



HAL
open science

Modélisation et analyse pour organiser, piloter et optimiser la phase de commissioning d'une installation nucléaire

Alan Gaignebet

► **To cite this version:**

Alan Gaignebet. Modélisation et analyse pour organiser, piloter et optimiser la phase de commissioning d'une installation nucléaire. Autre [cs.OH]. IMT - MINES ALES - IMT - Mines Alès Ecole Mines - Télécom, 2022. Français. NNT : 2022EMAL0014 . tel-04074562

HAL Id: tel-04074562

<https://theses.hal.science/tel-04074562>

Submitted on 19 Apr 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**THÈSE POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR
DE L'INSTITUT MINES-TELECOM (IMT) –
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES D'ALÈS (IMT MINES ALÈS)**

En SYstèmes, Automatique et Micro-électronique

École doctorale I2S – Information, Structures, Systèmes portée par l'Université de Montpellier

Unité de recherche : Laboratoire des Sciences des Risques (LSR), IMT Mines Alès

**Modélisation et analyse pour organiser, piloter et
optimiser la phase de commissioning d'une installation
nucléaire**

**Présentée par Alan GAIGNEBET
le 09/12/2022**

**Sous la direction de Vincent CHAPURLAT
et de Grégory ZACHAREWICZ**

Devant le jury composé de :

Gert VAN DEN EYNDE, Gastprofessor, Universiteit Hasselt, Belgique	Rapporteur
Eric LEVRAT, Professeur des Universités, Université de Lorraine	Rapporteur
Robert PLANA, Chief Technology Officer, Assystem	Examineur
Victor RICHET, Ingénieur, Assystem STUP	Examineur
Caroline Chabal, CEA Marcoule	Invitée
Grégory ZACHAREWICZ, Professeur, IMT Mines Alès	Co Directeur de thèse
Vincent CHAPURLAT, Professeur, IMT Mines Alès	Directeur de thèse



Table des matières

CHAPITRE 1ER	INTRODUCTION	7
CHAPITRE 2E	PROBLEMATIQUE	9
2E - I.	INTRODUCTION DU CHAPITRE	9
2E - II.	CONCEPTION ET REALISATION DE SYSTEMES COMPLEXES – NOUVELLES METHODES D’INGENIERIE	9
2E - III.	INGENIERIE DANS LE DOMAINE DU NUCLEAIRE.	11
2E - IV.	COMMISSIONING ET INB DANS SON CYCLE DE VIE	12
2E - V.	SYNTHESE DES VEROUS CLASSIFIES	13
2E - VI.	CONCLUSION	14
CHAPITRE 3E	ÉTAT DE L’ART	15
3E - I.	INTRODUCTION	15
3E - II.	COMPLEXITE	16
3E - III.	CULTURE DU COMMISSIONING ET CONNAISSANCES	18
3E - IV.	COLLABORATION, PARTAGE ET CONFIANCE	19
3E - V.	MODELISATION ET LANGAGES	22
3E - VI.	ADAPTABILITE	23
3E - VII.	CONCLUSION : SYNTHESE DES CONTRIBUTIONS ATTENDUES	24
CHAPITRE 4E	CONTRIBUTIONS	27
4E - I.	INTRODUCTION AU CHAPITRE	27
4E - II.	DEFINITION DU COMMISSIONING	27
4e - II.1	Positionnement actuel du commissioning	27
4e - II.2	Vers une vision système du commissioning	28
4E - III.	DESCRIPTION DE LA METHODE CoGuiNF	33
4E - IV.	PRESENTATION DETAILLEE DE LA METHODE CoGuiNF	35
4e - IV.1	Concepts abstrait	35
4e - IV.2	Vue système	36
4e - IV.3	Vue structurelle	37
4e - IV.4	Vue comportementale	40
4e - IV.5	Synthèse	44
4E - V.	LANGAGES	45
4e - V.1	Vue système	46
4e - V.2	Vue structurelle	49

4e - V.3	Vue comportementale	53
4E - VI.	DEMARCHE OPERATOIRE	59
4e - VI.1	Niveau projet.....	59
4e - VI.2	Niveau entreprise.....	74
4E - VII.	OUTILS	77
4e - VII.1	Importation de concepts.....	78
4e - VII.2	Diagrammes	78
4e - VII.3	Démarche opératoire	78
4E - VIII.	REFERENTIEL D'EXPERTISES ET DE PRATIQUES (REP).....	79
4E - IX.	CONCLUSION	82
CHAPITRE 5E	ILLUSTRATIONS	83
5E - I.	INTRODUCTION AU CHAPITRE.....	83
5E - II.	PROJET MOLFI	84
5e - II.1	Contexte et hypothèses simplificatrices.....	84
5e - II.2	Périmètre concerné de la méthode CoGuiNF	86
5e - II.3	Résultats	87
5e - II.4	Discussion et analyse des résultats	96
5E - III.	PROJET HPC	97
5e - III.1	Contexte et hypothèses simplificatrices	97
5e - III.2	Périmètre de la méthode	98
5e - III.3	Résultats.....	100
5e - III.4	Discussion et analyse des résultats.....	103
5E - IV.	PROJET ITER.....	104
5e - IV.1	Contexte et hypothèses simplificatrices	104
5e - IV.2	Périmètre de la méthode	105
5e - IV.3	Résultats.....	106
5e - IV.4	Discussion et analyse des résultats.....	109
CHAPITRE 6E	CONCLUSION	111
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	115	
ANNEXE : DSML DE LA METHODE COGUINF	118	
RESUME / ABSTRACT	127	

