

# STAGES DE FIN D'ÉTUDES

2024 - 2025

Ingénieur généraliste

Thématiques d'approfondissement

## DEMIN & DEMIN\*

Développement Et Management des  
Installations Nucléaires



**IMT Atlantique**

Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

# DEMIN

CEA, Saint-Paul lez Durance (13), France

**Elisabeth BUREL**

Utilisation d'un estimateur développé en physique des réacteurs pour l'imagerie



Le CEA de Cadarache est l'un des 9 centres de recherche du CEA, acteur majeur du développement et de l'innovation pour la défense et la sécurité, les énergies bas carbones et la recherche technologique au service de l'industrie. Dans ce contexte, le projet de stage porte sur la transposition d'estimateurs développés à l'origine pour la physique des réacteurs à des cas du domaine du contrôle non destructif, en particulier à l'imagerie radiographique. L'objectif principal est d'évaluer les performances de ces estimateurs statistiques pour déterminer leur pertinence pour la reconstruction d'images radiographiques. Un état de l'art de la méthode de simulation Monte-Carlo est réalisé, ainsi qu'une analyse théorique des estimateurs d'intérêt implémentés dans Tripoli-4®. Ces estimateurs sont ensuite mis en œuvre sur une configuration CIVA fournie par l'équipe en charge du développement de ce logiciel. Les performances obtenues sont comparées à celles issues des estimateurs classiques de Tripoli-4®. Des analyses complémentaires sont menées pour envisager une implantation partielle sur GPU. Enfin, le rapport de stage permet de contribuer au développement d'un estimateur next-event dans l'environnement CIVA, sur GPU.

EDF, Chatou (78) France

**Camille CHANTOT**

Data analyse pour améliorer la performance des générateurs de vapeur



Le stage se déroule au sein du département MFEE (Mécanique des Fluides, Energies et Environnement) d'EDF R&D, en coopération avec l'UNIE (Unité d'Ingénierie d'Exploitation). Les générateurs de vapeur (GV) assurent l'alimentation en vapeur du groupe turbo-alternateur, producteur d'électricité et participent aux fonctions de sûreté en permettant l'évacuation de l'énergie issue de la fission nucléaire. La partie secondaire des GV subit deux phénomènes : l'encrassement du faisceau tubulaire par des dépôts de résidus, et le colmatage des passages foliés des plaques entretoises. Le premier altère l'efficacité du transfert thermique entre primaire et secondaire, le second induit des efforts sur les faisceaux tubulaires pouvant conduire à une rupture de tube(s) du générateur de vapeur. Deux indicateurs sont utilisés pour suivre ces phénomènes, en fonctionnement : la pression dôme GV pour l'encrassement et le niveau d'eau dans le GV, pour le colmatage. Dans une optique d'optimisation de leur stratégie de maintenance (nettoyages chimiques ou remplacements), ce stage s'intègre dans la phase de test, validation et déploiement d'un outil de prévision de ces indicateurs, dans un jumeau numérique de ce composant complexe. Par la programmation et le développement de code, ce stage permet de faire de l'analyse de données sur un cas industriel concret.

## CELIA, Talence (33), France

### Victor DUBUS-CHANSON

Optimisation par IA générative de cibles hélicoïdales pour l'accélération d'ions par laser



Ce stage se déroule au laboratoire CELIA (Centre Lasers Intenses et Applications) dans le groupe IFCIA (Interaction, Fusion par Confinement Inertiel, Astrophysique), travaillant notamment sur le projet Taranis initié par Thalès, dans le but de démontrer la rentabilité d'un réacteur de fusion par confinement inertiel. L'accélération d'ions par laser est un domaine clé pour la fusion nucléaire, mais aussi pour la médecine et l'astrophysique. L'utilisation de cibles hélicoïdales est un moyen intéressant pour post-accélérer, sélectionner en énergie et focaliser le faisceau de protons généré par impact du laser. Les expériences de simulation se faisant généralement sur le code de calcul haute performance PIC Sophie, nécessitant des temps de traitement très élevés, le CELIA a développé DoPPLight, un code approximant les solutions, avec une bonne précision et une meilleure efficacité. La mission consiste en la conception d'une IA générative (auto-encodeur variationnel), et son entraînement en utilisant des bases de données de profils d'hélices de pas et rayon variables réalisées dans DoPPLight, dans le but de déceler des formes de profils optimales permettant les meilleures accélération, sélection et focalisation du faisceau de protons.

## EDF, Saint Denis (93), France

### Sacha HLINKA

Optimisation de la production nucléaire : automatisation et analyse de données



EDF est le principal producteur et fournisseur d'électricité en France. La DOAAT (Direction Optimisation Amont/Aval et Trading) joue un rôle clé dans la gestion des achats, ventes, prévisions et optimisations d'énergie, afin d'assurer l'équilibre offre-demande et la rentabilité du système électrique. La stage prend place au sein de l'équipe SoData, dont le rôle est de valoriser les données. Le stage est reparti en plusieurs missions : la réalisation de livrables, tel que le bilan nucléaire. C'est un livrable mensuel faisant un état des lieux de la production des centrales durant le mois face aux prévisions ; le développement d'une application permettant d'automatiser la réalisation de ces livrables d'analyse ; et la réalisation d'analyses de données pour des demandes au fil de l'eau. Cela peut aller d'une question sur une donnée précise à la réalisation d'analyses plus poussées sur la modulation des centrales depuis les années 90 par exemple. Le stage permet d'appréhender les enjeux autour de la production d'énergie nucléaire et met en avant l'importance de l'optimisation et de la gestion de cette production face à la consommation. Au delà des missions, cette expérience permet d'être en relation et d'échanger avec de nombreux collaborateurs de secteurs d'activité différents.

## EDF, Flamanville (50), France

### Valentin TALIO

Préparation d'un audit WANO et inspection nucléaire



Ce stage s'effectue au sein du groupe EDF, acteur majeur du secteur énergétique en France et en Europe. Il se déroule plus précisément dans le Service Ingénierie de la centrale nucléaire de type EPR située à Flamanville. La mission s'inscrit dans le cadre de la préparation d'un audit mené par WANO (World Association of Nuclear Operators) ainsi que par l'Inspection Nucléaire d'EDF. L'objectif est d'évaluer la conformité du site aux meilleurs standards internationaux afin de le faire progresser par la suite. Une des missions porte sur la rédaction d'un document de référence, à destination des auditeurs, décrivant le fonctionnement et l'organisation du domaine ingénierie sur le site. Une auto-évaluation de la centrale est également réalisée afin de garantir la pertinence des réponses apportées aux critères d'évaluation de WANO. Par ailleurs, la mission comprend le pilotage d'un plan de communication interne destiné aux membres du service ingénierie. Ce plan prévoit l'animation de points d'informations portant sur des sujets techniques et organisationnels clés. Le but est de renforcer la culture du domaine ingénierie et de préparer les collaborateurs à répondre aux sollicitations des auditeurs. Ces différentes

missions contribuent à renforcer la préparation du site en vue de l'audit.

EDF, Lyon (69), France

**Roman TOMCZAK**

Etude et modélisation de l'évolution de la température et du niveau d'eau d'une piscine nucléaire



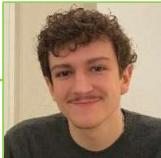
La Direction des Projets Déconstruction et Déchets (DP2D) est le département d'EDF pilotant le démantèlement des installations nucléaires en France. Le Groupe Sûreté (GS) s'occupe d'identifier et de prévenir les risques de l'installation en cas de fonctionnements accidentels. Ainsi, GS analyse l'impact radiologique ou non-radiologique du démantèlement des installations sur les intérêts protégés (sécurité, protection de l'environnement, santé et salubrité publiques). L'APEC (Atelier Pour Entreposage du Combustible) est une installation nucléaire en exploitation dédiée à l'entreposage des combustibles provenant du réacteur à l'arrêt SuperPhénix à Creys-Malville. Dans le cadre du réexamen périodique qui a lieu tous les dix ans, GS doit fournir à l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire et Radiologique) un rapport complet sur l'APEC afin de réévaluer la sûreté de l'installation. La mission de stage intervient dans ce cadre. Il s'agit d'étudier la piscine de combustibles en l'absence des systèmes de refroidissement et de ventilation. Il est ainsi demandé de modéliser l'évolution de la température et du niveau d'eau de la piscine. Ces paramètres doivent respecter certains seuils imposés afin de respecter la sûreté de l'installation. L'étude de leurs évolutions est donc primordiale afin de fournir à l'ASN la démonstration de sûreté qu'elle instruira dans le cadre du réexamen.

