



LA NEW PATH TO GROWTH



**MODELISATION ET ANALYSE POUR ORGANISER, PILOTER ET OPTIMISER LA PHASE COMMISSIONING D'UNE INSTALLATION NUCLEAIRE**

## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>Le MBSE : un cadre méthodologique pour ASSYSTEM .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Le Commissioning : Un enjeu majeur du secteur nucléaire et d'Assystem .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Sujet de thèse : Modélisation et analyse pour organiser, piloter et optimiser la phase Commissioning d'une installation nucléaire .....</b>	<b>5</b>
3.1	Périmètre du sujet.....	5
3.2	Sujet technique : cas d'application.....	5
3.3	Verrous et Axes de recherche .....	5
<b>4</b>	<b>Organisation des Tâches .....</b>	<b>6</b>
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	Développer le cadre d'architecture du commissioning .....	7
4.4	Réfléchir à la généricité du cadre .....	8
4.5	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 .....	8
4.6	Publication.....	8
<b>5</b>	<b>Encadrement / Financement .....</b>	<b>8</b>

## 1 LE MBSE : UN CADRE METHODOLOGIQUE POUR ASSYSTEM

L'ingénierie Système (IS) ou System Engineering (SE) se définit, par :

*“An interdisciplinary approach and means to enable the realization of successful systems”  
[INCOSE 2014]*

L'Ingénierie Système (IS) Basée sur des Modèles (ISBM) ou Model Based System Engineering (MBSE) est une méthodologie qui permet de faire ou de concrétiser l'idée d'Ingénierie Système.

En MBSE, il s'agit de supporter les activités d'IS tout au long du développement d'un système d'intérêt en se basant sur la création, l'usage et l'échange de modèles donc sur des activités de modélisation et d'analyse. Ces modèles se veulent par définition évolutifs, simulables, prouvables et analysables (e.g. afin d'évaluer et de comparer des solutions concurrentes). Le but est d'obtenir des justifications au plus tôt, avec un certain degré de confiance et de pertinence et à moindre coût, par exemple, car l'emploi de modèles et de techniques de virtualisation / simulation peuvent permettre de réduire les besoins de prototypage ou de maquettage, voire de tests à mener à bien en phase d'intégration. Cela permet donc de se démarquer d'une ingénierie basée sur la fourniture et l'échange de documents moins apte à capter, suivre et rendre compte de l'évolution de la conception, des besoins comme de la solution représentant le système d'intérêt.

Un modèle est une abstraction ou une représentation partielle de la réalité. Ainsi, croiser et utiliser ensemble plusieurs modèles d'un même système d'intérêt permet de mieux appréhender la complexité de celui-ci et d'être plus à même de la maîtriser. Pour cela, le MBSE repose tout d'abord sur différentes méthodes de modélisation, d'analyse, d'évaluation, et plus généralement de création et de manipulation de modèles (transformation, navigation, simulation, émulation,...). Ces modèles doivent enfin être facilement et rapidement partagés tout au long des processus de l'IS sur toutes les phases d'un projet. En effet, ces processus décrivent et structurent le travail à mener à bien de la conception jusqu'au retrait de service en passant par la réalisation. L'étape de commissioning du système d'intérêt, évoquée dans la suite, est tout particulièrement la cible de ces travaux.

Le MBSE repose aussi sur les outils inhérents à la création et manipulation de ces modèles. Ces outils sont multi-utilisateurs et partagent dans la plupart des cas un référentiel de modélisation et d'analyse commun. Celui-ci contient tout d'abord les modèles établis en cours de conception (formant alors la maquette numérique), des modèles établis en cours de réalisation ou d'exploitation pour le suivi, le pilotage et l'optimisation du système tel qu'il a été installé et paramétré chez le client (formant alors le jumeau numérique). Il contient aussi les données, informations et connaissances (ex : données provenant de diverses investigations et mesures sur le terrain, plans, cartes, données environnementales, informations issues d'interviews, règles, législations et usages des domaines concernés, ...). Ce référentiel regroupe donc l'ensemble du descriptif du système d'intérêt nécessaire à chaque phase de son cycle de vie et devant être partagé entre les parties prenantes du projet. Cela permet d'avoir un environnement unique dans lequel le fonctionnement et les interactions du système et de ses composants sont décrits sans ambiguïté.