Table des illustrations

Figure 1 Schéma de principe du rôle du modèle dans l'approche MBSE (INCOSE IW 2016) ...	10
Figure 2 : Cycle de vie générique d'un système [DCIS 2012].....	18
Figure 3 Démarche de remise en cause des processus d'entreprise [21].....	21
Figure 4 Rédaction d'exigences à partir de boiler plates [36].....	22
Figure 5 : SE vs. MBSE [Model Based-Engineering MBSE 101 - INCOSE IW January 30th, 2016, moderated by Elyse Fosse].....	23
Figure 6 Vision actuelle du commissioning	30
Figure 7 Découpage générique à l'aide des concepts de SOI et de SUTD	31
Figure 8 Vision système du commissioning.....	32
Figure 9 Classes abstraites de structuration.....	36
Figure 10 Classes et relations de la vue système	37
Figure 11 Description des Data manipulées.....	38
Figure 12 Classes et relations de la vue structurelle	40
Figure 13 Classes et relations de la vue comportementale.....	43
Figure 14 LifeCycleModellingDSML	46
Figure 15 ContextModellingDSML.....	48
Figure 16 DataSpecificationModellingDSML	50
Figure 17 StructuralModellingDSML	52
Figure 18 XBSModellingDSML	53
Figure 19 ProcessModellingDSML	54
Figure 20 CAEFrameworkModellingDSML.....	56
Figure 21 PlanningDesignAndOptimisationDSML	57
Figure 22 Figure récapitulative des DSML de la méthode CoGuiNF.....	58
Figure 23 Figure représentative de la démarche opératoire et de ses éléments	59
Figure 24 Modèle BPMN de la démarche opératoire de réalisation d'un essai.....	63
Figure 25 Macro-activité de préparation du commissioning	64
Figure 26 Activités et tâches de l'analyse de mission du commissioning system	64
Figure 27 matrice d'allocation des rôles pour l'analyse de mission	65
Figure 28 Activités et tâches de l'ingénierie des besoins du commissioning system :	67
Figure 29 Activités et tâches de l'ingénierie des exigences du commissioning system	67
Figure 30 Activités et tâches de la définition de l'architecture du commissioning system	68
Figure 31 Activités et tâches de la conception du commissioning system	69
Figure 32 Activités et tâches de l'analyse système du commissioning system.....	70
Figure 33 Activités et tâches de l'implémentation du commissioning system	71
Figure 34 Activités et tâches de l'intégration du commissioning system	71
Figure 35 Activités et tâches de la vérification du commissioning system	72
Figure 36 Activités et tâches de la transition du commissioning system.....	73
Figure 37 Activités et tâches de la validation du commissioning system	74
Figure 38 Diagramme BPMN de sensibilisation des collaborateurs.....	75
Figure 39 Diagramme BPMN de formation des collaborateurs	76

Figure 40 Architecture du REP	80
Figure 41 Ensemble des concepts et relations du REP	81
Figure 42: Figure récapitulative des éléments de la méthode concernés par le projet MOLFI	87
Figure 43 Cartographie des parties prenantes (haut niveau) [OEBD]	87
Figure 44: System architecture blank (SAB) du système MOLFI	88
Figure 45 Interfaces du système d'intérêt [LAB]	89
Figure 46: Allocations de fonctions aux composants de la partie outillage [LAB]	91
Figure 47: Représentation d'essais sous forme de chaînes fonctionnelles dans un LAB	93
Figure 48 Représentation d'un essai de chargement de cibles sous forme de scénario opérationnel (le scénario se lit de haut en bas)	95
Figure 49: Figure récapitulative du périmètre de la méthode	96
Figure 50: Figure récapitulative du périmètre de la méthode	99
Figure 51: Diagramme de contexte du commissioning system (SAB du commissioning system)	100
Figure 52: SAB du commissioning system	101
Figure 53 Exemple de librairie	102
Figure 54: Exemple de WBS.....	103
Figure 55: Figure récapitulative du périmètre de la méthode	103
Figure 56: Figure récapitulative du périmètre de la méthode	106
Figure 57 LAB du système LAC.....	107
Figure 58 Physical architecture blank du système LAC	108
Figure 59 Figure récapitulative des contributions.....	112
Figure 60: [VIEW] ALL views and associated DSML.....	118
Figure 61: [ModelKind] Context modelling DSML	119
Figure 62: [ModelKind] Commissioning Data Specification (project informational model) ..	120
Figure 63: [ModelKind] Functional (Process/Activities/Tasks/Operations)	121
Figure 64: [ModelKind] Structural	122
Figure 65: [ModelKind] Life Cycle.....	123
Figure 66: [ModelKind] Break Down Structure	123
Figure 67: [ModelKind] Project Planning.....	124
Figure 68: [ModelKind] CAE framework	124
Figure 69: [ModelKind] Configurations modelling	125

Chapitre 1er Introduction

Le nucléaire est un domaine qui, depuis maintenant 69 ans, a en France énormément apporté tant en termes de production énergétique qu'à des fins médicales. En effet, la production d'électricité en France repose actuellement (67% de la production d'électricité pour l'année 2020 [1]) sur les 56 réacteurs nucléaires en activité avec une puissance installée de 61.25 GW [2]. Une telle production a demandé un investissement conséquent de près de 170 milliards d'euros depuis 1945 comprenant la recherche dans le domaine (55M), la construction des centrales (96M) et la filière de retraitement des déchets (19M) [3]. Cela mobilise aussi aujourd'hui un budget important pour la maintenance du parc de l'ordre de 3,5 milliards d'euros par an.

