flux magnétique dans l'entrefer d'un alternateur

### **Contexte et explicitation du sujet**

Les alternateurs des centrales de production du parc nucléaire d'EDF sont de grandes machines synchrones à pôles lisses.

Des défauts d'isolement sur le bobinage rotorique de ces machines peuvent survenir.

EDF surveille l'absence de court-circuit entre spires par la mesure du flux d'entrefer, notamment grâce au système Nymfea, mais le retour d'expérience montre que la détection de ces défauts peut être améliorée. C'est pourquoi, EDF R&D s'appuie sur la modélisation par éléments finis pour réaliser des modèles électromagnétiques d'alternateurs avec et sans défaut, dans différents régimes de fonctionnement pour mieux comprendre quand les défauts peuvent être détectés ou non et trouver de nouveaux indicateurs plus fiables.

Le travail du stagiaire viendra en appui à l'étude en cours. Les principales étapes du travail seront :

- Améliorer le modèle par éléments finis de l'alternateur avec une reprise éventuelle de la géométrie et/ou du maillage (Salome, code\_Carmel) ;
- Etudier l'impact de certains paramètres sur les résultats de simulations : prise en compte des amortisseurs ou non, représentation des défauts, etc ;
- Etudier la manière de représenter au mieux le fonctionnement en charge, notamment étudier la meilleure méthode du calcul du courant d'excitation (méthode de Potier ou autres) ;
- Simuler un grand nombre de scénarios : défauts – points de charge.
- Passer les résultats de simulations dans l'algorithme de détection de défaut (routine Matlab) ;
- Faire une synthèse des résultats obtenus.


Des travaux sont actuellement en cours et le contenu exact du stage pourra être redéfini en fonction de l'état d'avancement de ces différentes étapes lors de l'arrivée du stagiaire.

### **Profil souhaité**

- Formation : 3ème année d'école d'ingénieur ou master 2
- Compétences : Electromagnétisme, électrotechnique, machines synchrones, modélisation par éléments finis, python

### **Modalités**

- Date de début : 01/02/2023
- Durée : environ 6 mois
- Localisation : EDF R&D Saclay
- Contact EDF : Kim-Lan ZAPPELLINI - kim-lan.zappellini@edf.fr ou Jean-Pierre DUCREUX - jean-pierre.ducieux@edf.fr

	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>UTILISATION D'ALGORITHMES DE MACHINE LEARNING POUR L'ACCELERATION DE CODES DE CALCULS EN MECANIQUE</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6A</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### **Mission**

Développement d'algorithmes de machine learning pour faciliter la calibration de paramètres de calcul de codes en mécanique

### **Contexte et explicitation du sujet**

code\_aster ([www.code-aster.org](http://www.code-aster.org)) est un logiciel libre de simulation numérique en mécanique des structures, développé principalement par le département ERMES d'EDF R&D. Il s'appuie sur une base de cas tests évolutive couvrant les grands domaines d'applications du code (statique, thermique, dynamique) afin de vérifier et valider son bon fonctionnement. Dans le cadre d'une alternance 2021/2022, un prototype d'outil écrit en Python a été développé et intégré à la plateforme Salome\_Meca ([www.salome-platform.org](http://www.salome-platform.org)). Il utilise des algorithmes de Machine Learning (base de données de type graphe Neo4j, filtrage collaboratif, PageRank, TextRank, Word2Vec, TF-IDF) pour faciliter la création de jeux de données pour code\_aster et pour améliorer le moteur de recherche dans la base de cas tests.

L'objectif de ce stage serait de poursuivre et d'étendre le développement de cet outil afin de répondre aux problématiques suivantes :

- Appels à la base de données via un client serveur (stockage en ligne)
- Processus d'enrichissement de la base de données par des études d'ingénierie
- Aide à la définition des paramètres de lancement grâce au machine learning
- Amélioration de l'ergonomie de l'outil dans l'IHM de Salome\_Meca

### **Activités confiées au stagiaire :**

Etude bibliographique, recherche, proposition et implémentation de solutions informatiques d'amélioration d'un outil existant ainsi que d'algorithmes de machine learning pour faciliter la calibration de paramètres de calcul, enrichissement de l'interface graphique existante

Le/la candidat(e) pourra également être amené à participer aux activités de développement et de support liées au solveur code\_aster et à la plateforme salome\_meca.

### **Déroulement**

- Prise en main de l'existant et étude bibliographique sur la calibration de paramètres de simulations numériques grâce au machine learning
- Mise en place d'un accès distant à la base de données et d'un processus d'enrichissement associé
- Recherche, proposition et implémentation d'algorithmes de machine learning pour calibrer certains paramètres critiques de calculs code\_aster
- Amélioration de l'ergonomie de l'interface graphique de l'outil existant

### **Profil souhaité**

- Formation : 3ème année école d'ingénieur, Mastère M2 Recherche
- Compétences : machine learning, informatique, mécanique numérique, Python, C++

### **Modalités**

- Date de début : 01/03/2023
- Durée : 6 mois
- Localisation : EDF-Lab Saclay
- Contact EDF : Thomas Douillet-Grellier - [thomas.douillet-grellier@edf.fr](mailto:thomas.douillet-grellier@edf.fr)



	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>EVALUATION DE MODELISATIONS DU COMPOTEMENT REPRESENTATIF BEST- ESTIMATE DE STRUCTURES EN BETON ARME ET PISTES NOUVELLES</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6C</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## **Contexte et explicitation du sujet**

### **Contexte général**

Dans le cadre des réévaluations de la sûreté sismique des installations nucléaires, EDF est amené à caractériser la tenue des structures de bâtiments en béton armé et des équipements qu'elles supportent. Les études d'ingénierie s'appuient sur la simulation numérique, intégrant toute la chaîne du transfert dynamique depuis le sol. Des actions de R&D menées à EDF contribuent à en améliorer les capacités et la robustesse afin de justifier les marges de sécurité.

