



A NEW PATH TO GROWTH

ou
assystem

MODELISATION & SIMULATION DES PROCESSUS, ORGANISATIONS ET FLUX DE DONNEES DANS LE CADRE DES ACTIVITES DE MAINTIEN EN CONDITIONS OPERATIONNELLES D'UN PARC ELECTRO NUCLEAIRE

SOMMAIRE

1	Travaux précédents menés dans le cadre de la chaire CIME (Critical Infrastructures Model based system Engineering) et Chaire CIMES	3
2	Un contexte : Le Parc Nucléaire en Exploitation	3
3	Sujet de thèse : Modélisation des processus, organisations et flux de données dans le cadre des activités de maintien en conditions opérationnelles du parc électronucléaire	4
3.1	Périmètre du sujet.....	4
3.2	Sujet technique : cas d'application.....	5
3.3	Verrous et Axes de recherche	5
4	Organisation des Tâches	6
4.1	Etat de l'art et collecte des retours d'expérience issu du terrain	6
4.2	Cartographier les acteurs et les contraintes	7
4.3	Synthétiser les attendus.....	7
4.4	Construire une modélisation de base	7
4.5	Réfléchir à la généricité du cadre et intégrer dans ce cadre des mécanismes, techniques et méthodes permettant de mener à bien des analyses (d'impacts, de dépendances, d'effets, ...) et des optimisations.....	7
4.6	Publication.....	8
5	Encadrement / Financement	8
6	Candidature	8

1 TRAVAUX PRECEDENTS MENES DANS LE CADRE DE LA CHAIRE CIME (CRITICAL INFRASTRUCTURES MODEL BASED SYSTEM ENGINEERING) ET CHAIRE CIMES

Dans le cadre de ses activités de R&D et de ses activités contractuelles de service auprès de ses clients, AEOS et IMT Mines Alès ont développé ensemble une première collaboration qui a donné naissance à la Chaire Industrielle CIME. AEOS souhaitait en effet mieux maîtriser le cadre méthodologique MBSE et pouvoir l'appliquer en confiance et avec succès sur des projets concrets. Pour cela, la chaire CIME avait pour objectifs de :

- **Développer des méthodes** entrant dans le cadre de la méthodologie MBSE. Il s'agit dans ce cas de créer, adapter ou intégrer des concepts, techniques, démarches opératoires, référentiels de données, d'informations et de connaissances et des outils supports (de modélisation, d'analyse, de vérification, de validation, d'évaluation, de gestion, de navigation, ...). Ces méthodes visent à entraîner les collaborateurs d'AEOS à maîtriser le MBSE dans leurs secteurs d'ingénierie ;
- **Déployer ce cadre méthodologique MBSE** chez AEOS et vers ses clients répondant aux besoins d'ingénierie d'Infrastructures Critiques de ces clients. Le but est ici d'appliquer concrètement les méthodes sur des cas spécifiques.
- **Faire reconnaître le niveau de maturité de l'entreprise et démontrer sa maîtrise du MBSE** auprès de ses partenaires comme pour mener à bien ses différentes activités internes. Le but est ici de conférer à l'entreprise un avantage concurrentiel et de maximiser la valeur ajoutée des activités de R&D (d'architecting, d'ingénierie, de conseil et d'accompagnement) de AEOS.

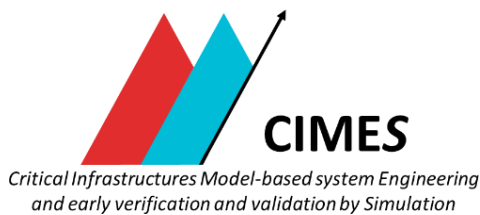
Pour cela, trois thèses ont été soutenues :

Jérémy Bourdon : *Contribution méthodologique au déploiement de l'évaluation d'architecture pour les installations nucléaires de base : la méthode EVA-CIME* (soutenue le 7/11/22 – voir <https://theses.fr/2022EMAL0005>).

Alan Gaignebet : *Modélisation et analyse pour organiser, piloter et optimiser la phase commissioning d'une installation nucléaire* (soutenue le 7/12/22 – voir <https://theses.fr/2022EMAL0014>).

Mouna El-Alaoui : *Définition d'un mode d'analyse et d'une méthodologie outillée de modélisation de la gestion des données / informations / connaissances* (soutenue le 08/11/24 – voir <https://theses.hal.science/tel-04979556>)).