Ce domaine souffre néanmoins de nombreux retards dans la conception et la réalisation des nouvelles installations. A titre d'exemple, EDF a annoncé que la construction de l'EPR du site d'Hinkley Point accuse un nouveau retard d'au moins un an et des coûts supplémentaires de l'ordre de 3.5 milliards d'euros. Ces retards et ces coûts supplémentaires sont la conséquence de facteurs de diverses natures, aussi bien politiques qu'administratifs ou purement organisationnels et techniques. Sur ces deux derniers points en particulier, il existe effectivement de nombreuses difficultés pour passer de la conception d'une installation à sa réalisation puis à sa livraison à l'opérateur.

Par exemple, [4] relève un certain nombre d'anomalies dans la construction de l'installation engendrant un report important de la mise en service de cette Evolutionary Power Reactor (EPR) (Réacteur de conception franco-allemande de génération III+) Olkiluoto 3 en Finlande. Le rapport en question insiste tout particulièrement sur certaines leçons apprises durant l'analyse du déroulement des événements après la réalisation du radier, il insiste notamment sur le fait que les conclusions observées étaient déjà présente dans le rapport KyAMK et que ces dernières n'ont pas été communiquées, ne reflétant pas une bonne culture de la qualité. Ces conclusions sont les suivantes :

« *The construction of the base slab was impeded by the following factors:*

- *No appointed responsible manager at the site unambiguously in charge of the base slab fabrication, with authority to issue orders that are binding to all parties.*
- *The base slab delivery chain did not share a common perception of the safety significance of the quality of concrete.*
- *In the selection of the concrete supplier, the special quality requirements applied in a nuclear power plant construction were not brought up in the tender invitations, whereas cost factors were strongly emphasized in the selection.*
- *No training was provided to the staff involved in the fabrication of concrete concerning practices in the nuclear field and the safety significance of their own work.*
- *The division of the concrete supply contract resulted in interfaces, the management of which failed.*
- *In quality control, too much trust was placed on the responsible attitude of the parties in the elimination of the detected problems.*
- *Responsibilities were unclear, and problems existed in communication with respect to the design of the mix composition, fabrication of concrete and quality assurance.*
- *The problems observed in previous concreting operations did not result in effective corrective actions implemented in time.*
- *The approved composition of concrete and the concreting specifications were not adhered to in concrete fabrication.*
- *Quality related non-conformances connected with the composition of concrete and concreting were not handled without delay and in an open manner.*

• *The handling of quality problems in the base slab concrete has been characterized by a search for guilty parties instead of focusing on developing the practices. “*

Nous voyons émerger ici un besoin essentiel qui est alors de s’assurer que l’installation livrée à l’exploitant est sûre et respecte la totalité des attentes des parties prenantes du projet notamment en termes de performances de l’installation. Il faut pour cela procéder avec rigueur et argumenter, organiser et structurer, puis piloter les activités à mener à bien en traçant chaque résultat, en les partageant entre toutes les parties prenantes sur la base de démonstrations, de preuves et de données tangibles. L’intervention d’une autorité de sûreté à cette étape clef est enfin requise pour attester de la valeur de ces résultats.

Cette étape essentielle est appelée **commissioning**, aujourd’hui encore trop peu considérée et mal conceptualisée, elle entraîne souvent des retards et des coûts supplémentaires. Ce défaut de conceptualisation découle principalement de la complexité tant de l’installation que de l’organisation en charge de sa réalisation.

Ces travaux de R&D visent donc à conceptualiser et standardiser cette étape clef qu’est le commissioning mais aussi à supporter les équipes en charge à l’aide notamment d’une approche d’ingénierie basée sur les modèles. Ils s’inscrivent dans le cadre de la Chaire Industrielle CIME (Critical Infrastructures Model based system Engineering) qui est le fruit de la collaboration initiée en juin 2019 entre IMT Mines Alès, la Fondation Mines-Alès sous égide de la fondation Mines-Télécom et le groupe ASSYSTEM Engineering and Operation Services (AEOS).

Le Laboratoire des Sciences des Risques de l’IMT Mines Alès et, tout particulièrement, l’axe Ingénierie de Systèmes Complexes pour les activités à Risques, travaille sur le développement des aspects conceptuels, méthodologiques et techniques pour soutenir des activités d’ingénierie d’un système complexe.