# DEMIN\*

CEA, Saclay (91), France

**Louis AGOSTIN**

Construction et validation d'un modèle de substitution pour l'optimisation du repositionnement de combustible sur un réacteur nucléaire (REP1300)



Dans un réacteur à eau pressurisée 1300 MW (REP 1300), le rechargement influe directement sur la performance et la sûreté de la centrale. Une des solutions proposées est d'optimiser le repositionnement du combustible lors de cette étape. Pour cela, on cherche à modéliser un modèle prédicteur qui permettrait d'estimer les pics de puissance et le taux de combustion sur la base de calculs réalisé avec le code d'APOLLO3 sur un cycle d'irradiation complet. En 2024, un modèle de substitution de cette fonction basée sur la décomposition harmonique dans la base des représentations orthogonales de Young (YOR) a été développé mais il était limité aux permutations d'assemblages UGd. Mon stage vise à étendre cette approche aux assemblages UOX, dont l'espace de permutations est bien plus vaste, afin de valider ce modèle dans un algorithme d'optimisation opérationnelle du repositionnement du combustible. Ce travail, réalisé au CEA/SERMA (Service d'Études des Réacteurs et de Mathématiques Appliquées) est en collaboration avec le LMPA (Laboratoire de Mathématiques Pures et Appliquées) de l'Université du Littoral Côte d'Opale et du LISIC (Laboratoire d'Informatique Signal et Image de la Côte d'Opale), allie neutronique et mathématiques appliquées pour améliorer les performances des centrales nucléaires au regard de critères de sûreté et technico-économiques.

Capgemini engineering, Cherbourg (50), France

**Nino ALAPETITE**

Traitements de données techniques pour l'analyse de sûreté des installations nucléaires



Capgemini Engineering, leader mondial des services d'ingénierie, est une filiale de Capgemini à l'intérieur de laquelle se rassemble de nombreux ingénieurs de divers domaines allant de l'informatique à la sûreté nucléaire en passant par la gestion de projet. L'objectif du stage est de participer à plusieurs missions de réalisation d'études au sein du plateau sûreté nucléaire dans un projet de maîtrise d'œuvre pour le client d'Orano La Hague. Ces missions sont des études conformité vieillissement d'équipement important pour la protection témoins et la rédaction de documents du référentiel de sûreté. Pour cette dernière mission, l'équipe réalise des études sur l'ensemble des phases du projet. Dans ce cadre, la mission est de rédiger à la fois une description précise et rigoureuse des changements et des actions réalisées lors des travaux avec une analyse de sûreté de chaque risque identifié avec les notes de justifications appropriées. Des dossiers de conformité vieillissement sont aussi rédigés en parallèle. Ce travail s'appuie sur la récupération de données fiables pour la réalisation des analyses de sûreté en coopération à la fois avec les membres de l'équipe mais aussi les autres branches métiers.

## Assystem, Bruyères-le- Châtel (91), France

### Mathias ARGENCE

Analyse de sûreté d'un système de ventilation pour une installation de stockage de combustible nucléaire



Fort de décennies d'expérience dans le secteur de l'industrie nucléaire, Assystem fournit des services d'ingénierie, de management de projet ainsi que des solutions et services digitaux pour optimiser la performance de projets d'infrastructures complexes tout au long de leur cycle de vie. Dans le cadre d'un projet lié au stockage de combustible nucléaire usé, la mission porte sur la réalisation d'analyse de sûreté afin de dimensionner les réseaux de ventilation avec pour finalité l'élaboration d'exigences de sûreté. Ce système joue un rôle essentiel dans le confinement de la matière radioactive, en garantissant la maîtrise des flux d'air et de l'épuration de l'air de l'installation. Le stage débute par une phase d'apprentissage approfondi de la réglementation et de la méthodologie du CEA en matière de sûreté nucléaire. Dans un second temps, l'étude de sûreté commence. Une analyse de risques est menée : les scénarios entraînant la dissémination de matière nucléaire ainsi que leurs conséquences, en particulier leurs impacts radiologiques y sont étudiés. Suite à cela, si les objectifs sanitaires ne sont pas respectés, des dispositions de défense en profondeur sont imposées. Ce processus itératif permet de garantir la sûreté des installations nucléaires.

## AtkinsRéalis, Abu Dhabi, Émirats Arabes Unis

### Sophia ALLEAU

Gestion des déchets radioactifs pour une centrale nucléaire



AtkinsRéalis (anciennement SNC-Lavalin) est un géant mondial de l'ingénierie et du nucléaire, bien que son nom reste encore discret dans le paysage français. Initialement basée au Canada, l'entreprise est aujourd'hui le principal développeur de la technologie CANDU : une filière de réacteurs nucléaires à eau lourde reconnue pour sa fiabilité et son autonomie en uranium naturel faiblement enrichi. Au sein des bureaux d'AtkinsRéalis à Abu Dhabi, la mission est de réaliser une étude de faisabilité portant sur l'incinération des déchets radioactifs de faible activité issus d'une centrale nucléaire aux Émirats Arabes Unis. L'objectif est de réduire leur volume en utilisant un incinérateur existant, actuellement dédié aux déchets radioactifs de l'industrie pétrolière. Le projet se déroule en trois phases: la première consiste à identifier les termes sources, c'est-à-dire les radionucléides présents dans les déchets et leur activité. Dans une phase 2, les évaluations techniques sont réalisées via la modélisation et la préparation des justifications de sûreté nécessaires à l'obtention de la licence d'exploitation auprès du régulateur. La dernière phase est la préparation du dossier de conformité réglementaire à soumettre au régulateur.

## Ai4R, Nantes (44), France

### Nicolas AUGER

Développement d'une caméra d'autoradiographie alpha



Ai4R est le leader mondial dans le domaine de l'autoradiographie numérique en temps réel, une technique d'imagerie permettant de visualiser et de quantifier de façon précise la répartition de la radioactivité au sein d'échantillons biologiques ou minéraux. Elle présente notamment des applications en médecine nucléaire pour le développement de traitements contre le cancer par radiothérapie vectorisée, ainsi que le traçage d'éléments radioactifs dans l'environnement (en géologie par exemple). Le but de ce stage est d'étudier la possibilité de concevoir une caméra d'autoradiographie dédiée à l'imagerie de radionucléides émetteurs alpha pour des applications en médecine nucléaire en évaluant ses caractéristiques (robustesse, fiabilité, qualité des images, résolution spatiale, etc....). Ce travail consiste en : une étude bibliographique et un état de l'art du domaine ; la conception, le montage et la mise en service d'un banc de test pour l'acquisition d'images ; à l'analyse et l'implémentation d'algorithmes et de méthodes de reconstruction et de traitement d'images ; et la conception d'une simulation permettant d'évaluer et/ou de prédire les performances du système ainsi que d'étudier l'influence de différents paramètres sur ces performances.

## Assystem, Marseille (13), France

### Alice Baudry

#### Études de sûreté incidentelle et accidentelle dans le cadre de l'ingénierie du parc nucléaire



Assystem est une entreprise internationale qui accompagne les gouvernements, exploitants et constructeurs dans le développement de leurs programmes d'infrastructures complexes. En particulier, les équipes d'Assystem proposent des offres complètes en ingénierie, digital et management de projet, à chaque étape du cycle de vie d'une installation nucléaire. Sur le site de Marseille, au sein de l'équipe Conduite Incidentelle et Accidentelle des réacteurs (CIA), l'objectif du stage est d'étudier et de concevoir des scénarios de retour à l'état sûr des réacteurs à la suite de différents accidents, selon les règles de conduite et procédures d'exploitation des centrales dans le cadre d'étude de sûreté. Chaque scénario est accompagné d'une synthèse des informations ICPA (Informations Conduite Post-Accidentelle). Les "chemins sûrs" produis sont ensuite analysés par la DIPDE (Division d'Ingénierie du Parc et De l'Environnement), une division d'EDF. Cette dernière vérifie la cohérence des chemins avec les données du Rapport De Sûreté, et se sert des ICPA produits pour des potentiels requalifications de matériel. La mission consiste également à analyser et étudier les consignes de conduite utilisées par les opérateurs en centrales, et d'en étudier les distinctions entre chaque palier.