### **Contexte particulier au stage et objectifs**

Lors de ce stage, on cherchera à évaluer la capacité des modèles et méthodes nouvelles de Code\_Aster (coques solides, lois d'endommagement du béton et de comportement des interfaces avec les grilles d'armature) par comparaison à des démarches de modélisation déjà disponibles et des expérimentations sur maquette (dossier de validation). On s'intéressera en particulier à la phénoménologie des sections en béton armé, et on fera l'évaluation d'une modélisation d'un effet d'échelle dans la réponse mécanique du béton armé, par l'introduction d'une variable non locale. Les conclusions conduiront ensuite à élaborer et conforter des pistes de recherche (formulation de modèle de comportement représentatif, calibration des paramètres, démarches méthodologiques), en arbitrant entre phénoménologie adaptée et performances numériques, que l'on pourra commencer à explorer.

On vise à représenter le comportement d'éléments structurels en béton armé, à l'échelle du bâtiment : l'effet de la dégradation par endommagement du béton, de celle de la liaison acier-béton, de la contribution des aciers transversaux, sur la réponse ductile des sections favorisant la redistribution des efforts (flexion-membrane-effort tranchant) dans les sections et dans le bâtiment, modifiant le comportement vibratoire, et contribuant à la dissipation d'énergie, pour des chargements de niveau élevé, mais sans aller à la ruine. On étudiera des situations variées représentatives (densité de ferrailage, caractéristiques matériau, zones singulières...)

### **Compétences à acquérir ou à développer**


Modélisation et simulation par éléments finis dans le domaine de la mécanique non linéaire, en statique et en dynamique, appliquées à des structures en béton armé. Formulation des lois de comportement pour les structures, approches multi-échelles.

### **Profil souhaité**

- Formation : Master 2, 3ème année d'Ecole d'ingénieurs
- Compétences : méca. structures, modélisation comportement, génie civil, éléments finis

### **Modalités**

- Date de début : 01/03/2023
- Durée : 6 mois
- Localisation : EDF R&D Palaiseau ERMES
- Contact EDF : Estelle HERVE-SECOURGEON - Estelle.Herve-Secourgeon@edf.fr ou J.L.Fléjou, F.Voldoire - Francois.Voldoire@edf.fr

	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>ANALYSE DE SENSIBILITE DES PARAMETRES D'ENTREE D'UN MODELE D'ALEA SISMIQUE PROBABILISTE ET EVALUATION DU RISQUE SISMIQUE POUR DES REGIONS A FAIBLE SISMICITE</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES</b></p> <p style="text-align: center;">GROUPE T6C</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### **Mission**

Analyses de sensibilité des entrées du modèle PSHA, hypothèses, méthodes, incertitudes, quantifier leur impact sur les sorties d'intérêt

### **Contexte et explicitation du sujet**

#### **Contexte :**

L'évaluation probabiliste de l'aléa sismique, dite PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis), est une méthode couramment utilisée à l'internationale afin d'estimer le mouvement sismique susceptible d'être atteint ou dépassé pendant une période de temps donnée. En France, cette approche a été mise en œuvre pour établir la carte du zonage sismique réglementaire utilisée pour les constructions civiles. Dans le domaine du nucléaire, elle a été mise en œuvre suite à l'accident de Fukushima au Japon en 2011. Un calcul d'aléa sismique probabiliste prend en compte l'influence de toutes les sources sismiques susceptibles de générer des dégâts en un site, ainsi que leur distribution spatiale et temporelle.

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

Dans un calcul PSHA, des hypothèses sont faites à différents niveaux et de nombreux paramètres d'entrée doivent être ajustés en fonction de la visée du calcul. L'objectif du stage est de mener des analyses de sensibilité sur les principales entrées du modèle PSHA, c'est-à-dire d'explorer les effets des différentes hypothèses formulées, méthodes utilisées, ou des incertitudes des paramètres initiaux, afin de quantifier leur impact sur les sorties d'intérêt du calcul. Une liste non-exhaustive des entrées à étudier regroupe : les méthodes de détermination des lois de récurrence temporelle des séismes, la forme de la queue de distribution de ces lois, la magnitude minimum et le pas en magnitude considérés pour l'ajustement des lois de récurrence, les magnitudes minimum et maximum considérées dans l'intégrale du calcul, la géométrie et répartition des sources sismiques considérées (zones sources ou modèle lissé par exemple), etc. L'étude sera réalisée en considérant au moins trois régions géographiques du territoire français pour lesquelles les taux de sismicité diffèrent selon leur contexte sismotectonique (zone sismiquement active, zone d'activité modérée, et zone de faible activité).