Le Groupe AEOS intervient dans l’ingénierie, l’assistance à ingénierie et la gestion de projets complexes portant, entre autres, sur des infrastructures nucléaires, depuis plus de 50 ans. Il intervient aussi dans les domaines de l’énergie conventionnelle, des transports, de l’industrie et de la défense, en étant présent dans 15 pays d’Europe, du Moyen-Orient, d’Afrique et d’Asie. Ce groupe constitue la 2^e ingénierie nucléaire indépendante en taille dans le monde, et est notamment présent dans les domaines de la sûreté, de la sécurité, de la numérisation et de l’ingénierie des systèmes. Son rôle est d’accompagner ses clients dans la conception, la supervision de la construction, la mise en service et l’exploitation de ces installations, en mettant tout particulièrement l’accent sur la sûreté et la performance. Enfin, AEOS participe à l’élaboration et au déploiement d’outils numériques en support à l’ingénierie ainsi qu’au développement de solution pour la gestion des services de terrain.

La Chaire de Recherche CIME se concentre sur la thématique de l’Ingénierie Système basée sur des modèles (ou Model Based System Engineering - MBSE) appliquée ici sur des projets de conception d’Infrastructures Critiques, tout particulièrement dans le domaine nucléaire.

Dans ce cadre, le projet de recherche présenté dans la suite a croisé une approche descendante (de la théorie des standards et de la littérature à leur mise en œuvre sur les projets) et une approche montante (des pratiques sur les projets avec leurs limitations et freins jusqu’à la théorisation par remontée). Ce mémoire retrace donc la démarche de recherche et développement d’une méthode baptisée CoGuiNF qui vise à améliorer et maîtriser à la fois le commissioning de manière opérationnelle dans des projets de conception de travaux neufs, et en tant que culture d’entreprise développant une forte activité dans le domaine nucléaire.

Le plan de ce manuscrit s’articule comme suit. Le chapitre 2 présente la problématique de recherche. Le chapitre 3 présente l’état de l’art et les verrous adressés par ces travaux. Le chapitre 4 présente les contributions. Le chapitre 5 illustre celles-ci à l’aide de projets concrets. Le Chapitre 6 conclut le manuscrit.

Chapitre 2e Problématique

2e - I. Introduction du chapitre

Ce chapitre a pour objectif dans un premier temps de formaliser, préciser et illustrer les différentes problématiques rencontrées par un collectif de parties prenantes lors de cette activité cruciale qu'est le commissioning [5], [6]. Face à ces problématiques, qu'elles découlent du domaine (nucléaire) ou encore de la complexité des installations, de nouvelles méthodes d'ingénierie doivent être envisagées. Dans un second temps, les causes essentielles à l'origine de ces différentes problématiques seront présentées. Elles sont classées selon une typologie présentée à l'occasion dont certaines seront retenues et étudiées au travers des différentes contributions présentées dans la suite du manuscrit.

2e - II. Conception et réalisation de systèmes complexes – Nouvelles méthodes d'ingénierie

Un système complexe se compose d'un grand nombre d'éléments, généralement hétérogènes dans leur nature, type et comportements, et interagissant entre eux. Ces travaux de recherche s'intéressent plus particulièrement aux activités de mise en service de systèmes complexes. La mise en service dépend fortement des données générées par les phases amont du cycle de vie. De fait, ces activités exigent une certaine adaptation de l'organisation, des méthodes et de l'environnement de travail utilisés par ces parties prenantes. On observe donc aujourd'hui de grandes transformations dans les méthodes de travail en ingénierie. Ces transformations peuvent s'avérer méthodologiques et organisationnelles avec l'avènement de nouvelles méthodes d'ingénierie mais aussi techniques et essentiellement liées à la transition numérique souhaitée en milieu industriel.

La Figure 1 illustre les différentes activités à réaliser lors d'une approche MBSE mais aussi la pluralité des informations que l'on retrouve au sein d'un ensemble de modèles, démontrant ainsi les avantages d'une telle approche au regard d'un projet de système complexe et de la pluralité des métiers impliqués. Un jeu de modèles cohérents permettrait donc idéalement de décrire le système dans son entièreté, ce qui nécessiterait un certain nombre de documents dans une approche documentaire.

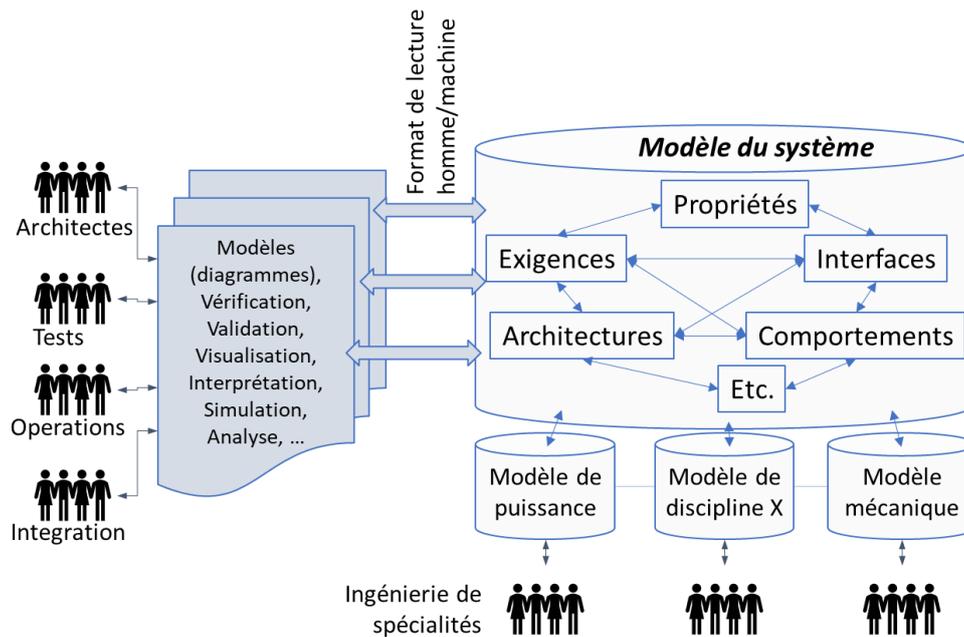


Figure 1 Schéma de principe du rôle du modèle dans l'approche MBSE (INCOSE IW 2016)