## ASN, Fontenay-aux-Roses (92), France

### Flavien BAZON

#### Quantification des incertitudes sur la fluence neutronique cuve dans les réacteurs nucléaires (REP 900)



L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASN) est l'organisme public chargé, au nom de l'État, de veiller à la sûreté des installations nucléaires civiles et à la protection des populations et de l'environnement face aux rayonnements ionisants. C'est au sein de cette entité, dans le service neutronique-criticité, que le stage a lieu. Sur la thématique de l'analyse des incertitudes sur la fluence neutronique dans la cuve des réacteurs à eau pressurisée (REP) de 900 MWe du parc français. La fluence représente le cumul des neutrons ayant traversé un matériau au cours du temps. La quantification de cette fluence est cruciale, car la cuve est un des composants du réacteur qui ne peut être remplacé. Son exposition prolongée aux neutrons entraîne un durcissement, la rendant plus fragile, ce qui limite la durée de vie du réacteur et constitue un enjeu majeur de sûreté à long terme. Les incertitudes sur les paramètres d'entrée (données nucléaires notamment) se propagent au travers des calculs de neutronique et influencent directement l'estimation de cette fluence. Le travail consiste à quantifier cette propagation d'incertitudes en utilisant des codes de calcul déterministes comme CASMO pour les calculs à l'échelle du crayon combustible, et SIMULATE pour les calculs cœur.

## Dalkia, Nantes (44), France

### Louis BLANCHARD

#### Analyse des marchés de l'énergie



Dalkia est une entreprise filiale du Groupe EDF, experte en prestations de services énergétiques dans les industries, les services aux bâtiments et les réseaux de chaleurs, mais aussi de froids, de vapeur et d'air comprimé. Face aux enjeux environnementaux et d'économies d'énergies, Dalkia s'engage dans la décarbonation et la performance de ses activités afin de répondre au mieux à ses clients. Le contrat de professionnalisation se déroule au sein de la Cellule Energie du Centre de Pilotage et de la Performance ayant la responsabilité des achats d'énergie et le suivi du portefeuille élec, gaz, biomasse... de la région. Les missions réunies autour de l'analyse des marchés de l'énergie, se déclinent sur deux axes principaux. Le premier intègre l'optimisation des coûts d'acheminement de l'électricité pour les différents sites tout en intégrant la création et déploiement d'outils de suivi pour les changements effectués. Le deuxième consiste à valoriser les actifs de production de la région (cogénérations) sur le marché de l'électricité en prévision de leur sortie de leur obligation d'achat (achat obligatoire de l'électricité par les fournisseurs). Des missions ponctuelles de formation, gestions réglementaires de taxes énergétiques et optimisation d'achat gaz viennent s'ajouter à celles-ci.

## Subatech, Nantes (44), France

### Maxime BLOCH

#### Contribution à l'analyse des signaux d'ondes gravitationnelles pour des mesures cosmologiques



Constante de Hubble par inférence avec des Ondes Gravitationnelles : travailler au sein de la collaboration LVK pour la préparation et l'analyse de données. Le laboratoire Subatech est membre de la collaboration LVK qui exploite un réseau de 3 interféromètres de Michelson géants capables de détecter le passage d'ondes gravitationnelles émises lors de coalescences d'astres massifs (trous noirs et étoiles à neutrons) qui peuvent être couplés en systèmes binaires et finir par fusionner. Ces systèmes émettent des ondes gravitationnelles jusqu'à ce qu'ils fusionnent. La première détection a eu lieu le 2015 et avec actuellement environ 200 événements détectés. À partir de ce catalogue, les caractéristiques décrivant l'ensemble de la population observée ainsi que la constante de Hubble qui mesure la vitesse d'expansion de l'Univers sont mesurés. Le stage permet de découvrir ce sujet fascinant des ondes gravitationnelles (prix Nobel 2017), de comprendre le lien avec la cosmologie via la constante de Hubble, et d'analyser les données de la collaboration LVK. Dans un premier temps, il s'agit de comprendre dans ses grandes lignes le signal mesuré et ses dépendances avec les caractéristiques du système binaire, puis dans un second temps, l'étude de l'ensemble de la population est menée.

## HEXANA, Aix-en-Provence (13), France

### Leon BOIVIN PETIT

#### Réalisation d'un code de couplage neutronique/thermohydraulique sur un cœur de réacteur à neutron rapide



HEXANA est une start-up française qui conçoit une plateforme énergétique alliant des réacteurs nucléaires modulaires à neutrons rapides refroidis au sodium et un système de stockage thermique. Le stage se déroule au sein de l'équipe neutronique d'HEXANA qui réalise la conception du cœur de ces réacteurs de 4e génération et de leurs assemblages. Le but du stage est de réaliser un couplage neutronique / thermohydraulique avec les outils de calcul développés au sein de cette équipe. Les équations neutroniques, dont l'étude est nécessaire pour une conception sûre d'une chaudière nucléaire, sont dépendantes des températures des matériaux que l'on étudie. Un couplage multiphysique est donc obligatoire dans la construction d'outils de calcul pour la physique des réacteurs. L'objectif du stage est de quantifier les effets de contre réaction thermohydraulique et thermique sur la répartition de la puissance dans le cœur du réacteur et de mettre en place des codes de couplages si les effets sont significatifs. Les codes ainsi développés participent à l'optimisation du cœur conçu par HEXANA. Ils permettent également de comprendre l'impact de certains choix de design sur le comportement physique de ce cœur et d'approfondir l'étude de paramètres importants pour la sûreté.

## CEA, Saint-Paul-Lez-Durance (13), France

### Arthur BOURMAUD

#### Couplage neutronique/thermohydraulique et étude de transitoires appliqués aux réacteurs à sels fondus



Le CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) est un acteur majeur de la recherche dans le domaine du nucléaire. Le stage s'effectue au sein du Laboratoire d'Études des Cœurs et du Cycle (LE2C) chargé de calculs d'irradiation, d'activation et d'évolution de matière en soutien aux activités du cycle nucléaire, d'études de scénarios nucléaires et d'études et conception neutronique de réacteurs notamment de quatrième génération. De ce fait, l'équipe est notamment chargée du développement de nouveaux concepts de réacteurs tels que les Réacteurs à Sels Fondus (RSF). L'objectif du stage est de développer un réacteur expérimental de type RSF capable d'être représentatif de RSFs de haute puissance afin de servir de source de données expérimentales pour les différents industriels partenaires du CEA travaillant sur des concepts similaires. La mission consiste à effectuer des études de sensibilités couplant neutronique et thermohydraulique afin de déterminer les différentes caractéristiques et points de fonctionnement du réacteur tout en assurant que le réacteur soit sûr quel que soit le transitoire considéré. Cela inclut la géométrie même du réacteur, la composition du sel combustible mais également le dimensionnement et le design de la partie thermohydraulique. Pour cela, des simulations sont faites à l'aide de codes de neutronique de type Monte-Carlo tels que Serpent et de codes de thermohydraulique développés en interne au CEA.

## EDF, Lyon (69), France

### Hugo BOURRELY

Valorisation d'algorithmes de recherche automatique afin d'optimiser la recherche de plans de chargement de réacteurs



Ce stage est réalisé à la Division de la Production Nucléaire d'EDF au sein de l'Unité d'Ingénierie pour l'Exploitation - Groupe Exploitation Cœur Combustible (UNIE – GECC). Il s'agit d'une unité d'ingénierie dont la mission est l'appui opérationnel aux Centres Nucléaires de Production d'Électricité. En particulier, le groupe est chargé de la fourniture des plans de chargement du combustible de toutes les centrales. Un plan de chargement est défini par une liste d'assemblages combustible ainsi que le placement de ces assemblages au sein de la cuve. Ces plans doivent être réalisés en respectant l'évaluation de la sûreté de la recharge et en prenant en compte les contraintes d'exploitation comme la manœuvrabilité des tranches et la durée de cycle prévue par le planning d'arrêt. Les exigences de sûreté et de production s'intensifient et mènent à une complexification croissante de la recherche de plan. Dans ce cadre, la R&D d'EDF travaille sur des algorithmes de recherche automatique de plans. Au sein de GECC et en lien avec la R&D, la mission consiste à améliorer ces algorithmes afin de mieux répondre au besoin des utilisateurs et à leur usage puis à évaluer leur performance dans un contexte opérationnel.