Les analyses de sensibilité seront menées selon plusieurs stratégies :


- une première approche dite « one at a time (OAT) » consiste à étudier l'impact d'un paramètre spécifique en fixant l'ensemble des autres paramètres sur une valeur nominale. Cette approche relativement simple à mettre en œuvre permettra de mieux cerner l'influence directe d'une entrée sur la sortie, en facilitant la comparabilité des résultats, et ce en fonction de la région géographique étudiée.
- d'autres approches statistiques plus poussées, comme les indices de Sobol (décomposition de variance, etc.), pourront également être mis en place afin d'étudier les corrélations et interactions entre les différents paramètres d'entrée et leur impact conjugué sur les résultats d'aléa et de risque sismique.

### **Profil souhaité**

- Formation : BAC+5
- Compétences : Python, Mathématiques, Statistique

### **Modalités**

- Date de début : 01/03/2023
- Durée : 5 à 6 mois
- Localisation : Palaiseau et Bruyères-le-Châtel CEA
- Contact EDF : Gloria Senfaute - gloria.senfaute@edf.fr

	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>NOUVELLES APPROCHES POUR CALCULER LE RISQUE SISMIQUE D'UNE INSTALLATION NUCLEAIRE</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6C</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### ***Mission***

Evaluer de nouvelles méthodes probabilistes pour déterminer le risque sismique d'installations nucléaires par la simulation numérique

### ***Contexte et explicitation du sujet***

Le calcul du risque sismique d'une installation nucléaire comporte généralement les trois étapes suivantes 1) Evaluation de l'aléa sismique: calculer les probabilités de dépassement de mouvements sismique d'intensité croissante 2) Evaluation de la fragilité (vulnérabilité) des structures: calcul de la probabilité de défaillance conditionnelle à une intensité de mouvement sismique donnée 3) Intégration de la courbe d'aléa par rapport à la courbe de fragilité pour évaluer la probabilité de défaillance et in fine le risque via un arbre de défaillances.

Dans cette démarche, on caractérise généralement le mouvement sismique par un seul indicateur d'intensité. Or, d'une part, il est difficile de résumer la nocivité d'un signal sismique à un seul paramètre indicateur, et d'autre part, différentes structures peuvent être sensible à différents indicateurs (comme l'accélération maximale pour des structures très raides, le contenu fréquentiel basses fréquences pour des digues, la durée du séisme...).

On propose ici d'analyser la pertinence d'une nouvelle approche permettant de décrire l'intensité du mouvement sismique par deux indicateurs (ou plus) afin de remédier à ce problème et réduire les incertitudes dans les prédictions de la défaillance. On travaille alors avec des courbes d'aléa vectoriels (qui seront données en tant que entrées du problème) et des courbes de fragilité vectoriels qui seront à évaluer via des analyses numériques avec un code aux éléments finis (code\_aster). Par ailleurs, on mettra en œuvre une nouvelle approche pour la définition du chargement sismique par des mouvements de scénario au lieu d'un chargement enveloppe. Ces ingrédients nous permettront de calculer le risque sismique vectoriel et d'évaluer le bénéfice des nouvelles approches.

Ce stage se place dans le cadre d'une action du projet Européen EURATOM METIS (<https://metis-h2020.eu/>) en collaboration avec les partenaires académiques. Le projet METIS a pour objectif de proposer des méthodes innovantes accompagnées d'outils opensource pour améliorer la pratique actuelle pour le calcul du risque sismique d'installation nucléaires. Dans le cadre du projet, une méthode a été proposé pour construire des courbes d'aléa vectoriels qui sera une donnée d'entrée pour ce travail. Par ailleurs, dans le cadre du projet, des méthodes innovantes ont été proposées pour mieux définir le chargement sismique par des signaux temporels en meilleur accord avec l'aléa.


### ***Profil souhaité***

- Formation : Master2, 3ieme année d'école d'ingénieur
- Compétences : Dynamique des structures et Simulation numérique, Probabilités et Statistiques, Programmation (Python) , Génie parasismique

### ***Modalités***

- Date de début : 01/03/2023
- Durée : 6 mois
- Localisation : EDF Lab Paris Saclay
- Contact EDF : Irmela ZENTNER - [irmela.zentner@edf.fr](mailto:irmela.zentner@edf.fr)



	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>DES MODELISATIONS PAR ELEMENTS FINIS 1D DES EOLIENNES AUX MODELISATIONS 3D DES PALES : AMELIORATION DE LA METHODE DE TRANSFERT DES EFFORTS.</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES</b> GROUPE T6D</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### **Mission**

Comprendre les concepts et les procédures liées aux « méthodes d'application des forces »

Enrichir la méthode de Caous [1] par l'introduction d'un critère liés à la dynamique (accélération et moment dynamique)

### **Contexte et explicitation du sujet**

A travers sa filiale EDF Renewables (EDF R), EDF exploite de nombreux parcs éoliens dans le monde et assure la surveillance et le maintien des performances des équipements. Afin de mieux maîtriser l'impact de la présence de défauts (fissures, décollement, givre...) sur les pales, pouvant affecter les performances ou amener à des ruines précoces de l'équipement, les ingénieurs d'EDF R souhaitent disposer d'outils numériques leur permettant d'appréhender le comportement mécanique des pales. Ces outils peuvent être utilisés à des fins de dimensionnement de systèmes d'instrumentation destinés à la maintenance prédictive, ou encore à l'estimation de la durée de vie résiduelle pour optimiser les interventions de réparation. Dans ce cadre ils doivent pouvoir calculer les historiques des états de contraintes dans la pale, constituée de matériaux composites anisotropes, à partir des historiques de vent, afin d'évaluer les endommagements, par exemple en fatigue, que va subir la structure.

