

# STAGES DE FIN D'ÉTUDES

2020 - 2021

Ingénieur généraliste

## TAF DEMIN\*

\*Développement et management  
des installations nucléaires



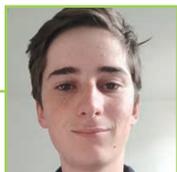
**IMT Atlantique**  
Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

septembre 2021

Assystem (Montrouge, 92)

**Jean BARTHELEMY**

Élaboration d'un référentiel des formations.



Assystem est une société d'ingénierie spécialisée dans le nucléaire et accompagnant les grands acteurs du milieu comme Edvance ou NNB au Royaume-Uni. L'objectif de ce stage était de créer un référentiel des formations pour la BU New Build d'Assystem. Celle-ci est en charge de la création et de la conception des projets de nouvelles centrales comme à Flamanville ou pour HPC ou SZC. Assystem intervient à tous les niveaux en ayant aussi bien des ingénieurs d'études, qu'au niveau de la supervision des contrats d'équipements. Il fallait pour chacun des métiers relatifs à la construction créer un parcours de formations pour permettre aux collaborateurs d'être rapidement efficaces dans leurs missions. J'ai donc été en contact avec toute une diversité de métier de la construction dans le domaine nucléaire.

CPPM (Marseille, 13)

**Luc CERISY**

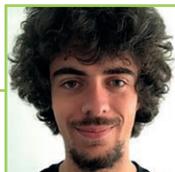
Analyse des premières données prises avec le télescope à neutrinos KM3NeT/ORCA.



Le stage s'effectue au sein du CPPM sur le campus de Luminy près de Marseille qui réunit plusieurs groupes de chercheur et de collaborations : ATLAS, LHCB, BELLE II, DARK-SIDE, HESS et enfin KM3NeT. KM3NeT se divise en 2, un détecteur en Sicile nommé ARCA et KM3NeT-ORCA. Le premier se concentre sur la détection de neutrinos énergétiques provenant de source astrophysique comme des supernovae ou des blazars pour en étudier l'origine et vérifier si d'autres télescopes détectent les mêmes événements. Le second est une expérience nouvelle en cours de construction à 2500 mètres de profondeur au large des côtes de Toulon: 6 lignes de détections déployées sur 115 et dont la construction est financée suite au succès d'ANTARES (qui fonctionnait avant KM3NeT en tant que prototype et qui cumulait 12 lignes de détections). La mission au sein de KM3NeT - ORCA consiste à étudier l'ombre cosmique de la lune et du soleil sur le détecteur. Il s'agit de vérifier s'il existe bel et bien un déficit dans le nombre d'évènements produits dans le détecteur dont la trace pointe dans le ciel la lune ou le soleil. Il est attendu d'observer un déficit d'évènements suite à l'absorption de ces rayons (chargés) par la lune ou le soleil.

## Aimeric EUSTACHE

Développement d'un outil de calcul de coût actualisé de l'électricité nucléaire et couplage avec COSI7.



Le LE2C, Laboratoire d'Études des Cœurs et du Cycle, situé au centre de Cadarache du CEA, Commissaire à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives, regroupe les activités d'études neutroniques de cœurs de GEN II-III-IV et de scénario électronucléaires. Ces dernières ont pour but de projeter des stratégies futures de gestion du cycle du combustible nucléaire pour quantifier leurs impacts sur un parc considéré. Pour réaliser ces études, on s'appuie sur des codes de simulations dynamiques du cycle, tel que le code COSI7 développé au LE2C, permettant de déterminer l'évolution des inventaires de matières nucléaires et des bilans de masse des différentes usines du cycle. À partir des résultats de ces simulations, des indicateurs de performances des parcs sont évalués. Ces critères peuvent être des sorties directes de la simulation, tels que les bilans-matières permettant de quantifier la consommation en ressources ou encore la production de déchets ultimes, ou bien issus d'un post-traitement des résultats, tels que des indicateurs environnementaux (emprise des déchets, production de CO<sub>2</sub>...) ou technico-économiques (coût du kWh...). Mon stage vise à introduire un module de post-traitement économique du cycle du combustible qui puisse être couplé avec les données sortantes et entrantes de COSI7.

## Robin VOISIN

Étude de l'influence des neutrons retardés sur la mesure de la puissance résiduelle.



Le Commissariat à l'Énergie Atomique est l'organisme français de référence dans la recherche et l'ingénierie nucléaire. Le site de Cadarache fait partie des grands sites historiques du CEA et regroupe un nombre important de laboratoires et de réacteurs de recherche (en démantèlement, en construction ou en activité). Parmi ceux-là, le Réacteur Jules Horowitz est encore en construction. L'objectif de ce stage est d'étudier l'impact des neutrons retardés sur la mesure de la puissance résiduelle d'un combustible irradié dans le RJH sur des temps très courts (environ une minute). Les mesures de puissance résiduelle ne sont pas nombreuses pour les temps longs et sont inexistantes pour les temps courts (<40 minutes). L'expérience PRESTO a pour objectif de mesurer la puissance résiduelle d'un combustible quelques minutes après l'arrêt du réacteur. Les calculs déjà effectués pour cette expérience ne prenant pas en compte les neutrons retardés, mon objectif est de prévoir leur impact sur les mesures à venir. Pour cela, je dois modéliser l'évolution des neutrons retardés dans le dispositif expérimental de manière théorique, puis calculer leur impact en termes de puissance à l'aide des données issues de calculs TRIPOLI4 ou APOLLO3.