## Naval Group, Indret (44), France

### Florian BRETEAU

Évaluation de la conformité et optimisation de la gestion des activités nucléaires



Le stage se déroule au sein de Naval Group, groupe industriel français, acteur et leader international du naval de défense. Le groupe est présent sur l'entièreté du cycle de vie des navires, en allant de la conception jusqu'au démantèlement. Plus spécifiquement, le site d'accueil du stage est celui de Nantes-Indret. Ce dernier est spécialisé dans la conception, la fabrication, les essais et l'entretien des systèmes et équipements pour la propulsion de navires de surface et de sous-marins. La propulsion nucléaire en particulier implique une gestion précise et encadrée des différents éléments contaminés et de déchets en résultant. Ainsi, l'objectif de la mission est d'établir un état des lieux des différentes activités nucléaires d'une installation du site en parallèle d'une analyse réglementaire afin de mettre en valeur d'éventuels écarts avec l'existant. Une fois ces écarts déterminés, les différents documents concernés doivent être mis à jour afin qu'il n'y ait plus d'écarts. La mission consiste aussi à participer à la mise à jour du Plan d'Urgence Interne (PUI) qui envisage différents scénarios accidentels ou incidentels. La mise à jour portera sur la définition et la mise en œuvre des moyens de gestion des accidents ou incidents.

## Orano Recyclage, Chatillon (92), France

### Alexis BRILHAUT

Simulation numérique flux matières cycle du combustible



Orano est un groupe industriel français détenu majoritairement par l'État, spécialisé dans le cycle du combustible nucléaire. La Business Unit Recyclage, où se déroule cette alternance, gère l'ensemble des activités liées au traitement-recyclage du combustible nucléaire usé au sein du groupe Orano. L'entreposage des matières nucléaires constitue une étape clé pour garantir le bon fonctionnement du cycle du combustible. Il est donc essentiel d'assurer en permanence une cohérence entre les flux de matières nucléaires et les capacités d'entreposage disponibles. À ce titre, Orano et EDF doivent annuellement transmettre à l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection une vision actualisée, à court et moyen terme, du niveau de remplissage des sites d'entreposages à La Hague. La mission confiée dans le cadre de cette alternance, d'une durée d'un an, consiste à estimer le niveau d'occupation des entreposages sur le site de La Hague sur la période 2025-2045. Elle s'articule autour de plusieurs axes : prise en main, utilisation et amélioration de l'outil de simulation existant ; réalisation d'études de sensibilité selon différents paramètres ; rédaction d'une note technique décrivant les améliorations mises en place ; et enfin, communication des résultats sous la forme de présentations.

## Laboratoire de Physique Corpusculaire de Caen, Caen (14), France

### Maylis BRUN

Caractérisation et mise en service du déflecteur électrostatique d'ions de S3-LEB



Le Laboratoire de Physique Corpusculaire, organisme d'accueil du stage, travaille en partenariat avec le GANIL, Grand Accélérateur National d'Ions Lourds pour la mise en service de S3 (Super Separator Spectrometer). S3 est un projet dédié à la production et l'étude d'ions très déficients en neutrons, à des intensités jamais obtenues auparavant, dont la mise en service est prévue pour fin 2025. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce stage sur la mise en service de S3-LEB (Low Branch Energy), un détecteur spécialisé dans la spectroscopie laser situé au plan focal de S3, et en particulier la caractérisation de son déflecteur électrostatique d'ions. Les faisceaux produits par S3-LEB seront distribués à différents dispositifs expérimentaux via ce déflecteur. Il s'agit de déterminer les tensions à appliquer sur les électrodes qui composent cet instrument pour dévier efficacement le faisceau d'ions, en fonction de son énergie, tout en conservant ses propriétés optiques. Enfin, l'objectif final est d'utiliser la caractérisation réalisée pendant le stage ainsi que des études et simulations préalablement menées pour dessiner un nouveau déflecteur plus performant, répondant aux critères de qualité et d'efficacité pour le faisceau d'ions.

## LIED, Paris (75), France

### Florent CLAVIER

Modélisateur en thermodynamique hors équilibre (climatologie)



Le Laboratoire Interdisciplinaire des Énergies de Demain (LIED) est une unité mixte de recherche du CNRS et de l'Université Paris Cité. Il se distingue par une approche innovante de la transition énergétique, en menant des recherches de pointe à l'interface entre sciences exactes (physique, biologie) et sciences humaines et sociales (économie, géographie, sociologie). Ce positionnement unique lui permet d'aborder des problématiques complexes en intégrant les dimensions physiques et sociales des systèmes énergétiques. Le stage s'inscrit dans les travaux du laboratoire sur la modélisation climatique. Il porte sur l'étude du couplage matière-énergie dans des modèles thermodynamiques hors équilibre de type « boîtes couplées », qui simulent les échanges entre sous-systèmes. L'objectif est de mieux comprendre l'influence des conditions aux limites sur la production d'entropie, paramètre clé dans la dynamique interne des systèmes étudiés. La mission combine une formalisation théorique fondée sur le cadre force-flux d'Onsager et un développement numérique avec l'outil PyDyco, conçu au sein du LIED. Ce travail vise à consolider les fondements analytiques et à tester des scénarios simulés dans un contexte de recherche appliquée.

## CEA List, Saclay (91), France

### Joaquin COSTA SALLÉS

Évaluation des performances du code Monte-Carlo FLUKA pour la simulation d'une expérience de photofission



Le CEA est l'un des principaux acteurs dans le domaine du nucléaire et l'une de ses activités est la recherche et le développement d'instrumentation nucléaire pour la détection des rayonnements ionisants. Les applications dans ce domaine sont diverses : la gestion des déchets nucléaires, le contrôle du fonctionnement des réacteurs nucléaires, les opérations de démantèlement, le contrôle aux frontières et les applications médicales. Au sein du laboratoire LCIM (Laboratoire Capteurs et Instrumentation pour la Mesure), l'une des méthodes de mesure étudiées est l'IPA (Interrogation Photonique Active). La technique d'IPA consiste à envoyer des photons de haute énergie sur une cible afin d'induire des réactions de fission dans les matériaux fissiles que celle-ci pourrait contenir. Ces réactions émettent ensuite diverses particules (principalement des photons et des neutrons), qui peuvent être mesurées afin de déterminer les caractéristiques radiologiques du volume cible (les matériaux fissiles présents et leur activité). Dans un premier temps, l'objectif du stage est de simuler ces processus à l'aide du code Monte-Carlo FLUKA afin d'évaluer sa performance en comparaison avec les résultats obtenus par d'autres codes de simulation. Ensuite, le code sera utilisé pour simuler différentes expériences d'IPA menées au laboratoire. Les résultats seront comparés aux simulations pour validation.

## Naval group, Lorient (56), France

### Alexandre DECLERCK

#### Analyse et mise à jour des exigences techniques pour les équipements importants pour la sûreté



Naval Group est une entreprise spécialisée dans le naval de défense. Au service de la marine nationale et des marines alliées, elle conçoit, réalise et maintient en service des sous-marins et des navires de surface. Le stage se déroule au sein du service de sûreté nucléaire sur le site de Lorient chargé notamment d'études pour les porte-avions à propulsion nucléaire. Le maintien à l'état sûr des réacteurs nucléaires embarqués repose sur des équipements identifiés comme étant important pour la sûreté (EIS). Ceux-ci font l'objet d'un classement et doivent répondre à des exigences spécifiques de construction, de qualification et de contrôle bien précises. Ces exigences techniques reposent sur un certain nombre de codes, de règles et de normes admises. Toutefois, pour certains EIS identifiés, le niveau des exigences associées n'est pas optimisé. L'objectif du stage est donc de clarifier les exigences s'appliquant à ces EIS ; de proposer une méthode permettant de les classer correctement en s'appuyant à la fois sur le référentiel technique interne à Naval Group et les normes françaises et européennes en vigueur ; et de rédiger un document s'intégrant au référentiel Sûreté Nucléaire.

## Institut de Physique des 2 Infinis, Villeurbanne (69), France

### Thomas DIMOV

#### Étude expérimentale et simulation du détecteur PICMIC



L'Institut de Physique des 2 Infinis (IP2I), laboratoire rattaché à l'Université Lyon 1, au CNRS et à l'IN2P3, est spécialisé en physique subatomique (physique des particules, structure nucléaire, plasmas quark-gluon) et mène des recherches interdisciplinaires en santé, environnement et énergie nucléaire. Dans ce cadre, le groupe Particules de l'IP2I développe le détecteur PICMIC ("PICosecond-subMICrometer"), un système innovant permettant la mesure simultanée du temps et de la position de particules à des résolutions picoseconde et micrométrique. Le dispositif repose sur des senseurs de type MicroChannel Plate (MCP), couplés à une grille temporelle ("delay plane") et un réseau de pixels interconnectés. Le stage vise à caractériser ce détecteur, en réalisant notamment une calibration spatiale via une analyse multi-paramètres des données à grandes échelles et en maîtrisant le système d'acquisition développé. Le stage consiste également au développement de simulations Geant4 pour optimiser la détection, ainsi qu'à la création d'algorithmes pour extraire précisément le temps et la position des particules détectées, contribuant ainsi à l'atteinte des objectifs du projet PICMIC. Le projet PICMIC s'inscrit dans une collaboration internationale (DRD4) et nationale (IJCLab, IPHC), avec des perspectives applicatives en imagerie rapide, physique des hautes énergies et instrumentation nucléaire.