Ces outils numériques s'appuient typiquement sur deux types de simulations éléments finis qui sont chaînées :


1/ dans un premier temps, on met en œuvre des simulations à l'échelle de l'éolienne complète permettant, à partir des données de vent (et de vagues pour l'offsore), des paramètres opérationnels et des caractéristiques de l'éolienne (type de fondation et profilé des pales notamment) de calculer le chargement que subit la pale. Ces simulations dites « aéro-servo-élastique » sont basées sur des modèles simplifiés de type résistance des matériaux 1D (modèles poutre) et sortent les chargements sous la forme d'un torseur statique constitué d'une force et d'un moment. Des modèles 1D de ce type sont choisis car ils sont numériquement efficaces. Cependant, ils ne permettent pas d'accéder à des informations locales telles que les états de contraintes en des points spécifiques.

2/ ensuite, on met en œuvre des simulations de la pale uniquement pour évaluer les états de contraintes locaux issus de la mécanique des milieux continus.

Pour convertir les efforts résultants sur le modèle 1D (torseurs) en une répartition d'efforts s'appliquant sur le modèle 3D (pression), plusieurs auteurs ont proposé des méthodologies, avec l'idée de garder des temps de traitement raisonnables. Parmi les solutions proposées, la méthode de Caous [1] est très aboutie. Cette méthode itérative permet de faire converger l'effort en pression appliquée sur chaque section de la pale (appelée « polaire ») pour retrouver le torseur des efforts et moments résultants obtenus par la modélisation 1D. Cette convergence passe par celle des coefficients aérodynamiques de couplage portance-trainée de chaque polaire.

La méthode de Caous, à la fois élégante et pertinente, a déjà été implémentée dans nos outils numériques pour la partie statique des efforts [2]. Lors de ce stage, nous proposons de repartir de ce qui a été fait, et d'enrichir la méthode afin de prendre en compte les efforts inertiels en plus des efforts statiques.

Une thèse CIFRE entre EDF R&D et l'INSA Rouen démarrera en 2023 et aura pour objectif la mise en place d'un jumeau numérique d'une pale d'éolienne permettant d'évaluer la propagation de l'endommagement par fissuration. Les résultats obtenus pendant de ce stage seront utilisés dans le cadre de la thèse. Dans cette perspective, les candidats souhaitant poursuivre en thèse seront reçus en priorité.

	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>DES MODELISATIONS PAR ELEMENTS FINIS 1D DES EOLIENNES AUX MODELISATIONS 3D DES PALES : AMELIORATION DE LA METHODE DE TRANSFERT DES EFFORTS.</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6D</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

[1] Caous et al. 2018 : Load application method for shell finite element model of wind turbine blade, Wind Engineering 1-16

[2] Wilson Javier Veloz Parra, Probabilistic approach for fatigue life estimation of wind turbine blades using deep neural network, these de doctorat, 2020

#### **Profil souhaité**

- Formation : 3ème année d'école d'ingénieur ou équivalent
- Compétences : Mécanique (résistance des matériaux, mécanique des milieux continus), Modélisation par éléments finis, Développement de scripts en Python

#### **Modalités**

- Date de début : 01/03/2023
- Durée : 6 mois
- Localisation : EDF Lab Paris-Saclay (Palaiseau)
- Contact EDF : Astrid Filiot - astrid.filiot@edf.fr ou Samuel Jules - samuel.jules@edf.fr

	<p style="text-align: center;">SUJET DE <b>CREATION D'OUTILS DE CALCUL EN PYTHON</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6E</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### **Mission**

Création d'outils de calcul en Python et Qt

### **Contexte et explicitation du sujet**

#### **Contexte général**

Pour répondre quotidiennement et rapidement à des problèmes simples et très basiques, posés par les exploitants des différentes centrales de production d'énergie d'EDF, les centres d'ingénierie utilisent de nombreuses calculettes, généralement des feuilles Excel. Cependant, l'emploi de ces « calculettes » occasionne des problèmes tels que :

- L'usage d'un logiciel comme Excel nécessite l'achat d'une licence Windows ;
- Les nombreuses montées de version de ce logiciel impliquent de revoir régulièrement les feuilles de calcul ;

Un autre inconvénient, majeur celui-là, est qu'à un problème donné, plusieurs réponses peuvent être formulées suivant les hypothèses de calcul retenues par chaque centre d'ingénierie. Ce manque de rigueur est néfaste pour le suivi de la résolution des problèmes rencontrés par les centres de production d'énergie.

#### **Contexte particulier au stage**

Pour pallier ces inconvénients, d'un commun accord entre les Directions Clientes et la R&D, il a été décidé de réécrire ces calculettes Excel à l'aide de logiciels libres. Le choix s'est porté sur l'usage de langages de programmation tels que Python pour les algorithmes et Qt pour les IHM. Les Directions Clientes auront à leur disposition des runtimes, compatibles W10, en lieu et place des calculettes Excel. Ainsi, il ne sera plus possible de modifier les hypothèses de calcul qui seront sourcées et justifiées.

Le programme de travail proposé au stagiaire est le suivant, pour chaque Outil à coder :

- Sourcer les hypothèses employées dans l'Outil ;
- Reprendre l'algorithme de l'Outil au format Excel et le coder en Python ;
- Créer les IHM d'entrées / sorties avec Qt ;
- Valider le code avec un ou plusieurs cas tests fournis par les Directions Clientes ;
- Réaliser le runtime de l'Outil, compatible W10 ;
- Rédiger son mode d'emploi à l'adresse des Directions Clientes ;
- Rédiger une note de capitalisation de l'Outil (hypothèses de calcul, logigramme, etc.)