En se référant à [7], le MBSE est une “*approche formalisée de modélisation qui vise à soutenir la définition des exigences du système, la conception, l'analyse, la vérification et les activités de validation.*”. L'introduction des modèles dans les méthodes de travail présente donc un avantage clair, celui d'améliorer et d'accélérer le travail collaboratif des différentes parties prenantes, de réduire les échanges de documents (offrant seulement une vision figée et souvent très informelle et/ou imprécise ou ambiguë) au profit d'artefacts de modélisation susceptibles d'évolutions. Ces modèles facilitent la propagation des modifications et donc le partage en temps court de ces modifications (offrant ainsi une vision plus dynamique de l'ingénierie).

Cette évolution de l'IS vers le MBSE est fortement soutenue par la transition numérique qui favorise encore ce partage de l'information de manière simplifiée et dynamique mais aussi le travail collaboratif autour d'outils numériques qui le permettent. En effet, les quantités de données manipulées ou encore l'automatisation possible de certaines tâches aujourd'hui chronophages font de la transition numérique un des enjeux les plus adressés dans l'ingénierie [8] mais cette dernière soulève néanmoins des problématiques et des défis autant organisationnels qu'institutionnels ou même techniques.

Aujourd'hui, au regard des défis posés par le commissioning en termes de gestion, de concaténation, et de consommation de données, une transformation de l'environnement de l'ingénierie en cohérence avec ces principes, afin qu'il réponde aux exigences de déploiement de telles méthodes de travail est nécessaire. Ces différentes méthodes, ainsi que les défis qui accompagnent cette transition mettent en lumière plusieurs verrous essentiels :

- Nombre et hétérogénéité des parties prenantes impliquées dans la conception de systèmes complexes ;
- Absence d'une méthode générique de travail collaborative facilement déployable et permettant la transition vers des approches plus adaptées selon le domaine, les parties prenantes, etc. ;
- Confiance limitée dans le niveau de maturité des solutions architecturales du système d'intérêt ;

- Confiance limitée des parties prenantes dans la qualité et le taux de couverture des exigences relatives au système d'intérêt pour spécifier et optimiser les activités de commissioning ;
- Confiance limitée des parties prenantes dans la qualité, l'intérêt et la maturité des résultats des activités de IVTV ;
- Absence ou limitations fortes des environnements de travail (outillés) structurés pour encourager le travail collaboratif des parties prenantes.

2e - III. Ingénierie dans le domaine du nucléaire.

L'industrie nucléaire comprend l'ensemble des procédés et processus de transformation ainsi que les acteurs industriels qui utilisent les propriétés du noyau atomique. Elle a pour principaux débouchés la production d'électricité, la médecine et l'armement qui en font un domaine d'intérêt public [9]. Les enjeux de production énergétique actuels placent le nucléaire au centre de nombreux débats. Il est même parfois présenté comme la solution à la situation climatique actuelle [10]. Les risques et incertitudes que présente le domaine du nucléaire ne sont toutefois pas négligeables [11] et leur rayonnement géographique comme géopolitique sont considérables. Selon Russo [12] leur appréhension juridique demanderait l'apport de notions hors du droit, de nature scientifique voire philosophique. Le domaine du nucléaire et son contexte présente donc de fortes particularités.

Les contraintes politiques fortes et évolutives mais aussi l'opinion publique [13] qui s'oppose parfois à la construction de certaines installations rendent les projets de construction de telles infrastructures particulièrement longs, évolutifs et souvent sujets à des événements imprévus, générant retards et coûts supplémentaires. Les efforts industriels du domaine dépendant de débats politique [14], l'ingénierie nucléaire éprouve de grandes difficultés à concevoir et construire des installations qui bénéficient des technologies les plus matures au moment de la mise en service. En effet, les technologies évoluent tout au long du projet et la durée des projets dans le nucléaire étant conséquente, les technologies choisies lors de la conception sont parfois appelées à rapidement devenir obsolètes. En comparaison, le domaine de l'automobile présente des projets ayant des temps de conception et de réalisation beaucoup plus courts [15]. En conséquence il est possible de revoir la conception du système d'intérêt en tenant compte plus aisément des nouvelles technologies disponibles.

Le nucléaire est un domaine critique soumis à minima à une autorité de régulation, l'Autorité de Sureté Nucléaire (ASN), et des organisations d'experts telles que l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) qui ont un droit de regard sur les systèmes conçus et construits. L'ASN a même l'autorité de mettre fin à la construction ou encore l'exploitation d'un système si ce dernier ne s'avérait pas conforme aux exigences. Les projets de construction d'Installation Nucléaire de Base (INB) concernent donc un grand nombre de parties prenantes et implique un nombre considérable de métiers, de plus, une INB se compose d'un grand nombre d'éléments (e.g. bâtiments de services) hétérogènes et en interaction. Cela fait des INB des systèmes complexes et les problématiques rencontrées lors de la conception et la réalisation de systèmes complexes seront donc présentes dans les projets d'INB.