## Newcleo, Lyon (69), France

### Hugo DUPONT

#### Développement de méthodes de calcul des doses radiologiques pour un réacteur à neutrons rapides



Newcleo est une entreprise innovante dans le domaine du nucléaire, spécialisée dans le développement de réacteurs de génération IV au plomb liquide, et localisée en Italie, France (Lyon) et Royaume-Uni. Ces réacteurs à neutrons rapides fonctionnent sous forme de petits réacteurs modulaires à puissance réduite, et réutilisent le combustible usé, proposant ainsi une meilleure gestion des déchets radioactifs. De plus, ceux-ci sont censés présenter une meilleure sûreté que les réacteurs historiquement construits. Un des nombreux requis de sûreté est d'assurer l'habitabilité de la salle de contrôle en cas d'accident nucléaire afin que les opérateurs puissent maintenir la surveillance et la sûreté de l'installation, même en situation d'urgence radiologique. Ainsi, le stage se focalise sur la modélisation et calcul de doses reçues par les opérateurs et sur l'étude de dispersion des contaminants radiologiques dans l'installation puis dans l'environnement. Le stagiaire proposera des méthodes de calcul de débit de doses en s'inspirant de codes ou calculs existants, identifiera des scénarios enveloppes notamment avec le logiciel COCOSYS et présentera tous ses résultats dans une note technique interne Newcleo ainsi que lors d'une présentation orale finale.

## ASNR, Fontenay-aux-Roses (92), France

### Perla EL KHOURY

#### Développement et validation du modèle probabiliste de sûreté niveau 1 pour le démarrage de l'EPR



L'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR) assure, au nom de l'État, le contrôle des activités nucléaires civiles en France. Elle exerce également les missions de recherche, d'expertise, de formation et d'information des publics dans les domaines de la sûreté nucléaire et de la radioprotection. Le stage se déroule au Service de la Conduite des réacteurs et des Études Probabilistes de Sûreté (SCEPS), et plus précisément au bureau des EPS, chargé d'expertiser les EPS de niveau 1 fournies par les exploitants d'installations nucléaires tout en développant ses propres EPS de niveau 1. Pour les réacteurs électronucléaires, l'objectif est de quantifier le risque de fusion du combustible. Dans le contexte du démarrage de l'EPR Flamanville 3 (FA3), l'ASNR développe et réactualise son propre modèle EPS1 pour ce réacteur, au rythme des expertises des dossiers d'EDF. Le stage consiste à vérifier la cohérence du modèle de l'ASNR avec la configuration connue de l'EPR FA3 et les modifications récentes apportées par EDF, puis à le mettre à jour si nécessaire. Ceci nécessite notamment de se concentrer sur la conception des systèmes de l'EPR, sur la liste des événements initiateurs et leur fréquence d'occurrence, et sur les données de fiabilité des équipements modélisés.

## CEA, Saint-Paul-Lez-Durance (13), France

### Fahem Hélier

#### Étude exploratoire d'un dosimètre constitué de xénon piégé sur une zéolithe dopée à l'argent



Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) est un acteur majeur de la recherche scientifique et technologique, au service de la défense, de l'énergie, de la santé et de l'industrie. Le LDCI (Laboratoire de Dosimétrie, Capteurs et Instrumentation), se spécialise dans le développement de solutions innovantes en instrumentation nucléaire. Les mesures d'activation par dosimétrie en réacteur constituent la principale méthode de détermination de la fluence neutronique. Le choix du matériau à irradier permet, grâce aux réactions nucléaires qu'il subit, de mesurer la fluence dans une plage énergétique déterminée. Bien que plusieurs réactions à partir d'isotopes naturels du xénon présentent un potentiel intéressant, leur exploitation a jusqu'à présent été écartée en raison de l'impossibilité de contenir suffisamment de xénon sous pression dans un dispositif miniature. Cependant, des avancées récentes dans le développement de zéolithes dopées à l'argent hautement absorbantes pour le xénon permettraient de contourner ce problème. Ce stage vise à évaluer la faisabilité et l'intérêt d'un dosimètre basé sur ce principe, à travers l'étude des réactions d'activation des isotopes stables du xénon naturel, puis de leur mesurabilité à l'aide de spectromètres X ou gamma, en vue d'applications sur la plateforme MADERE du CEA de Cadarache.

## ASNR, Fontenay-aux-Roses (92), France

### Claire JOUANY

#### Etude de l'hydratation des matériaux cimentaires avec ajouts pouzzolaniques



L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR), est une autorité administrative indépendante qui supervise la sûreté nucléaire en France. Elle mène des activités de contrôle, d'expertise, de recherche et de formation. Le stage a été réalisé au sein du laboratoire LETIS (Laboratoire de recherche sur les transferts et les interactions dans les Sous-sols). Ce laboratoire travaille sur les matériaux liés au stockage géologique profond des déchets radioactifs, comme prévu par le projet CIGEO pour les déchets radioactifs haute activité et de moyenne activité à vie longue. Le stage porte sur l'hydratation de matériaux cimentaires comprenant des ajouts de laitiers, résidus vitrifiés issus de la fusion du minerai dans les hauts fourneaux, puis broyés. L'objectif est de mieux comprendre l'impact du laitier sur les propriétés mécaniques, chimiques et cristallographiques des matrices cimentaires. Le travail comprend la préparation de formulations variées et le suivi expérimental de leur hydratation à différentes échéances. Les échantillons préparés sont analysés par diffraction des rayons X, nano-indentation, microscopie à balayage électronique et caractérisation de la solution poreuse. Les résultats obtenus visent à contribuer à l'évaluation de la durabilité de ces matériaux dans un contexte de stockage de déchets radioactifs.

## TRAD Tests & radiations, Labège (31), France

### Enora LE BRAS

#### Etude de l'impact de la simplification de produits industriels modélisés dans RayXpert sur la répartition de la dose dans le cadre de « radiation processing »



L'entreprise TRAD, Tests & Radiations est spécialisée dans plusieurs secteurs de l'industrie : le médical, le nucléaire civil, l'aéronautique et le spatial. Elle propose différents produits et services dans le domaine de l'analyse des effets des rayonnements sur les matériaux, les composants et les systèmes électroniques. Ce stage est effectué au sein du service Ingénierie Radiation Nucléaire, chargé du développement du logiciel RayXpert en termes de conception et de validation. Le service utilise également le logiciel pour la réalisation d'affaires clients. La mission du stage se concentre sur le procédé de stérilisation par irradiation. Ce procédé utilise les rayonnements ionisants gamma, électrons ou rayons X, pour tuer les micro-organismes présents sur des produits médicaux, pharmaceutiques ou alimentaires. Le but du stage est de chercher à réduire au maximum les temps de calcul Monte-Carlo tout en conservant des résultats sans dégradation significatives. La piste exploitée dans ce stage est de simplifier géométriquement les produits irradiés et de déterminer quelles simplifications sont possibles en évitant d'introduire des écarts trop importants avec la simulation de référence. Cette validation est faite sur les différents types d'irradiations (gamma, électrons et X-Ray) et sur tous les modèles à disposition.

## Framatome, Courbevoie (92), France

### Aliénor LE ROUX

#### Pilotage et montée en maturité des plannings de conception du programme EPR2



Framatome, leader mondial en ingénierie nucléaire, est spécialisé dans la conception et la maintenance de réacteurs nucléaires. Le stage se déroule au sein de l'équipe Planning du programme EPR2, un projet ambitieux visant à déployer de nouveaux réacteurs EPR en France. Ce programme tire parti de l'expérience des chantiers et de l'exploitation des réacteurs EPR, notamment ceux de Flamanville 3, Taishan et Hinkley Point C. La mission consiste à optimiser l'organisation et le suivi de la performance du programme, notamment en pilotant le planning de conception avec l'outil Primavera utilisé par l'entreprise. Il s'agit de mettre à jour le planning, analyser les retards et proposer des solutions pour respecter les délais. Une attention particulière sera accordée à l'amélioration des processus internes, à l'optimisation des indicateurs mensuels de suivi, et à la réduction des opérations manuelles lors des mises à jour. L'objectif final est d'assurer une gestion plus fluide et une meilleure visibilité des différents lots d'activités, contribuant ainsi à l'efficacité globale du programme et à la réussite de l'implantation des réacteurs EPR2 en France.