### **Profil souhaité**

- Formation : 3ème année d'école d'ingénieur ou master 2 en informatique
- Compétences : Python & Qt, environnement Linux & W10, Electrotechnique

### **Modalités**

- Date de début : 01/03/2023
- Durée : 6 mois
- Localisation : EDF Paris Saclay (Palaiseau)
- Contact EDF : Thierry JACQ - thierry.jacq@edf.fr



	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>DEVELOPPEMENT D'UNE INTERFACE PYTHON POUR MODELISER LES MOTEURS ELECTRIQUES</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6E</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### **Mission**

Développer une interface avec Python pour modéliser les moteurs électriques en éléments finis

### **Contexte et explicitation du sujet**

#### **CONTEXTE :**

Le département ERMES (Électrotechnique et mécanique des structures) à EDF R&D du site de Palaiseau propose un sujet de stage dans le domaine électrotechnique et plus particulièrement dans le domaine de la modélisation en haute fréquence (HF) des moteurs électriques.

Les impédances et admittances internes des moteurs électriques changent quand des fronts raides de tension sont imposés aux bornes du moteur. Ces fronts raides peuvent résulter de sources contenant des signaux hachés à cause des éléments d'électronique de puissance, ou à cause de la foudre, et peuvent impacter l'état de santé du moteur au niveau de son bobinage interne.

Afin de comprendre les phénomènes à l'intérieur du bobinage du moteur, la R&D a développé en Matlab une méthode de modélisation éléments finis du moteur, d'obtention des paramètres dépendants de la fréquence et de création du modèle HF à partir de ces paramètres.

#### **OBJECTIFS :**

L'objectif du stage est de :

- Coder la méthode de modélisation des moteurs électriques sur python.
- Développer une interface qui permet de faciliter la saisie des paramètres.
- Généraliser la modélisation à d'autres types et formes de moteurs électriques.

#### **TRAVAIL ATTENDU DANS LE STAGE :**

- Analyse de la méthode actuellement utilisée, principalement avec les logiciels Matlab et FEMM
- Développement d'une interface sur python qui réalise la modélisation paramétrique des moteurs en éléments finis avec le logiciel FEMM.
- Modélisation d'un moteur électrique à l'aide de l'interface développée et comparaison avec les résultats du code Matlab existant et avec les mesures disponibles.

### **Profil souhaité**

- Formation : BAC+5
- Compétences : Python, Matlab, Génie électrique, Modélisation éléments finis

### **Modalités**

- Date de début : 01/03/2023
- Durée : 5 à 6 mois
- Localisation : Palaiseau
- Contact EDF : Jalal CHEAYTANI - jalal.cheaytani@edf.fr ou Mircea FRATILA - mircea.fratila@edf.fr

	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>STAGE MONOPILE DANS 100 M DE PROFONDEUR D'EAU</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6E</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### ***Mission***

Dimensionnement d'un monopieu d'éolienne en mer en grande profondeur d'eau

### ***Contexte et explicitation du sujet***

Au-delà d'une profondeur d'eau de 60 m, il était communément admis que les fondations fixes n'étaient plus compétitives par rapport aux solutions flottantes. Cette limite symbolique a été repoussée par l'industrie lors des résultats à l'appel d'offre au large des côtes écossaises (70 m). Le dépassement de cette limite de profondeur a été possible grâce à des avancées technologiques des moyens d'installation et des levage.

Au cours de ce stage, le travail consistera à dimensionner une fondation de type monopieu dans 100 m de profondeur d'eau. Différentes tailles de turbine seront étudiées ainsi que différentes conditions de site. Un pré-dimensionnement sera réalisé avec l'outil fréquentiel DomyMP développé en interne à EDF R&D. Ensuite un dimensionnement plus avancé sera réalisé avec des simulations aero-hydro-servo-elastique en utilisant DIEGO également développé en interne. Selon l'avancement du stage un dimensionnement de fondations de type "jacket" pourra également être étudié.

### ***Profil souhaité***

- Formation : 3ème année d'école d'ingénieurs ; Master 2
- Compétences : Mécanique des structures, Dynamique des structures

### ***Modalités***

- Date de début : 01/03/2023
- Durée : 6 mois
- Localisation : EDF Lab Saclay
- Contact EDF : Anaïs Lovera - [anais.lovera@edf.fr](mailto:anais.lovera@edf.fr) ou Pierre Bousseau - [pierre.bousseau@edf.fr](mailto:pierre.bousseau@edf.fr)

	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>OUTIL OPERATIONNEL POUR LES ETUDES STRUCTURELLES DES EOLIENNES</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6E</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### ***Mission***

Développement d'outil et réalisation d'une étude exploratoire concernant le dimensionnement structurel d'une éolienne

### ***Contexte et explicitation du sujet***

Le développement de l'énergie éolienne est en forte croissance. Le groupe EDF participe activement à cette croissance que ce soit dans le secteur de l'éolien terrestre, dans celui de l'éolien offshore fixe ou dans celui de l'éolien offshore flottant. Le développement et l'exploitation des parcs éoliens nécessitent une bonne compréhension du dimensionnement et du comportement mécanique des éoliennes offshore. A cet effet, le groupe EDF a développé différents logiciels internes permettant d'évaluer, de caractériser et d'optimiser des structures d'éoliennes. Les efforts de développements se poursuivent avec la volonté de sécuriser le savoir faire, notamment à travers un environnement de scripts pour des études opérationnelles. Le stage pourra aborder trois volets, par ordre de priorité:

- le développement des scripts de réalisation d'études R&D sur la base des scripts existants, avec la rédaction d'un manuel utilisateur. Etudes de caractérisation, d'évaluation, d'estimation de durée de vie, d'optimisation de structure.
- la caractérisation de fonctionnements dégradés représentatifs de défauts en cours.
- des développements complémentaires sur des outils identifiés.