En effet, les INB doivent répondre à des exigences opérationnelles, fonctionnelles ou non-fonctionnelles, ainsi qu'à un nombre très important d'exigences de sûreté et de sécurité. La vérification et la validation de ces exigences se fait à travers la mise en place de processus de vérification et de validation très rigoureux, qui se basent sur les données générées lors de la conception et la réalisation.

Le MBSE facilite de fait ces activités de vérification et de validation très en amont et continuellement, voire des activités dites de vérification et de validation au plus tôt [16]. Cela

démontre donc toute la pertinence à employer les principes mêmes, les méthodes et les outils du MBSE dans le domaine du nucléaire. Il sera donc intéressant d'étudier dans quelle mesure les problématiques que l'on retrouve au sein de ce dernier pourraient être levées à l'aide d'une telle approche.

Les verrous essentiels associés au domaine du nucléaire sont les suivants :

- Cahiers des charges stricts, contraignants et évolutifs ;
- Exigences nombreuses et parfois ambiguës ;
- Complexité des installations (INB) qui empêche/complique la définition même des processus d'ingénierie permettant sa réalisation (e.g. vérification) ;
- Durées des projets qui compliquent la traçabilité de l'information.

2e - IV. Commissioning et INB dans son cycle de vie

Lors du transfert vers l'exploitation, l'objectif du commissioning est de fournir les démonstrations et les justifications nécessaires au client ou à toute autre partie prenante qui serait légitime à les demander, notamment du point de vue de la sûreté, de la sécurité, ou encore des coûts et performances. Cette considération du commissioning comme opérant uniquement lors des phases d'intégration et de transfert vers l'exploitant est cependant discutable. En effet, les activités de commissioning à réaliser lors de ces phases du cycle de vie nécessitent une préparation trop peu considérée [17] et qui devrait être effectuée en amont. De plus, certaines des activités du commissioning qui permettent de générer le rapport attendu, ont lieu lors des phases amont du cycle de vie telles que la conception ou encore la réalisation des composants avec par exemple la récupération des résultats de tests réalisés en usine. Ces différents constats portent à croire que le commissioning souffre d'un cruel manque de considération.

Du fait de la complexité des installations dans le domaine du nucléaire, une partie des activités liées au commissioning est chronophage et complexe. Cela engendre des plannings d'activités particulièrement complexes eux aussi. En conséquence, les activités de commissioning se voient souvent perturbées par les autres activités d'ingénierie et par le manque de moyens afférents (e.g. réalisation d'essais impossible). Le commissioning nécessite de plus de faire dialoguer la totalité des acteurs métiers impliqués sur un projet de construction d'INB, par nature différents et employant des vocabulaires qui leur sont propres.

Dans ce domaine, l'entreprise Assystem et ses collaborateurs ont été témoins de l'impact que pouvait avoir ces problématiques durant le déroulement concret d'un projet. L'EPR2 de Flamanville a par exemple été sujet à des pertes d'informations notamment dues à un trop grand manque de communication entre les bureaux d'études et les ingénieurs travaux. Les modifications de design n'étaient que trop peu suivies mais aussi et surtout l'impact que ces dernières pouvaient avoir sur la planification des travaux et des essais en cours. Pour pallier cette complexité, Assystem et ses équipes ont mis en place des processus de gestion des modifications et de la configuration qui ont permis d'améliorer la réactivité des équipes et la qualité des travaux. Une approche holistique, l'utilisation plus marquée de modèles, le partage et la communication de ces données informations et connaissances entre les métiers permettraient donc de faciliter ce dialogue et de conforter les solutions identifiées, notamment empiriquement chez Assystem.

L'utilisation de modèles pour mener à bien des projets de commissioning présente toutefois certains points bloquants. En effet, les concepts inhérents au commissioning (ex : essais) ne sont que trop peu représentés. De manière plus générale, plusieurs points de vue et donc plusieurs modèles

sont nécessaires pour représenter les éléments qui sont mis en jeu pour comprendre, optimiser et mener à bien des opérations de commissioning. Cela nécessite donc l'utilisation de langages qui quelquefois existent mais aussi le développement de langages de modélisation plus spécifiques au domaine du commissioning. Le but étant de rendre plus aisé le travail de modélisation des acteurs métier du commissioning qui ne sont souvent pas experts en termes de modélisation telle qu'elle est supposée être pratiquée en MBSE.

Mener à bien le commissioning d'une INB présentent donc certains verrous :

- Complexité du commissioning qui empêche/complique sa définition et de fait sa modélisation ;
- Absence de vocabulaire commun face à la multiplicité des métiers dans le commissioning et travail en silo qui reste privilégié ;
- Absence de prise de conscience sur l'importance du commissioning et de son rôle au sein d'un projet, dans la culture partagée de l'entreprise et tout particulièrement dans le domaine du nucléaire ;
- Engagements et responsabilités mal assumés des acteurs métiers et parties prenantes qui n'ont pas nécessairement une vision globale et holistique du système d'intérêt (l'INB) visé et du projet de conception et de réalisation de cette INB ;
- Absence de reconnaissance des modèles liés au commissioning empêchant le développement de leur pratique et exploitation au sein des projets ;
- Absence de langages de modélisation dédiés au commissioning ;
- Absence d'un référentiel de connaissances pour le commissioning ;
- Absence de processus d'amélioration continue, d'optimisation et d'adaptation lors de la mise en œuvre de projets de commissioning face à des événements imprévus ;
- Difficulté à converger vers une solution optimale du commissioning en tenant compte du contexte opérationnel mouvant et incertain.