**Thomas BEC**

Études de modules neutroniques du code de calcul SIMMER-V pour les accidents graves des RNR-Na.



Le code SIMMER est co-développé par le CEA et JAEA (organisme de recherche Japonais) pour simuler le comportement d'un accident grave sur un Réacteur à Neutrons Rapides refroidi au sodium (RNR-Na, 4<sup>ème</sup> génération). Mon objectif est de comparer les performances de deux modules neutroniques du code sur des simulations d'un même cœur de réacteur de RNR-Na, et ce sur un même accident de référence : une perte de réfrigérant primaire non protégée (ULOF). Cet accident correspond à un arrêt de pompe sans insertion de barres de contrôle. Le nouveau module permet de paralléliser les calculs neutroniques avec les calculs thermohydrauliques et donc de diminuer le temps de calcul sans changer les résultats physiques de la simulation. Cependant, les conséquences de l'accident sur le cœur ont partiellement changé entre les deux simulations. J'ai donc dû quantifier le gain de temps de calcul et étudier les différences physiques, non voulues, entre les deux modules. Le code SIMMER est toujours en développement et mon travail s'inscrit dans la poursuite d'amélioration de celui-ci.

**Timothe DELIMESLE**

Ingénierie de fonctionnement: optimisation de la documentation du chapitre IX des RGE.



Le stage s'est déroulé au sein du groupe EDF, à la DIPDE, et plus particulièrement dans le groupe responsable de la rédaction des essais périodiques. L'objectif du stage consistait à mettre à jour la liste des événements de sûreté générés par les essais périodiques sur le palier 1300MWe. Cette liste représente un réel intérêt pour l'exploitant puisqu'elle évite aux tranches nucléaires d'être en situation d'écart significatif à la sûreté. Les parties les plus compliquées de cette mission ont été de bien comprendre le référentiel documentaire des essais périodiques et d'avoir une vision d'ensemble sur le fonctionnement des circuits des centrales nucléaires. Le stage était donc principalement orienté vers le fonctionnement réacteur avec une forte composante liée à la réglementation. L'aspect réglementaire est moins présent au cours de la formation à l'IMT Atlantique, ce stage a été l'occasion de découvrir, dans les faits, la complexité des processus réglementaire avec notamment les relations entre l'exploitant et l'ASN.

**Toussaint GASTARD**

Étude des performances du code de calcul des cœurs REP pour la recherche de plans de chargement.



La disposition du combustible nucléaire au sein d'un cœur de réacteur fait l'objet de soins tout particuliers en raison des enjeux de sûreté associés et des enjeux économiques liés à l'utilisation optimale du combustible. Pour déterminer la disposition idéale des assemblages, les ingénieurs d'EDF ont recours à des simulations numériques qui modélisent l'évolution du cœur pour un plan de chargement donné. Vu le nombre important de plans à étudier et le temps parfois restreint au cours duquel l'étude doit être réalisée (par exemple en cas d'incident lors du rechargement d'un réacteur), il est nécessaire de pouvoir réduire la durée des simulations. En pratique, on atteint cet objectif en réalisant les simulations en 2D plutôt qu'en 3D. Des coefficients d'équivalence 2D/3D sont alors utilisés afin de diminuer l'écart avec les calculs 3D. Ces coefficients étant nécessairement déterminés au cours d'une simulation 3D, ils doivent pouvoir être utilisés pour plusieurs simulations 2D et donc pour plusieurs plans de chargement. L'application utilisée pour la recherche de plan évolue et intègre un nouveau code de calcul des cœurs de réacteur. Ce code utilise des coefficients d'équivalence différents du code précédent. L'objectif principal du stage est d'optimiser le calcul de ces coefficients 2D/3D dans le nouveau code et de trouver une méthode permettant de les stabiliser vis-à-vis des changements de plan.

**Alec HOUSSENY**

Optimisation du filtre de la chaîne de protection du cœur « taux élevé d'augmentation du flux neutronique » appliqué à l'accident d'éjection de grappe.



L'un des objectifs de la Direction Technique (DT) de la DIPNN (Direction de l'Ingénierie et des Projets du Nouveau Nucléaire) d'EDF, est le maintien et l'amélioration de la performance, en termes de sûreté et de compétitivité, du parc nucléaire d'EDF. Le stage consiste en l'amélioration de la détection d'un accident, l'éjection de grappe. L'Éjection de grappe est un accident étudié dans le cadre du dimensionnement des réacteurs à eau pressurisée. Cet accident conduirait, avant l'arrêt automatique du réacteur, à un éventuel endommagement du combustible. Plusieurs protections du cœur du réacteur sont dimensionnées afin de détecter cet accident. L'Arrêt Automatique du Réacteur par augmentation rapide du flux neutronique est l'une de ces protections. Il est obtenu à partir du signal d'augmentation du flux nucléaire. Ce signal fait l'objet d'un traitement du signal de type « passe-haut ». Le stage consiste à explorer des voies de traitement, via la simulation d'accidents d'éjection de grappe avec un code de diffusion neutronique, suivie d'un travail du traitement de signal visant à améliorer la détection de l'accident, sans dégrader le fonctionnement normal du réacteur.