Il s'agit maintenant de se concentrer sur l'importance et l'intérêt d'une Vérification et d'une Validation au plus tôt et de la maîtrise du développement de moyens de simulation auprès de ses partenaires, de ses clients et de ses collaborateurs. **C'est la raison motivant l'évolution de la Chaire CIME vers la Chaire CIMES** au sein de laquelle ce sujet se positionne.



CIMES
Critical
Infrastructures
Model based system
Engineering and early verification and validation by
Simulation

2 UN CONTEXTE : LE PARC NUCLEAIRE EN EXPLOITATION

L'opération et la maintenance d'un parc nucléaire en exploitation (ou Installation Nucléaire de Base INB) est constitué d'un ensemble de tâches et de travaux constituant un ensemble complexe s'articulant à de multiples échelles de temps (court voire très court terme pour de la réalisation, moyen terme à l'échelle d'une modification et long voire très long terme pour des visites et les interfaces avec l'Autorité de Sureté). Ces aspects sont également sujets à de nombreuses évolutions et modifications en cours d'exécution.

L'organisation autour de l'exploitation du parc électronucléaire et l'environnement dans lequel celle-ci se déroule constituent son contexte et affectent inévitablement chaque projet. Cet environnement est lui-même caractérisé par les facteurs suivants d'influence qui sont d'ordre :

- **Réglementaire** : Les installations nucléaires font l'objet d'exigences de sûreté, de sécurité, d'environnement et de démantèlement strictes affectant et contraignant fortement l'opération d'un tel parc.
- **Économique** : L'exploitation d'un parc électronucléaire nécessite un investissement important posant des enjeux clairs de rentabilité et d'optimisation économique à toutes les étapes.
- **Humain** : La continuité d'exploitation d'un parc électronucléaire pose des enjeux clairs de gestion des ressources humaines & compétences associées nécessitant attention et surtout anticipation.
- **Organisationnel** : L'exploitation d'un parc électronucléaire requiert l'ensemble d'une filière industrielle, entre donneurs d'ordre, chaîne de sous-traitance, fournisseurs, etc. où chaque acteur, outre les enjeux de filière, doit également dresser ses enjeux propres.
- **Politique** : La mise en œuvre d'un programme nucléaire et les choix technologiques associés dépendent au premier d'ordre d'une stratégie industrielle et énergétique élaborée à un échelon politique.
- **Sociologique** : Les projets d'INB sont à l'origine de différents débats. Les besoins de groupes spécifiques parmi les parties prenantes doivent faire l'objet d'une attention particulière.

L'exploitation d'un parc électronucléaire fait appel à une grande diversité d'activités et nécessite puis implique des ressources ayant des natures et des rôles variés. Cela se traduit notamment par l'implication de différents corps de métiers sur ces projets, qu'il s'agisse des domaines du contrôle-commande, de la mécanique, du génie-civil ou CVC (Chauffage, Ventilation, Climatisation) par exemple. De plus, cela peut impliquer des sujets qui durent plusieurs années, voire des dizaines d'années.

En complément à cette diversité organisationnelle vient s'ajouter la complexité technique aux installations nucléaires opérées. Un îlot nucléaire implique par exemple aujourd'hui une grande hétérogénéité technologique et une diversité des métiers à impliquer pour l'intégration de ces équipements. Associées à ces équipements, ce sont des millions de données d'ingénierie à encadrer et manipuler. La majorité de ces données sont interdépendantes rendant particulièrement difficile la traçabilité et la gestion de tout changement dans la conception et l'identification des éléments affectés.

Parallèlement, le nombre d'acteurs, la durée du cycle de vie et l'incertitude inhérente au contexte de ce parc (évolution et changement des attentes des acteurs, connaissance des installations...) complexifient la collecte, la caractérisation et l'utilisation (valuation, paramétrage, partage...) de l'ensemble des données d'ingénierie.

3 SUJET DE THESE : MODELISATION DES PROCESSUS, ORGANISATIONS ET FLUX DE DONNEES DANS LE CADRE DES ACTIVITES DE MAINTIEN EN CONDITIONS OPERATIONNELLES DU PARC ELECTRONUCLEAIRE

3.1 Périmètre du sujet

Le sujet de thèse proposé s'inscrit dans une démarche de modélisation & simulation et dans la continuité des travaux de la précédente Chaire CIME. **Il s'agira de développer une modélisation générique, transposable et répliquable des organisations, processus et flux de données dans le cadre des travaux de maintien en conditions opérationnelles et d'optimisation du parc électronucléaire existant.** Ces modèles seront simulables au plus tôt pour évaluer leur comportement au regard d'indicateurs de performance clés du domaine.