2e - V. Synthèse des verrous classifiés

Les verrous sont classés ci-dessous selon deux classes, ceux spécifiques à un projet de commissioning et ceux plus largement du ressort de l'organisation ou de l'entreprise souhaitant mener à bien ce type de projets. Cette classification permet d'apprécier la granulométrie des verrous, ceux concernant l'entreprise étant plus généraux, et ceux en rapport avec les projets sont liés aux différents environnements qui peuvent s'avérer spécifiques à certains projets.

- **Projet :**
 - i. Complexité des installations (INB) qui empêche/complique la définition même des processus d'ingénierie permettant sa réalisation (e.g. vérification) ;
 - ii. Complexité du commissioning qui empêche/complique sa définition et de fait sa modélisation ;
 - iii. Absence d'une méthode générique de travail collaborative facilement déployable et d'approches plus adaptées selon le domaine, les parties prenantes, etc ;
 - iv. Nombre et hétérogénéité des parties prenantes impliquées dans la conception de systèmes complexes ;
 - v. Confiance limitée des parties prenantes dans la qualité et le taux de couverture des exigences relatives au système d'intérêt pour spécifier et optimiser les activités de commissioning ;
 - vi. Confiance limitée des parties prenantes dans la qualité, l'intérêt et la maturité des résultats des activités de IVTV ;

- vii. Confiance limitée dans le niveau de maturité des solutions architecturales du système d'intérêt ;
- viii. Cahier des charges strict, contraignant et évolutif.
- ix. Exigences nombreuses et parfois ambiguës
- x. Durées des projets qui compliquent la traçabilité de l'information ;
- xi. Engagements et responsabilités mal assumées des acteurs métiers et parties prenantes qui n'ont pas nécessairement une vision globale et holistique du système d'intérêt (l'INB) visé et du projet de conception et de réalisation de cette INB.
- xii. Absence de processus d'amélioration continue, d'optimisation et d'adaptation lors de la mise en œuvre de projets de commissioning face à des événements imprévus ;
- xiii. Difficulté à converger vers une solution optimale du commissioning en tenant compte du contexte opérationnel mouvant et incertain.
 - **Entreprise**
- xiv. Absence de prise de conscience sur l'importance du commissioning et de son rôle au sein d'un projet, dans la culture partagée de l'entreprise et tout particulièrement dans le domaine du nucléaire ;
- xv. Absence d'un référentiel de connaissances pour le commissioning ;
- xvi. Absence de vocabulaire commun face à la multiplicité des métiers dans le commissioning et travail en silo qui reste privilégié ;
- xvii. Absence de reconnaissance des modèles liés au commissioning empêchant le développement de leur pratique et exploitation au sein des projets.
- xviii. Absence de langages de modélisation dédiés au commissioning
- xix. Absence ou limitations fortes des environnements de travail (outillés) structurés pour encourager le travail collaboratif des parties prenantes.

2e - VI. Conclusion

Les différentes problématiques abordées et présentées démontrent bien les enjeux liés à la conception, la réalisation et la mise en service des systèmes complexes tel que les INB. Cela démontre l'importance du commissioning dans de tels projets mais aussi son caractère complexe face au volume important de données. La systémique, l'ingénierie système, le besoin de modélisation et donc d'une ingénierie système basée modèles, comme sa déclinaison outillée, intimement liée à la transition numérique soulèvent encore des défis techniques et méthodologiques.

L'objectif est donc ici étant de réussir à spécifier, améliorer, piloter et assurer le suivi et la capitalisation d'un projet de commissioning dans le cadre d'une approche basée modèles en en garantissant les livrables et objectifs.

Au regard de ces verrous, la partie qui suit présente une analyse comparative des diverses contributions qui ont pu être identifiées comme pertinentes.

Chapitre 3e État de l'art

3e - I. Introduction

Sur la base de la problématique exposée dans le Chapitre 2, dans un contexte industriel, une liste de verrous a été établie provoquant surcoûts et délais à l'échelle du projet et empêchant le déroulé optimal du commissioning. Le but est maintenant d'établir les questions de recherche qui vont guider ces travaux en choisissant les verrous qui seront adressés. La contribution est enfin annoncée en fin de ce chapitre pour répondre à ces verrous adressés.

L'état de l'art présenté dans ce chapitre sera donc articulé autour de cinq thèmes principaux. Ces thèmes sont les suivants : la complexité, la culture du commissioning, la collaboration, la modélisation et l'adaptabilité. Cette classification a permis d'adresser aux mieux les recherches bibliographiques et d'identifier les potentielles contributions. Pour chacun de ces thèmes nous présenterons donc l'état actuel de la littérature scientifique (démarche descendante d'un niveau plus conceptuel vers un niveau plus opérationnel), mais aussi une vision issue des projets concrets d'Assystem apportant également des réflexions pratiques (démarche ascendante partant du niveau plus opérationnel et remontante vers le niveau plus conceptuel).