### ***Profil souhaité***

- Formation : 3ème année d'école d'ingénieurs, Master 2
- Compétences : Mécanique des structures, Dynamique des structures, affinité avec la programmation (python)

### ***Modalités***

- Date de début : 01/03/2023
- Durée : 6 mois
- Localisation : EDF Lab Saclay
- Contact EDF : Pierre Bousseau - pierre.bousseau@edf.fr ou Anais Lovera - anais.lovera@edf.fr



	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>DEFINITION D'UNE STRATEGIE OPTIMALE DE JUSTIFICATION MECANIQUE DE SUPPORTAGES DE TUYAUTERIES</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6A</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### ***Mission***

Comparer quantitativement des méthodologies de calcul de supportage et définir des recommandations sur stratégie optimale à employer

### ***Contexte et explicitation du sujet***

Pour les besoins des parcs Nucléaires existants et de ses nouveaux projets, la filière nucléaire Française utilise des outils de simulation pour des études dites de supportages de tuyauteries. Ces études visent à vérifier des critères réglementaires mécaniques sur la base de simulations par éléments finis sur éléments poutres 1D en élastique.

Dans le cadre d'un nouveau projet de R&D, EDF, Naval Group, Orano, Framatome et le CEA envisagent de développer un logiciel équivalent basé sur salome\_meca et le solveur code\_aster.

Plusieurs méthodologies existent et différents dans leur conservatisme et complexité de mise en oeuvre. Le stage consiste à :

1. Prendre en main 3 méthodologies existantes : Celle utilisée par l'ingénierie d'EDF ainsi que 2 développées par la R&D
2. Mettre en oeuvre dans salome\_meca et code\_aster ces 3 méthodologies par la mise en place de fichiers d'études, principalement en Python
3. Evaluer sur des cas industriels choisis comme représentatifs d'applications courantes, la précision, le conservatisme et la complexité de mise en oeuvre de chaque méthodologie
4. Proposer une stratégie industrielle optimale à complexité croissante de justification mécanique sur la base de ce retour d'expérience.

### ***Profil souhaité***

- Formation : Ingénieur mécanique
- Compétences : Calcul de structure, code\_aster, Salome GEOM + SMESH

### ***Modalités***

- Durée : 6 mois
- Localisation : EDF Saclay
- Contact EDF : Robin Degeilh - robin.degeilh@edf.fr ou Jean-Luc Flejou - jean-luc.flejou@edf.fr

	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>OPTIMISATION DU TEMPS DE LA VERIFICATION ET VALIDATION DANS LE CYCLE DE DEVELOPPEMENT DE CODE_ASTER</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6A</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### ***Mission***

Optimisation du temps de la vérification et validation dans le cycle de développement de code\_aster

### ***Contexte et explicitation du sujet***

Le stage proposé s'inscrit dans le cadre du développement et de la mise à disposition de l'ingénierie d'EDF de la plate-forme de simulation en mécanique salome\_meca et, en particulier, le code d'analyse en mécanique des structures code\_aster - <http://www.code-aster.org>.

La vérification et la validation de code\_aster consiste en l'exécution de plus de 4250 cas-tests, des plus élémentaires (quelques secondes) aux plus représentatifs d'études complètes (plusieurs heures).

Aujourd'hui, les tests sont vérifiés un à un sur les supercalculateurs (composés de plusieurs milliers de coeurs) comme autant d'études distinctes. La durée totale d'exécution dépend ainsi des ressources disponibles et des priorités définies sur les serveurs, ces derniers n'étant pas nécessairement configurés pour exécuter des milliers de petits calculs.

L'objectif de ce stage est de redéfinir la stratégie d'exécution des tests de vérification et de validation, d'une part, afin d'optimiser le temps de retour dans le but d'intensifier l'intégration continue des développements ; et d'autre part, d'utiliser au mieux les ressources des supercalculateurs en fonction des caractéristiques matérielles (noeuds/processeurs) et logicielles (batch, jobs arrays...).

### ***Profil souhaité***

- Formation : Ingénieur en informatique
- Compétences : Python, Gestionnaire de travaux Slurm, Git, calculs parallèles, code\_aster

### ***Modalités***

- Durée : 3 mois
- Localisation : EDF-Lab Saclay
- Contact EDF : Mathieu Courtois - [mathieu.courtois@edf.fr](mailto:mathieu.courtois@edf.fr)

	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>MODELISATION AVANCEE EN 3D DE GEOMETRIES COMPLEXES DE TUYAUTERIES</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6A</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### ***Mission***

Mise en place d'une méthodologie robuste de maillage 3D de tronçons complexes pour les études de flexibilité

### ***Contexte et explicitation du sujet***

Pour les besoins des parcs Nucléaires existants et de ses nouveaux projets, la filière nucléaire Française utilise des outils de simulation pour des études dites de flexibilité de tuyauteries. Ces études visent à vérifier des critères réglementaires mécaniques sur la base de simulations par éléments finis sur éléments poutres 1D en élastique.