De fait, l'approche MBSE peut être appliquée horizontalement pour supporter l'ensemble du cycle de vie du système et/ou verticalement en vue d'une meilleure collaboration et d'un partage de l'information entre les différentes disciplines.

ASSYSTEM propose donc de passer d'une stratégie d'ingénierie guidée essentiellement par les documents à une stratégie guidée par les modèles, données, information et connaissances qui permet une plus grande dynamique et garantit une pérennité et une intégrité du descriptif du système d'intérêt en s'affranchissant des technologies de supports des informations (rapports, schémas, CR d'interviews, fichiers excel...) au profit de modèles de données et de bases de données permettant de stocker des données hétérogènes pouvant être non-structurées.

## 2 LE COMMISSIONING : UN ENJEU MAJEUR DU SECTEUR NUCLEAIRE ET D'ASSYSTEM

Le commissioning est une démarche globale et transversale permettant de vérifier, tester et valider la performance d'un ouvrage et de ses systèmes afin d'en assurer le fonctionnement optimal.

Le commissioning est caractérisé par deux phases :

- Dans sa phase de conception (appelée dans la suite Commissioning Design Time - CDT), toutes les activités, ressources, objectifs, contraintes et attentes du commissioning sont spécifiées et validées. Le CDT démarre donc dès la conception de l'ouvrage, devant alimenter (en termes de contraintes de faisabilité, réglementaire ou de déploiement par exemple) et s'irriguer lui-même (en termes de besoins et d'activités de test, d'essai et de justification).
- Dans sa phase d'exécution (appelée dans la suite Commissioning Run Time - CRT), le commissioning est mis en œuvre, puis adapté au fur et à mesure en fonction des différents événements ou situations rencontrés en cours de Validation de l'ouvrage. Le commissioning est donc un des enjeux de l'IVTV de l'ouvrage. Par IVTV, on entend :
  - L'Intégration i.e. réalisation, production, assemblage, construction... de l'ouvrage
  - La Vérification de cette intégration au fur et à mesure pour s'assurer de la qualité de celle-ci en rapport avec la conception établie
  - La Transition éventuelle vers le client (a priori concernée partiellement pour certains des composants fabriqués sur un site de production séparé et transférés pour intégration sur le site client).
  - La Validation proprement dite avec les parties prenantes du projet d'ouvrage, dont le client.

De fait, le commissioning se focalise sur la Validation et les aspects de mise en service. Il doit déboucher sur la qualification opérationnelle i.e. l'acceptation par le client mais aussi par toutes les autres parties prenantes, de l'ouvrage tel qu'il a été implémenté, installé, configuré et paramétré. Il a donc lieu avant de mettre l'ouvrage en exploitation i.e. la phase de son cycle de vie pendant laquelle cet ouvrage va être piloté pour rendre les services prévus en remplissant sa mission, être maintenu en conditions opérationnelles, être optimisé ou reconfiguré et dont les configurations doivent donc être gérées, etc.

Cette thèse constitue l'un des éléments de la contribution d'ASSYSTEM à la capitalisation du retour d'expérience du commissioning de Flamanville 3 aux côtés d'EDF (capitalisation dans laquelle s'inscriraient également des études comparatives, des états de l'art, ...). L'objectif de cette capitalisation est de constituer une clef de voûte de la réussite du projet nucléaire britannique d'Hinkley Point C, et, plus largement, de contribuer à la sécurisation du lancement d'un programme de nouveau nucléaire aux yeux des instances de décision politique.