## Framatome, Courbevoie (92), France

### Eliaz LEHEL

#### Conception d'un outil simplifiant la réalisation d'analyses probabilistes et l'adapter aux nouveaux réacteurs



A Framatome est un acteur majeur de l'industrie nucléaire spécialisé dans la conception et la fabrication des chaudières et équipements, et du combustible des centrales. En France, la réalisation d'Etudes Probabilistes de Sûreté (EPS) est un requis réglementaire. Elles participent à la démonstration de sûreté, notamment via l'évaluation du risque de fusion du cœur (niveau 1) et de rejet dans l'environnement (niveau 2). Depuis les réacteurs de Génération III (années 1980), les EPS interviennent dès la conception, en appui des études déterministes. Ce « Risk-Informed Decision Making » permet d'éviter les risques les plus importants prématûrement et de limiter les modifications post-constructions. L'arrivée de nouveaux réacteurs à cinétique plus lente conduit à des délais de grâce (période entre l'occurrence d'un événement initiateur et l'apparition d'un événement redouté) plus longs. Cette temporalité permet d'envisager notamment des reconfigurations de systèmes, telles que des réparations. Ces aspects temporels sont relativement complexes à prendre en compte avec les méthodes et outils usuels (arbres d'événements, arbres de défaillances, résolution booléenne). De nouvelles méthodes doivent être implémentées, comme les réseaux de Petri par exemple. Dans ce cadre, la mission de stage consiste à mettre en place un outil simplifiant la réalisation d'analyses probabilistes sur des architectures système, et de l'adapter à ces nouveaux réacteurs.

## Orano Projets, Cherbourg-en-Cotentin (50), France

### Lucille LEMAIRE

#### Création du standard d'analyse des risques liés aux émissions de substances dangereuses



Orano est un acteur mondial de référence dans le domaine du cycle du combustible nucléaire, de l'extraction du minerai jusqu'au recyclage du combustible usé. Orano Projets, l'une de ses six Business Units, est spécialisée dans l'ingénierie nucléaire depuis plus de 40 ans. Au sein du métier Sûreté, à Cherbourg, une équipe dédiée prépare les réexamens périodiques des installations d'Orano la Hague, qui ont pour objectif d'autoriser la poursuite de l'exploitation ou du démantèlement. L'équipe est notamment chargée d'analyser différents risques sur les installations, dont ceux liés aux émissions de substances dangereuses. L'objectif principal de ce stage est de créer le standard qui détaillera la méthodologie à appliquer pour réaliser l'analyse de ce risque. Il doit intégrer les retours d'expérience issus des réexamens périodiques récents, et proposer des améliorations destinées à en faciliter l'application opérationnelle. Le standard créé doit être applicable sur l'ensemble des ateliers de la Hague et utilisable par tous les ingénieurs sûreté d'Orano Projets. Avant la création du standard, une analyse de sûreté des risques liés aux émissions de substances dangereuses d'un atelier de la Hague est réalisée afin d'appréhender le sujet.

## Orano, Montigny-le-Bretonneux (78), France

### Ambre MANELFE

#### Analyse préliminaire de sûreté pour une unité pilote de fabrication de combustibles à sels fondus



Dans le cadre de l'appel à projets France 2030 « Réacteurs nucléaires innovants » lancé par le gouvernement français, Orano, acteur majeur du cycle du combustible nucléaire, a été sollicité par plusieurs start-ups pour étudier la fourniture et le recyclage de combustibles nucléaires innovants. Intégrée à l'équipe ingénierie sûreté d'Orano Projets, cette mission vise à produire un document de référence technique sur les sels fondus et à étudier la conception d'une unité pilote de fabrication de combustibles à base de sels fondus, destinée aux réacteurs développés par les start-ups Naarea, Thorizon et Stellaria. Les principales activités comprennent l'analyse des risques liés à l'exposition externe, le dimensionnement des protections radiologiques, ainsi que la validation de la conformité aux limites réglementaires de dose. Orano met à profit son expertise dans la fabrication de combustibles MOX (Mélange d'Oxydes) pour accompagner cette phase de faisabilité, garantissant ainsi la sûreté opérationnelle de l'unité pilote tout en intégrant ses meilleures pratiques. Cette mission favorise l'innovation technologique et soutient le développement durable des filières nucléaires de demain.

## Edvance, Montrouge (92), France

### Quentin MICHAUD

#### Analyse de robustesse : Modélisations inondation avec prise en compte d'une défaillance d'un EIPS passif



Edvance est une filiale du groupe EDF. Le rôle d'Edvance au sein du groupe EDF est d'effectuer la conception des îlots nucléaires des nouveaux réacteurs nucléaires en France et à l'international conçus par le groupe EDF (EPR Flamanville 3, EPR Hinkley Point C, EPR2, Nuward...). Le stage s'effectue au sein du service SNE (Sûreté Nucléaire et Environnement). Il consiste à analyser l'impact de la défaillance d'un EIPS (Equipement d'Intérêt Protégé pour la Sûreté) passif (portes et siphons). Un bâtiment de l'îlot nucléaire est composé de plusieurs volumes de sûreté qui doivent être imperméables entre eux en cas d'inondation par des portes étanches. L'objectif est d'évaluer l'impact sur la sûreté du réacteur de l'ouverture d'une de ces portes pendant une inondation en évaluant les composants perdus. La seconde partie du stage est d'évaluer l'impact de l'obstruction d'un siphon sur le temps de détection et la hauteur d'eau engendrée dans les locaux. Les siphons absorbent l'eau dans les salles jusqu'aux puisards dans lesquels l'inondation est détectée. Les modélisations se font sur OpenModelica, un logiciel permettant de simuler des phénomènes physiques comme les inondations. L'analyse se fait avec les données de l'EPR Flamanville 3, les résultats seront ensuite exploités pour EPR2.

## Naval group, Indret (44), France

### Marine NAVEROS

Amélioration des performances de calcul pour l'évaluation de la sûreté des équipements



**NAVAL**  
GROUP

Le stage se déroule au sein de Naval Group, un des leaders mondiaux du naval de défense, qui est un groupe industriel français. Le site d'accueil est celui de Nantes-Indret, spécialisé dans la conception, la réalisation, les essais et l'entretien de systèmes et équipements pour la propulsion des navires de surface et sous-marins. Pour réaliser des projets d'envergure tels que le porte-avions de nouvelle génération, des études de sûreté de fonctionnement sont réalisées. Le but étant de dimensionner l'impact de défaillances des composants en particulier sur les systèmes d'énergie propulsion. Des calculs de probabilité sont alors effectués pour étudier l'efficacité des moyens de prévention et de protection mis en place pour limiter la fréquence et les conséquences des défaillances. Un facteur limitant dans ces études est le temps de calcul, certaines simulations pouvant nécessiter plusieurs jours. L'objectif du stage est donc d'optimiser ces temps de calcul. Pour cela, il faut lister exhaustivement les paramètres à changer pour optimiser ces temps de calculs. Des calculs tests réalisés avec le logiciel de modélisation utilisé par Naval permettront par la suite de valider les hypothèses. Le stage sera considéré comme abouti lorsque les pistes d'optimisation auront été testées et jugées pertinentes.