**Pierre FOTTORINO**

Développement et validation de codes pour les études de conséquences radiologiques.



framato**me**

Ce stage est effectué chez Framatome, acteur international majeur de l'industrie nucléaire en France et dans le monde, au sein de la section DTIPLN (Direction Technique Ingénierie et Procédés) basée à Lyon. Au sein de l'équipe métier radioprotection, neutronique, et criticité, l'objectif du stage est de participer au développement et à la validation de nouveaux codes de calculs permettant la réalisation d'études d'évaluations de doses aux populations suite à un rejet radioactif dans l'atmosphère. Les radioéléments peuvent radiologiquement impacter un individu par exposition externe (type irradiation aux dépôts) ou interne (type inhalation et ingestion). Ces codes ont pour objet d'être utilisés pour différents projets, notamment dans le cadre de dossiers de sûreté établis lors des différentes phases de vie des installations nucléaires (création, modification, démantèlement ...). Dans ce cadre, les missions sont les suivantes : développer de nouvelles méthodologies d'évaluations de rejets à l'atmosphère et de conséquences radiologiques en champ proche sur la population et les travailleurs, et confronter ces développements exploratoires à des études de cas ou à des expériences afin de valider la méthodologie retenue.

**Antoine MEYNARD**

Analyse du mode de prise en compte d'une asymétrie azimutale de la nappe de puissance.



framato**me**

Framatome est une filiale d'EDF spécialisée notamment dans la conception des chaudières nucléaires. Lors du fonctionnement de tranches de certains réacteurs, il est observé des asymétries azimutales de puissance autrement nommée Tilt azimutal (car la puissance du réacteur « penche » plus vers un quart du cœur). La mission consiste à analyser l'intérêt d'une nouvelle modélisation dans un contexte de recherche et développement pour prendre en compte ce phénomène afin d'améliorer la sûreté et de réduire les marges d'erreur. Jusqu'alors, la méthode de référence Framatome valorisait une modélisation par perturbation « géométrique » pour déformer la distribution de puissance. Une nouvelle modélisation par perturbation « physique » est désormais disponible à Framatome et nécessite d'être analysée plus en détail. Le but du stage est donc de comparer ces modèles d'un point de vue physique et d'un point de vue des études du Rapport Définitif de Sûreté ce qui nécessite pour cela des analyses et des comparaisons de modélisations de cœur de réacteur. L'utilisation de la chaîne de calcul Framatome Science (un code de calcul neutronique déterministe) couplée à la création de scripts informatiques d'exploitation des résultats sera nécessaire à la bonne réalisation de cette étude.

## Guillaume IRANI

Étude de l'application des équations de type « Linblad » décrivant la fonction de densité d'un état lié de quarkonia dans le cas de potentiels réel et imaginaire harmoniques.



Lors de collisions d'ions lourds au CERN par exemple, il peut se former un nouveau type de milieu très dense appelé plasma de quarks et gluons. Les quarks contenus dans les protons et neutrons sont déconfinés et les particules produites vont interagir avec ce milieu. L'objectif du stage est d'étudier l'évolution d'un état lié de quarks lourds appelé quarkonia. Sa thermalisation dans le plasma peut représenter un indicateur de la température du milieu et donc permettre une meilleure compréhension de cet état de la matière. L'étude se fait par application des équations d'évolution dans le cadre de potentiels harmoniques, pour une telle paire de quarks dans un bain thermique. Ce cas particulier permet de simplifier les équations et donc de comprendre un peu mieux les interactions que la particule va subir au sein du plasma.

## Clément COUTELLE

Discrimination neutron/gamma dans les compteurs proportionnels à protons de recul.



L'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) est l'expert public en matière de recherche et d'expertise sur les risques nucléaires et radiologiques. Les compétences de l'IRSN couvrent l'ensemble des risques liés aux rayonnements ionisants, utilisés dans l'industrie ou la médecine, ou encore les rayonnements naturels. Mon stage se déroule à Cadarache au sein du laboratoire de micro-irradiation, de métrologie et de dosimétrie des neutrons. Ma mission consiste à participer à la caractérisation du multidétecteur ROSPEC (Rotating Neutron Spectrometer). L'objectif est d'élargir le domaine en énergie de ce détecteur en utilisant une acquisition numérique. Aux basses énergies on détecte également les gammas, il faut donc parvenir à distinguer les neutrons pour pouvoir étendre la plage de fonctionnement du détecteur. Ainsi durant mon stage je participe à des campagnes de mesures sur les installations du laboratoire. Notamment l'installation AMANDE (Accélérateur pour la Métrologie et les Applications Neutroniques en Dosimétrie Externe) puis je dois analyser et traiter ces données pour faire la discrimination.