La thèse s'inscrit dans cet effort visant à sécuriser et optimiser le déroulement de la phase de commissioning. L'axe retenu est l'utilisation des principes mêmes d'une approche MBSE pour faciliter et promouvoir, auprès des acteurs métier impliqués durant le commissioning, la mise en œuvre et l'usage régulier de la modélisation, de l'analyse, plus généralement de mécanismes de transformation et de navigation pour le partage et la traçabilité de modèles, données, informations et connaissances propres aux activités de commissioning. Il s'agit, par exemple, de modèles d'interfaces, décrivant le découpage logique ou technique de l'installation, ou bien les liens entre les acteurs, les niveaux de planning, etc. L'objectif est de fournir à ces mêmes acteurs métier la possibilité de représenter sans ambiguïté, d'analyser, de partager et d'accéder en confiance et en permanence à une vue globale, cohérente et à jour de l'ensemble des activités, faits techniques, résultats, essais, etc. de commissioning. Le champ applicatif concernera une installation nucléaire.

### 3 SUJET DE THESE : MODELISATION ET ANALYSE POUR ORGANISER, PILOTER ET OPTIMISER LA PHASE COMMISSIONING D'UNE INSTALLATION NUCLEAIRE

#### 3.1 Périmètre du sujet

Le sujet de thèse proposé s'inscrit donc dans la démarche MBSE. **Il s'agira de développer un cadre d'architecture fondé sur les principes et les concepts de l'ingénierie système basée sur les modèles appliqué au Commissioning en tenant compte des spécificités propres à l'industrie nucléaire, notamment les contraintes, réglementations et bonnes pratiques du domaine nucléaire issues des standards externes (AIEA, WANO, etc.) ou internes (doctrine qualité ASSYSTEM).**

L'établissement de ce cadre d'architecture 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 de cette phase cruciale à la fois pour ASSYSTEM et toutes les autres parties prenantes.

Enfin, ce cadre d'architecture devra, à terme, mettre à disposition des modèles, des méthodologies et une démarche opératoire permettant de manipuler en cohérence et en confiance tous les éléments de cette phase de commissioning à savoir les flux, les interfaces, les tests et essais, etc...

#### 3.2 Sujet technique : cas d'application

La thèse disposera de deux champs applicatifs :

- Le projet STEMA de construction d'une installation nucléaire de base (INB) de taille moyenne en vue de traiter des effluents radioactifs, sur le site du CEA de Marcoule et mené par ASSYSTEM. Ce projet est aujourd'hui en phase finale. Cela permettra donc, sur la base de données complètes et accessibles, de définir les grandes orientations et une première version du cadre d'architecture, d'en tirer des principes génériques pour en établir une version généralisable et d'en affiner le contenu pour tenir compte des retours d'expérience du projet STEMA dans le domaine Nucléaire.
- Le projet EPR Flamanville-3, actuellement en démarrage, visera ensuite à appliquer ce cadre sur un processus en cours avec les données disponibles, et à l'améliorer, préciser ses éléments constitutifs et challenger ce cadre d'architecture sur la base de ce cas d'application. Cela permettra une plus grande représentativité des phénomènes modélisés, des attendus et enjeux.

#### 3.3 Verrous et Axes de recherche

De par son REX industriel, ASSYSTEM a identifié un ensemble de problématiques et de verrous pour élaborer ce type de cadre d'architecture dans le cadre de la phase de commissioning d'une installation nucléaire et, si l'on raisonne à un niveau plus générique, d'une infrastructure critique. Il est proposé de scinder ces problèmes selon en deux grands types :

- Les problèmes perçus au cours de la phase de **Commissioning Design time (CDT)**. Ce CDT doit se dérouler en parallèle et, si possible, démarrer au plus tôt de la conception, comme cela est suggéré pour l'élaboration du plan global d'IVTV. Il s'agit en effet de prévoir, organiser et planifier ce qui sera alors logiquement nécessaire pour mener à bien cette étape de commissioning en accord et en cohérence avec l'équipe en charge de la conception de l'infrastructure critique :
  - Les tests et essais répondant aux exigences des parties prenantes,
  - Les justifications demandées,

- Les ressources humaines (compétences et capacités, disponibilités, ...), matérielles (banc de test, ...) et logicielles (de gestion des faits techniques, de configuration des outils et bancs, ...) nécessaires,
- Les sites visés pour les tests et essais avec leurs caractéristiques et contraintes (dimensionnelles, accessibilité, niveau de sûreté, ...),
- etc.
- Les problèmes perçus durant le **Commissioning Run time (CRT)** i.e. dans le cadre de l'exécution des activités, de leur pilotage et de l'éventuelle remise en cause de tout ou partie de ces activités (de test, d'essai, etc.). Ce CRT démarre au plus tôt de l'intégration sur site ou du transfert sur le site client de l'installation et nécessite souvent de faire évoluer et d'adapter les résultats du CDT pour tenir compte des événements, situations, nouvelles exigences induites ou émergentes et risques rencontrés en cours d'exécution.