Dans le cadre d'un nouveau projet de R&D, EDF, Naval Group, Orano, Framatome et le CEA développent un outil de simulation nommé Piping Master sur base salome\_meca et code\_aster. Ce nouvel outil a pour but de réaliser ces études 1D mais également d'apporter des méthodes avancées permettant des gains de marge importants via l'utilisation de modèles 3D coques et volumiques en élastique et élastoplastique. Ces méthodes sont déjà implémentées pour des géométries de tuyaux droits et de coudes.

Le stage est centré sur l'extension de cette méthodologie robuste de génération automatique de maillages 3D coques et volumiques pour des géométries plus complexes telles que des piquages (droits, inclinés, renforcés, multiples), des coudes à onglets, des assemblages boulonnés, des convergents et divergents non concentriques, etc.

Ces scripts de maillage devront être validés via la mise en place des cas-tests documentés comprenant des critères géométriques puis mécaniques sur un périmètre représentatif des cas d'application des ingénieries nucléaire. Enfin, ces fonctionnalités devront être intégrées dans l'Interface graphique et l'API de Piping Master.

### ***Profil souhaité***

- Formation : Ingénieur en mécanique
- Compétences : Maîtrise de Salome GEOM et SMESH, Python, code\_aster

### ***Modalités***

- Durée : 6 mois
- Localisation : EDF-Lab Saclay
- Contact EDF : Robin Degeilh - robin.degeilh@edf.fr ou Hassan Berro - hassan.berro@edf.fr



	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>RESILIENCE DES LIGNES HTB DE LA GUADELOUPE VIS-A-VIS DES CYLONES</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6C</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### **Mission**

Contribution à l'étude de la résilience du réseau de transport HTB de la Guadeloupe vis-a-vis des cyclones.

### **Contexte et explicitation du sujet**

L'objectif principal du stage est l'étude de la résilience des ouvrages HTB implantés en zone cyclonique. Les réseaux électriques de la Guadeloupe, de la Martinique, de la Réunion gérés par EDF SEI (Système Électrique Insulaire) sont exposés à des conditions climatiques très différentes de celles que l'on trouve en métropole. Leur niveau de fiabilité est en décalage avec les standards de la métropole du fait des conditions climatiques très différentes.

Ces structures sont majoritairement aériennes et donc fortement exposées au risque de ruine dû à des événements climatiques violents, comme lors du passage des ouragans Irma et Maria en 2017.

#### **Contexte :**

Dans la pratique industrielle, il est courant de concevoir les différents composants de l'ouvrage (câbles, pylônes, matériels d'équipement) à partir d'une approche de calcul statique en appliquant des coefficients intégrant l'effet dynamique des vents. L'inconvénient de cette approche est que, en particulier sur des phénomènes de vents violents tels que les cyclones, la réalité de la dynamique de l'évènement ne peut pas être prise en compte d'une façon systématique. De plus, le changement climatique fait que les cyclones sont plus fréquents et plus puissants et se pose donc la question de la résilience des ouvrages face à ces sollicitations plus élevées que celles prises lors de leur conception.

#### **Objectif du stage :**

Un des objectifs du stage est de mettre en œuvre une méthodologie intégrée à Salome\_Meca afin d'en utiliser les résultats dans les outils de calcul de résilience des réseaux. Cette méthodologie intégrera la mise en données (géométrie de la ligne, maillages, caractéristiques mécaniques, ...) afin d'évaluer le comportement dynamique des lignes aériennes HTB.

Les résultats de cette étude devront permettre d'identifier les actions pour l'amélioration de la résilience du réseau face aux cyclones.

Ce stage est l'occasion de travailler sur la modélisation dynamique non linéaire des éléments de structure appliquée à une problématique industrielle en lien avec les enjeux de EDF SEI.

### **Profil souhaité**

- Formation : Ingénieur mécanique
- Compétences : Calcul de structure, Salome GEOM et SMESH, Python, code\_aster

### **Modalités**

- Durée : 6 mois
- Localisation : Saclay EDF R&D Lab
- Contact EDF : André Reinert-Bruch - [andre.reinert-bruch@edf.fr](mailto:andre.reinert-bruch@edf.fr) ou Jean-Luc Fléjou - [jean-luc.flejou@edf.fr](mailto:jean-luc.flejou@edf.fr)

	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>CALCUL DE LA REPONSE DE SITE DANS LE CADRE D'UNE ANALYSE DE RISQUE SISMIQUE D'UNE INSTALLATION NUCLEAIRE</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6C</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### ***Mission***

Etudes de réponse de site probabilistes tenant compte de la variabilité du mouvement sismique et des incertitudes du modèle

### ***Contexte et explicitation du sujet***

Dans le contexte Post-Fukushima, EDF doit réaliser des modélisations d'effets de site particuliers pour certains sites du parc nucléaire, en tenant compte des incertitudes associées aux mesures et aux modèles employés. On appelle effets de site la modification du mouvement sismique dans couches sédimentaires en proche surface sur un site particulier. Ces modifications sont liées à la diffraction des ondes sismiques lors de la propagation à travers les couches de sol et d'autres configurations géométriques comme la présence d'un bassin.