## Newcleo, Avignon (84), France

### Alexis NEHOU

Étude et conception des machines de contrôle non destructif pour la fabrication de combustible



**newcleo**  
Future Energy

Newcleo développe un nouveau concept de réacteur nucléaire à spectre de neutrons rapides refroidi au plomb Lead cooled Fast Reactor (LFR) pour répondre à la demande commerciale de petites unités de production d'électricité (SMR). Pour cela, newcleo doit disposer d'une ligne de fabrication de combustible MOX de 120 Tonnes de métal lourd par an (Tml/y) dédiée à la production de combustible pour la flotte de réacteur newcleo. Pour démarrer son/ses démonstrateurs (30 MWe) et pour alimenter les premiers réacteurs (200 MWe), newcleo ambitionne de livrer une ligne pilote de fabrication de combustible MOX d'une capacité de 40Tml/y dès 2030. Dans le cadre de ses activités, l'atelier d'inspection et d'entreposage des aiguilles combustible doit intégrer des machines de contrôle pour valider la conformité des aiguilles selon des spécifications précises, notamment : un contrôle d'étanchéité (mise sous vide et détection helium) ; un contrôle RX (soudure et interne aiguille) ; un gamma scan. La mission est de produire : des spécifications fonctionnelles de l'équipement de contrôle ; des présentations et synthétiques des différentes technologies, des solutions d'intégration de la machine et de sa cinématique dans la maquette 3D, avec l'aide d'un projeteur mécanique

## EDF, Graveline (59), France

### Martin PAGNIEZ

Développement et déploiement de solutions e-monitoring pour la maintenance nucléaire



**edf**

Ce stage se déroule chez EDF SA au Centre Nucléaire de Production d'Electricité (CNPE) de Gravelines dans le Service Ingénierie Fiabilité (SIF). Il a pour vocation d'optimiser la conduite et la maintenance des installations dans la durée et de pérenniser leur fonctionnement. Au sein du pôle « Fiabilité », l'objectif de ce stage est d'optimiser, développer et déployer des logiciels de e-monitoring des équipements de la centrale. Le logiciel PRISM recueille les données produites par les capteurs de la centrale, les compare à des seuils ou des prédictions basées sur des données de référence, et envoie des alertes aux ingénieurs systèmes concernés lorsqu'une dérive est constatée. Il leur permet ainsi d'analyser les causes de cette dérive et d'agir pour éviter une dégradation du niveau de sûreté ou de disponibilité des installations. Après une phase de documentation et de découverte des différents outils à ma disposition (PRISM et NOVA pour la visualisation des données des capteurs), la mission principale consiste à recueillir les besoins d'améliorations des logiciels e-monitoring des ingénieurs systèmes : modifications de seuils d'alarme, de données de référence, création de projets de surveillance... Une mission secondaire est de participer au déploiement d'un logiciel complémentaire de détection précoce d'anomalies.

## ASNR, Fontenay-aux-Roses (92), France

### Marius PALLIER

#### Modélisation neutronique du réacteur expérimental TREAT (USA) avec le code neutronique Monte Carlo TRIPOLI5



L'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR) assure, au nom de l'État, le contrôle des activités nucléaires civiles en France. Depuis la répartition des activités de l'IRSN entre le CEA et l'ex-ASN, elle mène également des missions de recherche. C'est au sein du Laboratoire de Neutronique de l'ex-IRSN que la mission est menée. Dans le cadre du projet TRIPOLI-5, il est nécessaire de modéliser le réacteur de recherche TREAT (Idaho, USA) en régime stationnaire à l'aide de ce code Monte Carlo codéveloppé par le CEA et l'ASNR. Ce réacteur permet d'effectuer des transitoires de puissance par injections de réactivité, à la manière du réacteur CABRI (CEA Cadarache). Le but du stage est dans un premier temps de vérifier les capacités de TRIPOLI-5 à modéliser ce réacteur de recherche et à calculer des grandeurs d'intérêt comme le flux, le coefficient de multiplication effectif ou la distribution spatiale du taux de fission. Ensuite, il s'agit d'effectuer un couplage thermique avec le modèle obtenu précédemment, dans l'optique de futures simulations de transitoires. Les résultats du stage seront ensuite reversés dans le projet TRIPOLI-5 dans le cadre de la validation du code.

## TRAD Tests & radiations, Labège (31), France

### Lilo QUÉMA

#### Comparaison des gains d'efficacité entre différentes méthodes de réduction de variance sur des codes Monte- Carlo



TRAD Tests & Radiations est une entreprise reconnue pour son expertise unique sur les effets des radiations. RayXpert est un logiciel développé par l'entreprise et reposant sur la méthode de calcul Monte-Carlo. À l'aide de ce logiciel, l'entreprise réalise des études de radioprotection qui reposent sur l'estimation de probabilité d'événements pouvant être rares. La détection de ces événements est particulièrement chronophage pour des codes de type Monte-Carlo et demanderait de simuler un nombre beaucoup trop important de particules. Il est ainsi courant d'utiliser des méthodes de réduction de variance afin d'améliorer la performance des calculs. L'objectif du stage est de comparer le gain d'efficacité obtenu avec les méthodes de réduction de variance CADIS et FW-CADIS utilisées dans des codes Monte-Carlo de référence comme MCNP et SCALE par rapport aux méthodes actuellement disponibles dans RayXpert. Cette comparaison est réalisée sur différents benchmarks et les résultats sont par la suite analysés à l'aide de scripts Python afin d'extraire les informations pertinentes dans le cadre du sujet.

## EDF, Marseille (13), France

### Clément ROGHI

#### Cartographie du Rapport Définitif de Sûreté (RDS)



Le groupe Démonstration de Sûreté et Réglementation (DSR) de la Design Authority (DesA) fait partie de l'entité DIPDE de EDF à Marseille et est garant du contenu technique et de la mise à jour du Rapport Définitif de Sûreté (RDS). Il s'agit du document porteur de la démonstration de sûreté d'une tranche nucléaire sans laquelle EDF ne pourrait pas exploiter ses centrales. La démonstration de sûreté nucléaire vise à démontrer que les risques d'accident et l'ampleur de leurs conséquences sont aussi faibles que possible dans des conditions économiques acceptables. La mission de stage consiste alors à réaliser la cartographie du RDS afin de faire le lien entre les différents chapitres du RDS pour expliciter les interfaces et les intrications entre les chapitres. Cela demande de comprendre le RDS et nécessite des connaissances en fonctionnement des réacteurs, en thermohydraulique ainsi qu'en neutronique. De cette façon, la cartographie permettra aux équipes de gagner du temps pour toutes les actions nécessitant d'avoir une vision exhaustive des chapitres impactés par une thématique du RDS.

## TechnicAtome, Aix-en-Provence (13), France

### Titouan RUAULT

#### Développement d'un modèle numérique représentatif des chaines de mesures neutronique



## EDF, Lyon (69), France

### Lucile SENES

#### Sensibilité des études radiologiques en automatisant des processus avec Python



La Direction Technique est une des entités de la Direction Ingénierie et Supply Chain du Groupe EDF. Elle est en charge des aspects méthodologique et de l'appui technique aux autres centres d'ingénierie. Elle intervient sur l'ensemble des projets nucléaires d'EDF, en France et à l'international. Le stage se déroule au sein du groupe Radioprotection de la Direction Technique (DT). Dans un contexte d'étude de la sûreté d'exploitation d'une centrale nucléaire, ce projet a pour objectif d'automatiser, à l'aide de Python, le calcul de la dose intégrée en cas d'APRP (Accident de Perte de Réfrigérant Primaire), à partir de l'inventaire radiologique. Cet inventaire recense l'activité des différents radionucléides présents dans le combustible. Après avoir finalisé le développement du code, des études de sensibilité sont menées afin d'évaluer l'impact de changement de méthodologie et des données d'entrée. L'automatisation de ce calcul permet d'obtenir une estimation plus rapide de la dose, facilitant la comparaison entre différents scénarios. Il permettra aussi l'évaluation de l'influence de certains paramètres sur le calcul de dose.

## ASNR, Fontenay-aux-Roses (92), France

### Jean-Baptiste SCHULER

#### Modélisation neutronique du cœur de démarrage d'un petit réacteur modulaire sans bore soluble



Plusieurs projets industriels souhaitent développer des petits réacteurs modulaires à eau sous pression (SMR-REP), dont certains cherchent à piloter le cœur sans utilisation de bore soluble (pilotage en eau claire) afin de s'affranchir des contraintes liées à l'utilisation de ce poison neutronique dans le circuit primaire. La réactivité du cœur est alors contrôlée par la combinaison de l'insertion des barres de contrôle et par l'introduction de poisons neutroniques consommables dans certains crayons de combustible. Ce mode de fonctionnement introduit un comportement neutronique particulier du cœur par rapport aux réacteurs de grande taille. L'Autorité de Sûreté Nucléaire et Radioprotection (ASNR) a pour but d'assurer, au nom de l'état, des rôles de contrôle, d'expertise sur les installations nucléaires civiles, et de mener des activités de recherche dans la sûreté nucléaire. C'est dans ce cadre que l'ASNR, au travers de son laboratoire de neutronique, mène des activités de recherche sur le cœur PRATIC, un benchmark de neutronique développé par le CEA, représentant le cœur d'un SMR-REP piloté en eau claire. La mission du stage est donc de développer une modélisation Monte Carlo de ce cœur, dans sa configuration de démarrage, et de le comparer avec des modélisations déterministes pour évaluer la robustesse de ces dernières.