L'établissement de cette modélisation et simulation servira de préalable à l'analyse puis à la caractérisation d'axes d'optimisation de l'organisation, du déroulement, du partage d'information et du suivi des phases de conception, de contractualisation et de suivi de travaux et d'opérations qui sont cruciales à la fois pour ASSYSTEM et toutes les autres parties prenantes. De plus, cette modélisation devra, à terme, permettre l'ajustement et / ou le développement sur les mêmes bases de modélisations corollaires dans des champs d'application proches.

3.2 Sujet technique : cas d'application

La thèse disposera de deux champs applicatifs reliés ensemble

- Une dimension Industrielle : EDF est engagé dans une stratégie industrielle significative au travers des Programmes Visite Décennale (Programme VD). L'enjeu de ce programme est d'accompagner EDF dans la préparation et la réalisation des Visites Décennales conditionnant la poursuite d'exploitation du parc électronucléaire actuel. Il s'agit plus spécifiquement de mener l'instruction des sujets identifiés conjointement par EDF et l'Autorité de Sûreté jusqu'à implémentation des modifications ou dédouanement (propositions, études, contractualisation, réalisation). Un autre enjeu de ce champs industriel est le programme de rénovation Grand Carénage, et enfin, les objectifs de prolongation du parc de centrales nucléaires en exploitation.

- Une dimension R&D avec le projet Data2KWh, lié à ces mêmes enjeux, soit un objectif de servir une production en augmentation, de maintenance augmentée, et d'innovation autour du parc. Parmi les axes majeurs de travail, on citera :

- Des moyens de réaliser des travaux bons du premier coup
- De l'efficacité sur les travaux répétitifs
- Une prévision fiable des travaux à long terme
- Une adaptation temps réel et les moyens d'arbitrage sur les sujets critiques.

Le tout s'inscrit dans un écosystème fait de nombreuses organisations, d'activités concourantes. Les flux de données sont complexes et entrelacés, interdépendants les uns des autres, avec de nombreux silos mal-communicants.

3.3 Verrous et Axes de recherche

Le constat initial est que malgré les efforts et la disponibilité de travaux de recherche dans des cadres similaires voire identiques, la modélisation des organisations et des processus n'est pas à date implémentée et mise en œuvre dans le cadre des sujets liés à l'opération et à la maintenance d'un outil industriel électronucléaire comme elle commence à l'être dans le cadre des sujets de conception relatifs aux nouvelles constructions nucléaires (notamment programme EPR2).

Il s'agit avant tout de formaliser, rendre opérationnel et mettre en œuvre, dans un cadre industriel défini qui est celui du parc nucléaire en exploitation, différentes alternatives d'approches et de méthodes liées à la modélisation des organisations, des processus et de la donnée. En conséquence, les verrous peuvent être répartis en différentes catégories :

- **Les verrous liés à la conduite du changement** : Un point de blocage majeur dans la mise en œuvre de la modélisation et son usage pour le pilotage effectif des sujets liées à l'opération d'un actif industriel électronucléaire est l'acculturation et de la maîtrise des acteurs métier avec cette approche et leur capacité à avoir le 'réflexe' modélisation. Ce verrou découle donc de la capacité des acteurs impliqués opérationnellement à connaître, à voir les intérêts et à vouloir mettre en œuvre une démarche de modélisation.

- **Les verrous liés à la formalisation des attendus** : Un second point de blocage est la capacité à formaliser objectivement et mesurablement les attendus des acteurs, lesquels vont en retour orienter les efforts de modélisation. Ce verrou découle donc de la capacité à définir les modalités concrètes d'une utilisation de la modélisation pour le pilotage d'activités d'ingénierie d'opérations et maintenance

et à quantifier ses gains concrets.

- **Les verrous associés à l'organisation, la structuration et l'accessibilité des données** : Un autre point de blocage est associé à la disponibilité et/ou la centralisation des données servant de base à la mise en œuvre d'une modélisation. Ce verrou découle donc de la capacité à capitaliser sur les travaux initiés précédemment sur la modélisation et la mise à disposition des données d'ingénierie dans le cadre de projets complexes

- **Les verrous associés à l'initialisation d'une démarche de modélisation** : Un point de blocage est la capacité à intégrer les données héritées pertinentes sous forme documentaire et construire un point de départ modélisé, c'est-à-dire un ensemble initial de modèles constitués et interconnectés. Par exemple, il s'agirait dans le cas de Data2KWh de construire une modélisation processus de suivi des pièces de rechange. Ce verrou découle donc, étant donné le sujet concret de l'opération et de la maintenance du parc nucléaire en exploitation, de la capacité à transcrire sous forme de modèles ces éléments. Il devra aussi être levé un verrou pour quantifier les données pour le paramétrage de la simulation.