Ce stage se place dans le cadre d'une action du projet Européen EURATOM METIS en collaboration avec des partenaires académiques. Le projet METIS a pour objectif de proposer des méthodes innovantes accompagnées d'outils opensource pour améliorer la pratique actuelle pour le calcul du risque sismique d'installation nucléaires.

### ***Enjeux et objectifs du stage***

- Représentation de la réponse de site plus complexe par un modèle simplifié et équivalent linéaire permettant de mener des études probabilistes dans un cadre industriel
- Hiérarchiser les contributeurs à la variabilité du mouvement sismique à considérer pour les études de sûreté

### ***Etapes du stage***


- Etude bibliographique sur les approches de réponse de site et définition du chargement sismique, prise en main des outils, notamment le code\_aster (code\_aster.org)
- Construction d'un modèle 1D pour calculer la réponse de site pour le site pilote du projet METIS, quantification des incertitudes du modèle de sol et du mouvement sismique, plan d'expérience et propagation
- Etudes de sensibilité et paramétriques pour analyser la contribution des variabilités des différentes composantes du modèles (signaux, géométrie, propriétés des couches de sol) à la variabilité finale
- Analyse de la convergence, notamment nombre de signaux sismiques à utiliser
- Rédaction du rapport de stage

### ***Profil souhaité***

- Formation : Master2, école d'ingénieur
- Compétences : Dynamique des structures et Simulation numérique, Probabilités et Statistiques, Programmation (Python) , Génie parasismique

### ***Modalités***

- Durée : 6 mois
- Localisation : EDF Lab Paris Saclay
- Contact EDF : Irmela ZENTNER - irmela.zentner@edf.fr ou Vinicius ALVES-FERNANDES - vinicius.alves-fernandes@edf.fr

	<p style="text-align: center;">SUJET DE</p> <p style="text-align: center;"><b>REDUCTION DE MODELES APPLIQUEE AUX MACHINES SYNCHRONES</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE ET MECANIQUE DES STRUCTURES GROUPE T6F</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### **Mission**

Transposition des méthodes de réduction de modèles des machines asynchrones pour les alternateurs à pôles saillants

### **Contexte et explicitation du sujet**

L'hydraulique est la première source d'énergie électrique renouvelable. La conversion d'énergie est assurée par des alternateurs. Les alternateurs hydro-électriques interagissent de différentes façons avec le réseau électrique auquel ils sont connectés durant leur mode de fonctionnement normal suivant la technologie sur laquelle s'appuie leur fabrication. Il faut donc se doter de modèles fiables qui permettent de simuler de manière réaliste le comportement de ces machines couplées au réseau électrique de manière à pouvoir prédire leur comportement. Il est possible actuellement de construire des modèles d'alternateurs hydro-électriques basés sur la méthode des éléments finis pour caractériser des points de fonctionnement. Ces modèles sont fidèles et peuvent être utilisés pour rechercher la réponse d'un alternateur hydro-électrique à une sollicitation électrique. Cependant, leur résolution conduit alors à des temps de calcul souvent très élevés ce qui constitue un frein à une exploitation intensive.

Depuis quelques années, des méthodes de réduction sont appliquées à des modèles de machines électriques basées sur la méthode des éléments finis permettant de réduire drastiquement le nombre d'inconnues et les temps de calcul. Le point clé pour que le modèle réduit soit fidèle reste la détermination de la base réduite. La méthode de réduction la plus connue est la POD (Proper Orthogonal Decomposition) associée avec la DEIM (Discrete Empirical Interpolation Method) pour prendre en compte les termes non linéaires. Cette base doit être calculée en fonction de la plage de fonctionnement à modéliser et des grandeurs d'intérêt recherchées. Or, la diversité des technologies et les diverses configurations qu'elles induisent, complexifient le calcul de la base réduite. Il n'existe pas actuellement de méthodologies systématiques (ou alors très coûteuse en temps de calcul) permettant la détermination de cette base réduite pour une application industrielle impliquant des non-linéarités magnétiques et du mouvement.

Un premier travail doit être consacré à la bibliographie pour prendre en main les méthodes de réduction de modèles les plus adaptées à des alternateurs du parc hydraulique.

La seconde partie de l'étude doit concerner la mise au point de modèles basés sur la méthode des éléments finis. Ces derniers seront construits et analysés (géométrie + maillage + solveur éléments finis + post-traitement) pour les technologies les plus représentatives de manière à en déduire les propriétés dérivées des modèles éléments finis à résoudre. Sur la base de ces propriétés, les méthodes de réduction les plus appropriées seront testées et comparées de manière à en déduire la plus performante pour l'application visée.

La troisième partie de l'activité consistera à mettre en forme les résultats obtenus précédemment. Ceci se concrétisera par la rédaction d'un guide de construction des modèles réduits pour les alternateurs du parc hydraulique.

### **Profil souhaité**

- Formation : 3e année d'école d'ingénieurs, Master 2
- Compétences : Eléments finis, langage Python, bases solides en calcul scientifique

### **Modalités**

- Date de début : 01/03/2023
- Durée : 6 mois
- Localisation : EDF Lab Paris Saclay
- Contact EDF : Mircea FRATILA - [mircea.fratila@edf.fr](mailto:mircea.fratila@edf.fr) ou Théo DELAGNES - [theo.delagnes@edf.fr](mailto:theo.delagnes@edf.fr)