## EDF, Saint Denis (93), France

### **Elouan STEPHAN**

#### Impact de l'utilisation d'un combustible LEU+ sur les études du référentiel criticité



Le stage se déroule au sein d'EDF, à la Division Combustible Nucléaire, sur le site de CAP AMPERE à Saint-Denis. Il s'inscrit dans le cadre d'une analyse préliminaire de l'intérêt potentiel de l'utilisation de combustible nucléaire enrichi entre 5 % et 10 % en uranium 235 - appelé LEU+ - dans les réacteurs à eau pressurisée de 1300 MWe. L'utilisation de ce type de combustible nécessite la reprise des études de criticité réalisées pour des situations en fonctionnement normal ou accidentel en bâtiment réacteur et en bâtiment combustible. Ces situations sont listées dans le référentiel criticité. Celui-ci présente les hypothèses et conservatisme à appliquer ainsi que les critères à respecter dans les différentes situations à considérer, afin de vérifier qu'elles ne conduisent pas à un incident ou accident de criticité. L'objectif du stage consiste donc, pour les situations identifiées comme les plus limitatives, à déterminer pour quel enrichissement en uranium 235 le critère à respecter est dépassé, puis à étudier des leviers de recouvrement de marge, qu'ils soient méthodologiques et/ou matériels.

## NAAREA, Nanterre (92), France

### **Gabrielle TRIGON**

#### Logique globale de planification et mise en œuvre opérationnelle



NAAREA est une société française qui propose de sortir des énergies fossiles grâce au développement d'un nucléaire de nouvelle génération, durable et innovant. Le département Project Management Office, dans lequel se déroule la mission, a pour rôle de structurer l'organisation projet et de mettre à disposition des standards de gestion de projet efficents et adaptés, d'assurer le support opérationnel auprès des chefs de projet (planning, ressources, coûts, KPI, reporting), et de coordonner le portefeuille de projets à l'échelle de NAAREA. La mission est la définition d'une logique globale de planification avec la création d'outils spécifiques ou adaptés aux différents niveaux de planification. L'objectif est de favoriser les interactions et synchronisations entre les projets, d'identifier clairement les risques et les actions préventives associées, d'assurer la cohérence des tâches hebdomadaires avec les objectifs à moyen terme, de vérifier la disponibilité des ressources et d'améliorer la réactivité dans le traitement des points durs. La mission se décline à plusieurs niveaux : synchronisation des projets avec une roadmap et mise en place d'une table à jalon avec un processus de passage de jalons, évaluation de l'avancement physique et de la maturité attendus au jalon, élaboration de plannings, déploiement et animation de salles Obeya.

## EDF, Lyon (69), France

### **Thomas VERDUN**

#### Etude de sensibilité sur le calcul des températures caractéristiques de l'agression "grands chauds"



EDF est le premier producteur mondial d'énergie bas carbone. Sa Direction Technique (DT) de l'ingénierie nucléaire a notamment pour mission la réalisation d'études en support de la démonstration de sûreté des réacteurs en exploitation du parc nucléaire français. Ce stage se déroule au sein de l'équipe Doctrine Agressions de la DT ayant pour mission de caractériser les agressions extérieures qui pourraient survenir sur les centrales nucléaires. Dans le contexte de réchauffement climatique, les températures maximales autour des sites EDF sont particulièrement analysées. Ce stage a pour objectif la réalisation d'une étude de sensibilité sur le calcul des grandeurs caractéristiques liées à l'agression "grands chauds" cherchant à anticiper l'intensité des futurs épisodes caniculaires vis-à-vis du paramètre « Température d'air ». La réalisation de l'étude repose sur l'analyse des séries de températures observées sur site, sur la création de scénarios plausibles de températures dans un futur proche ainsi que le calcul d'un aléa de période de retour centennale associé. Tout cela a pour finalité la rédaction de documents synthétiques permettant de mieux appréhender l'impact probable de l'évolution des températures extrêmes sur les niveaux d'aléas à considérer pour justifier la sûreté des réacteurs nucléaires d'EDF à un horizon de milieu de siècle.

## Newcleo, Lyon (69), France

**Xavier VÉRÉ**

Définition des instrumentations d'un réacteur nucléaire



**newcleo**  
Futureable Energy

Newcleo conçoit et construit la prochaine génération de réacteurs nucléaires rapides refroidis au plomb (LFR) alimentés au MOX. Au sein de ces réacteurs, le suivi de nombreux paramètres à l'aide d'instrumentation est primordial afin d'assurer un niveau de sûreté satisfaisant. Au sein du service ISI&R (In-Service Inspection and Repair), l'objectif de ce stage est de contribuer à la définition des instrumentations du réacteur LFR afin d'en garantir le bon fonctionnement. Chaque instrument de mesure est sélectionné pour suivre des paramètres qui traduisent des requis opérationnels (au fonctionnement du réacteur) et dimensionnels (l'intégrité géométrique des composants). Ces paramètres permettent ainsi d'effectuer un suivi relatif à la prévention des modes de défaillance/dégradation des différentes zones de chaque composant du réacteur. Pour chaque zone critique que l'on cherche à inspecter, la méthodologie pour suivre l'état du réacteur est de définir l'ensemble des paramètres pertinents à observer et la plage de mesure adéquate. Il faut ensuite déterminer les fréquences de mesure qui dépendent des cinétiques des modes de dégradation de la zone, ainsi que les incertitudes sur les grandeurs physiques mesurées. Enfin, des échanges avec les différents départements concernés seront initiés afin d'étudier l'implémentation des capteurs sur les composants du circuit primaire à l'étude.

## iUMTEK, Saclay (91), France

**Diego YEPES TREJOS**

Simulation du spectre gamma d'échantillons d'acier pour déterminer le temps minimal d'identification isotopique fiable.



**iumtek**

iUMTEK est une start-up innovante spécialisée dans l'instrumentation basée sur la technologie LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy) pour l'analyse élémentaire de la matière, quel que soit l'état de l'échantillon. La mission de stage s'inscrit dans le cadre du projet ETIS (Elementary to Isotopic Spectroscopy), mené en collaboration avec Orano, CEA List et Probayes, et visant à développer une méthode de caractérisation isotopique d'échantillons d'acier, issus d'un processus de revalorisation de l'acier généré lors du démantèlement d'installations nucléaires, afin de s'assurer de l'absence de radionucléides contaminants susceptibles de compromettre leur réutilisation à des fins conventionnelles. Cette approche combine l'analyse élémentaire par LIBS avec la détection gamma pour identifier les radionucléides présents. L'objectif principal du stage est de simuler, à l'aide de l'outil GATE, les spectres gamma émis par les échantillons contenant divers radioisotopes. Le travail comprend la modélisation des échantillons, ainsi que le développement d'un outil en Python permettant d'établir la relation entre les raies gamma et l'activité spécifique. Il inclut également la détermination du temps d'acquisition minimal nécessaire pour une identification fiable des radionucléides. Les résultats obtenus serviront à optimiser l'analyse conjointe LIBS/détection gamma et à valider la faisabilité de l'approche proposée, avec des recommandations concrètes pour les futures campagnes expérimentées.

## Orano Mining, Bessines-sur-Gartempe (87), France

**Henia ZAHIRI**

Analyse environnementale d'un stockage de résidus de traitement de minerai d'uranium



**orano**

Le stage se déroule au sein de l'entité Après-Mines France (AMF) du groupe Orano, acteur majeur du cycle du combustible nucléaire. L'AMF est basée en Haute-Vienne et assure la gestion de la quasi-totalité des anciens sites uranifères miniers français, exploités ou non par le groupe, pendant près de 60 ans. La mission s'inscrit dans le cadre du bilan de fonctionnement d'un stockage de résidus de traitement de minerai d'uranium, classé ICPE (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement), le site de Gueugnon en Bourgogne. L'objectif est de compiler et d'interpréter un ensemble de données environnementales afin d'évaluer les impacts environnementaux et sanitaires possibles de l'installation. Les travaux portent notamment sur les analyses chimiques et radiologiques des eaux de surface et souterraines, ainsi que sur les données relatives à l'air, aux sols et aux sédiments. Une attention particulière est portée à l'évaluation de la dose efficace annuelle ajoutée. La mission implique également la production de cartes SIG, l'exploitation de données topographiques, hydrologiques et hydrogéologiques, ainsi que la rédaction du bilan de fonctionnement. Des sorties sur le terrain permettent de participer aux campagnes de prélèvements, contribuant ainsi à une vision globale de la chaîne de qualité des données.