- **Les verrous liés à la capitalisation des connaissances et au retour d'expérience** : dans le cadre de l'exploitation du parc électronucléaire, les connaissances et compétences liées à la mise en œuvre de la modélisation des organisations, processus et données sont peu formalisées, très dépendantes des individus et faiblement capitalisées. En résulte une difficulté significative à mettre en œuvre de l'amélioration continue sur ces sujets.

- **Les verrous liés à la simulation et la synchronisation des modèles hétérogènes** : un verrou concerne la capacité à simuler de manière cohérente et fiable des scénarios dynamiques impliquant plusieurs modèles partiels (processus, équipements, acteurs, données métier) provenant de systèmes hétérogènes. Lever ce verrou nécessite des cadres d'interopérabilité pour orchestrer des simulateurs distribués (ex. HLA, FMI), des mécanismes de synchronisation temporelle et sémantique entre modèles, une validation des comportements simulés dans des contextes industriels critiques tels que le nucléaire.

Les causes des verrous listés ci-dessus peuvent être brièvement identifiées ici :

- Absence de démarche structurée et documentée de continuité des données
- Absence de démarche structurée et documentée de continuité des outils
- Faible maîtrise de l'entreprise étendue
- Absence de démarche structurée et documentée de fédération des modèles
- Absence de démarche structurée et documentée de partage et collaboration autour de modèles et de données
- Faible prise de conscience des gains potentiels engendrés par une démarche de modélisation
- Faible intégration des modèles aux instances de prise de décision et/ou de pilotage

Il s'agit donc de verrous conceptuels, méthodologiques, techniques, mais aussi organisationnels et humains.

4 ORGANISATION DES TACHES

Pour lever ces verrous et construire graduellement les étapes permettant une mise en œuvre effective de la modélisation en pilotage, les objectifs du travail de recherche, et les grandes tâches à mener à bien sont donc :

4.1 Etat de l'art et collecte des retours d'expérience issu du terrain

Il s'agit ici, et durant la totalité des travaux, d'acquérir et parfaire les connaissances du candidat autour des travaux de référence dans le domaine du MBSE, de l'Ingénierie Système, des cadres d'architectures et du domaine du nucléaire. Un effort particulier sera porté sur les travaux portant sur :

- La notion d'architecture, la systémique, la complexité, les systèmes de systèmes, ...,

- La notion d'INB, celle de parc en exploitation, le processus d'ingénierie sous-jacent ;
- Les techniques, approches, modèles et cadres pour la modélisation d'organisations et de processus ; les langages de simulation et l'interopérabilité ;
- Les standards dans les domaines concernés dont ISO29110, ISO/IEC 42020, ISO/IEC 42030, référentiels ASN, référentiels internes ASSYSTEM, etc. ;
- Les travaux menés dans le cadre de la chaire CIME

Ces investigations porteront fortement aussi sur les aspects métier (domaine des infrastructures critiques nucléaires) et techniques (nécessaires pour le développement des démonstrateurs supportant les méthodes proposées dont : outils et techniques de transformation de modèles, de développement, d'accès à des bases de données distantes et hétérogènes, de simulation, ...). Le retour d'expérience des équipes impliquées dans l'ingénierie du parc en exploitation est essentiellement détenu par les équipes opérationnelles. L'un des enjeux initiaux de la thèse sera de définir la méthodologie de récupération puis de formalisation de ce retour d'expérience. Ce retour d'expérience sera complété par une recherche bibliographique sur les cadres d'architecture d'entreprise existant et une analyse élargie au niveau des acteurs de l'industrie nucléaire permettant d'appréhender la problématique de manière globale et générique.

4.2 Cartographier les acteurs et les contraintes

À la suite de la récupération des données initiales, la première étape de la construction du modèle de données sera la cartographie des parties prenantes dans le cadre de l'exploitation du parc électronucléaire, en tenant compte des spécificités de la filière.

Le périmètre de l'étude couvrira les aspects liés à l'opération des installations, les phases d'ingénierie et de contractualisation des travaux à réaliser, la conduite effective des travaux, les gestions des pièces de rechange et la sous-traitance.

4.3 Synthétiser les attendus

Il s'agit ici de proposer et de formaliser les points clé de la mise en œuvre effective de la modélisation, et d'en quantifier les attendus. En d'autres termes, l'objectif de cette étape clé est de comprendre et formaliser dans quelles modalités précises une démarche de modélisation pourra servir de base au pilotage des projets ou des équipes impliquées dans l'opération et la maintenance du parc nucléaire en exploitation.