Ces problèmes et les verrous (ou causes constatées) qui en sont à l'origine sont les suivant :

- (CDT) Absence de cadre conceptuel pour modéliser une telle étape très en amont de la réalisation de l'infrastructure nucléaire visée, quelquefois plusieurs années avant sa construction, et en se basant donc uniquement sur les éléments composant sa maquette numérique.
- (CDT) Synchronisation avec le processus de Conception, a minima, par le partage des exigences et des contraintes de l'infrastructure et des exigences et contraintes remontant des équipes potentiellement en charge de tests et essais, justification et autre livrables du commissioning mais aussi en charge de l'intégration et du transfert proprement dit de l'installation sur le site client.
- (CDT et CRT) Absence d'une réelle démarche opératoire pour progresser pas à pas, de manière agile et en confiance en faisant intervenir et agir toutes les parties prenantes, pour définir en CDT ou redéfinir en CRT, partager en la rendant intelligible et analysable dans sa globalité et valider au plus tôt l'étape de commissioning en CDT (ses objectifs, ses contraintes, les tests et essais à mener, les plannings, etc.) et la piloter puis l'adapter en cours de CRT.
- (CDT et CRT) Difficultés à disposer d'un référentiel de patrons de modélisation pour guider et faciliter le travail des acteurs impliqués par réutilisation ou inspiration de cas passés.
- (CDT et CRT) Interopérabilité limitée des outils de modélisation, d'analyse et d'optimisation susceptibles d'être utilisés par absence d'un méta modèle unifié des concepts génériques (indépendant des domaines d'utilisation : infrastructures critiques) comme spécifiques au domaine nucléaire.

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

## 4 ORGANISATION DES TACHES

Pour lever ces verrous et prendre en compte l'évolution du niveau de maturité et de maîtrise du commissioning au cours du CDT puis du CRT, 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, de l'IVTV et du commissioning. Un effort particulier sera porté sur les travaux portant sur :

- La notion d'architecture, la systémique, la complexité, les systèmes de systèmes, ...
- Les techniques et stratégies d'IVTV et de commissioning,
- Les techniques, approches, modèles et cadres pour la modélisation et l'évaluation d'architectures de systèmes complexes ;
- Les standards dans les domaines concernés dont ISO29110, ISO/IEC 42020, ISO/IEC 42030, référentiels ASN, référentiels internes ASSYSTEM, etc.;

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 les phases de Commissioning sur le projet STEMA et FA3 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 'commissioning' de manière globale et générique.

## 4.2 Cartographier les acteurs et les contraintes

Suite à la récupération des données initiales, la première étape de la construction du modèle de données sera la cartographie des parties prenantes dans le cadre du Commissioning d'une installation industrielle, en tenant compte des spécificités de la filière nucléaire.

Le périmètre de l'étude couvrira de la fin de construction jusqu'à la mise en service de l'installation et son transfert à l'exploitant. Cette étape du travail de thèse devra également préciser les contraintes liées à ces deux interfaces clés : construction-commissioning et commissioning-exploitation.

## 4.3 Développer le cadre d'architecture du commissioning

Il s'agit ici de proposer et de formaliser les éléments du cadre de modélisation et d'analyse prenant en compte l'installation et le projet de commissioning d'une installation nucléaire, et couvrant les besoins et verrous du CDT et du CRT.