Une fois ces modalités définies, l'enjeu sera de formaliser les gains attendus de façon précise et mesurable.

4.4 Construire une modélisation de base

Sur la base des travaux déjà initiés dans le cadre de la chaire CIME, notamment de définition de cadre d'architecture de modélisation pour les phases d'architecting, d'engineering mais aussi liés à l'accessibilité de la donnée et aux démarches de modélisation de l'organisation de la donnée, il s'agira en concertation avec les parties prenantes identifiées lors de la 2^{ème} étape de construire une modélisation initiale répondant aux enjeux et attendus explicités lors de la 3^{ème} étape. Transformer les modèles conceptuels en modèles de simulation

Un processus itératif permettra d'assurer la convergence de ces travaux et leur ajustement fin aux attendus.

4.5 Réfléchir à la généricité du cadre et intégrer dans ce cadre des mécanismes, techniques et méthodes permettant de mener à bien des analyses (d'impacts, de dépendances, d'effets, ...) et des optimisations

Sur la base de la première modélisation établie, il s'agira de :

- S'assurer ou à défaut construire les mécanismes d'ajustement permettant de garantir que l'approche mise en œuvre est bien adaptable aux multiples contextes de l'exploitation d'un parc nucléaire, autant que faire se peut ;
- Proposer des mécanismes d'analyse et d'utilisation de la modélisation proposée permettant non seulement de l'utiliser en appui au pilotage des travaux, mais aussi en anticipation des évolutions de pilotage de ces mêmes travaux (i.e. élargissement des cas d'usages à adresser).

4.6 Publication

Durant la période de thèse, il sera nécessaire de mener à bien une politique de publication visant à minima la production d'articles soumis à deux Conférences Internationales (une en fin de première année, une en fin de deuxième année) et la soumission d'un article de journal plus conséquent à l'issue de la troisième année, sur la base du manuscrit soumis pour soutenance finale. Les conférences et le journal sont à visées internationales (IEEE, IFAC, ACM, IFIP, ...).

5 ENCADREMENT / FINANCEMENT

L'École Doctorale de rattachement est l'ED I2S de l'Université Montpellier. La thèse se déroulera au sein de l'entreprise ASSYSTEM et à l'IMT Mines Alès, 7 rue Jules Renard, 30319 Alès Cedex (<http://mines-ales.fr/>) dans le cadre de la **Chaire Industrielle CIMES** « Critical Infrastructures Model based system Engineering and early verification and validation by Simulation ».

Elle sera sous la Direction de **M. Grégory ZACHAREWICZ (IMT Mines Alès)** et de **M. Olivier MALHOMME (ASSYSTEM)**.

6 CANDIDATURE

Ce projet concerne un(e) étudiant(e) possédant un diplôme de Master ou d'Ingénieur. Sans les considérer comme des pré requis stricts, les compétences suivantes seront fortement appréciées pour mener à bien les travaux :

- Approche Système et systèmes de systèmes
- Modélisation de processus / projets / modèles de données
- Simulation
- Ingénierie Système et MBSE : principes, processus, mise en pratique
- Modélisation multi paradigmes et multi langages / Méta modélisation
- Data science
- Ouverture d'esprit et curiosité, autonomie et force de proposition (juger, décider, convaincre)
- Développement informatique

Tout(e) candidat(e) intéressé(e) est prié(e) de faire parvenir au plus vite son dossier de candidature par courrier électronique à :

- M. Grégory ZACHAREWICZ : gregory.zacharevicz@mines-ales.fr
- M. Olivier MALHOMME : omalhomme@assystem.com

Ce dossier doit être constitué des pièces suivantes :

- Un CV détaillé ;
- Une lettre de motivation décrivant l'intérêt et les souhaits au regard du domaine et du sujet proposés ;
- Des pièces attestant son niveau de diplôme (obtenu ou en cours d'obtention) ;
- Tous documents jugés nécessaires dont, en particulier, lettres de recommandation avec coordonnées précises des personnes signataires, présentation des travaux de R&D menés à bien durant la scolarité et/ou dans le cadre d'expériences professionnelles antérieures.

Une entrevue entre le (la) candidat(e) et les parties prenantes de cette thèse sera organisée très rapidement. Pour cela, le (la) candidat(e) devra présenter son projet de recherche et de développement au regard du sujet de thèse proposé.

Date limite de candidature : **1^{er} septembre 2025**

A NEW PATH TO GROWTH