Sur la base de la cartographie des parties prenantes et des REX, le travail à réaliser consiste à établir un méta modèle formalisant les concepts, domaines, et métiers du nucléaire à manipuler dans le cadre du commissioning, concepts devant ensuite permettre de bâtir les modèles requis pour mener à bien cette étape. Il s'agira donc de rechercher, de définir, d'identifier et de caractériser l'ensemble des objets pertinents au regard de la phase de Commissioning (acteurs, découpages de l'installation, concepts IS, etc ...), ainsi que les attributs et les relations entre ces concepts permettant de les organiser, de les manipuler et de les partager en confiance. Citons par exemple et essentiellement :

- Les principales parties prenantes, leurs attendus, besoins, et flux d'échanges
- Leurs corrélations avec les aspects WBS et planning
- Les principaux objets manipulés et les processus afférents reflétant leur évolution tout au long de la phase de Commissioning
- Les enjeux, phases, étapes et chemin critiques
- Les leviers d'optimisation possible au regard des retours d'expériences de STEMA et FA3

Une attention particulière sera à porter aux aspects planning, particulièrement pertinents au vu des acteurs et enjeux.

#### 4.4 Réfléchir à la généralité du cadre

L'idée n'est pas d'obtenir un modèle descriptif du déroulé effectif du Commissioning d'une installation nucléaire spécifique (FA3 ou STEMA), mais, en repartant des travaux précédents, de définir un modèle générique d'une phase de Commissioning pour une installation nucléaire tout en le confrontant et en validant sur la base des cas pratiques constitués par ces deux exemples concrets.

#### 4.5 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

En appliquant le méta modèle au cas STEMA, générer un corpus de modèles, en particulier du processus de commissioning mis en place à l'époque. Il s'agit d'identifier (suite aux retours de terrain par exemple) des axes d'optimisation de la phase de commissioning – en termes de séquencement, d'organisation, de découpage, de responsabilités notamment, et de les valider.

#### 4.6 Publication

Durant la période de thèse, il sera nécessaire de mener à bien une politique de publication a minima basée sur deux conférences Internationales (une en fin de première ou début de deuxième année, une en fin de deuxième année ou début de troisième année) à choisir dans les communautés concernées (IS, Mécatronique, V&V) et une soumission dans une revue internationale en fin de troisième année.

## 5 ENCADREMENT / FINANCEMENT

L'Ecole 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 « Ingénierie Système Basée sur des Modèles pour des Infrastructures Critiques Nucléaires et de Transport » (Model Based System Engineering for Nuclear and Transportation Critical Infrastructures Engineering)

Elle sera sous la Direction de M. Vincent Chapurlat (Professeur) et de M. Grego Zacharewicz (Professeur) de l'équipe ISOE du LGI2P de l'IMT Mines Alès) et conjointement de M. Philippe Chauvet (Expert Technique) et M. Victor Richet (Coordinateur Technique) d'Assystem.

Assystem s'est résolument engagé dans le déploiement de l'Ingénierie Systèmes. Assystem s'est en effet doté depuis maintenant plus de 5 ans d'une entité dédiée au développement et au déploiement des solutions de Digital Engineering. Nous sommes persuadés que le partage des expériences de cette entité d'Assystem et de notre entité R&D et Data Science, avec les équipes en charge de la capitalisation des REX du commissioning du projet STEMA et de Flamanville 3 aurait un intérêt.

L'équipe ISOE travaille sur le développement des aspects conceptuels, méthodologiques et techniques pour soutenir des activités d'ingénierie d'un système complexe qui visent à produire et réaliser un artefact satisfaisant pour répondre à l'ensemble des besoins, contraintes et usages des parties prenantes impliquées ou concernées par des activités d'ingénierie et d'IVTV. L'objectif est de leur permettre de comprendre, exprimer des besoins, modéliser, comparer des solutions et progresser en confiance.

Contacts :

- Philippe Chauvet : [pchauvet@assystem.com](mailto:pchauvet@assystem.com)
- Victor Richet : [vrichet@assystem.com](mailto:vrichet@assystem.com)



- Vincent Chapurlat : [vincent.chapurlat@mines-ales.fr](mailto:vincent.chapurlat@mines-ales.fr)
- Gregory Zacharewicz : [gregory.zacharewicz@mines-ales.fr](mailto:gregory.zacharewicz@mines-ales.fr)

La durée du CDD est de 36 mois avec un salaire net de 1750€ nets.

# A NEW PATH TO GROWTH