Cette démarche de recherche Bottom/Up et Top/Down permet d'apprécier les différentes problématiques et contributions sous des angles différents. Par exemple, le dialogue avec les équipes en charge du commissioning de certaines installations a fait émerger de nombreuses perspectives de solutions opérationnelles complétant celles qui n'avaient pas été identifiées dans la littérature scientifique. Ci-dessous nous présentons la liste des verrous classifiés maintenant autour de ces cinq grands thèmes :

❖ **Complexité**

- Complexité des installations (INB) qui empêche/complique la définition même des processus d'ingénierie permettant sa réalisation (e.g. vérification) ;
- Complexité du commissioning qui empêche/complique sa définition et de fait sa modélisation ;
- Durées des projets qui compliquent la traçabilité de l'information.

❖ **Culture du commissioning et connaissances**

- Absence de prise de conscience sur l'importance du commissioning et de son rôle au sein d'un projet, dans la culture partagée de l'entreprise et tout particulièrement dans le domaine du nucléaire ;
- Absence de référentiel de connaissances pour le commissioning.

❖ **Collaboration, partage et confiance**

- Absence d'une méthode générique de travail collaborative facilement déployable et d'approches plus adaptées selon le domaine, les parties prenantes, etc ;
- Nombre et hétérogénéité des parties prenantes impliquées dans la conception de systèmes complexes ;
- Absence de vocabulaire commun face à la multiplicité des métiers dans le commissioning et travail en silo reste privilégié ;
- Absence ou limitations fortes des environnements de travail (outillés) structurés pour encourager le travail collaboratif des parties prenantes ;

- Confiance limitée des parties prenantes dans la qualité et le taux de couverture des exigences relatives au système d'intérêt pour spécifier et optimiser les activités de commissioning ;
 - Confiance limitée dans le niveau de maturité des solutions architecturales du système d'intérêt ;
 - Confiance limitée des parties prenantes dans la qualité, l'intérêt et la maturité des résultats des activités de IVTV ;
 - Engagements et responsabilités mal assumés des acteurs métier et parties prenantes qui n'ont pas nécessairement une vision globale et holistique du système d'intérêt (l'INB) visé et du projet de conception et de réalisation de cette INB.
- ❖ **Modélisation et langages**
 - Absence de reconnaissance des modèles liés au commissioning empêchant le développement de leur pratique et exploitation au sein des projets ;
 - Absence de langages de modélisation dédiés au commissioning.
 - ❖ **Adaptabilité**
 - Absence de processus d'amélioration continue, d'optimisation et d'adaptation lors de la mise en œuvre de projets de commissioning face à des événements imprévus ;
 - Difficulté à converger vers une solution optimale du commissioning en tenant compte du contexte opérationnel mouvant et incertain.

Certains des verrous présentés dans le chapitre problématique ont volontairement été exclus dans la suite car ils concernent les processus d'ingénierie de n'importe quel système complexe et ne peuvent être adressés spécifiquement dans le domaine nucléaire. Il s'agit de :

- Cahier des charges strict, contraignant et évolutif ;
- Exigences nombreuses et parfois ambiguës.

3e - II. Complexité

Rappelons avant tout que les références et contributions présentées ici concernent tout autant la complexité du commissioning que celle des systèmes concernés par ses activités. Dans cet état de l'art, de nombreuses approches seront présentées et certaines ont servi de base de réflexion pour les travaux de recherche et l'élaboration de la contribution présentée dans ce manuscrit.

Les interactions des systèmes complexes sont susceptibles d'être à l'origine de l'émergence de propriétés et de comportements non ou difficilement prédictibles au niveau du système et qui ne peuvent pas être déduits ou observés au niveau de ses constituants. Un système complexe est bien évidemment soumis à des influences extérieures à différentes échelles venant des autres systèmes composant son environnement, eux-mêmes considérés comme complexes. J.L. Le Moigne et E. Morin [18] ont contribué à l'élaboration d'une théorie, voire d'une « science des systèmes », principalement interdisciplinaire et visant à caractériser, et donc mieux comprendre ces facteurs de complexité afin de mieux les maîtriser. Morin a également proposé les concepts d'incertitude et d'indécidabilité en tant que concepts étroitement liés à la pensée complexe. La complexité tourne donc autour de la relation entre les trois principes qui caractérisent cette pensée : ordre, désordre, organisation. Les systèmes complexes sont en effet définis, selon les cas et selon les auteurs [18], par leur structure, par l'émergence de niveaux d'organisation différents, ou par leurs comportements collectifs non triviaux. Les différents processus de conception, de construction ou de mise en service de systèmes complexes nécessitent donc généralement, outre une vision partagée et holistique du système visé, une multitude de métiers et donc une collaboration étroite des disciplines concernées. Cette collaboration doit permettre d'établir des compromis acceptables pour concilier la durabilité de la ressource, la

productivité économique et l'intérêt social du système. Elle impose des tâches nombreuses, interdépendantes, chronophages et nécessite un dialogue et une organisation rigoureuse des acteurs vus alors comme des parties prenantes.

Comme le témoigne C. Konrad dans [19] la complexité des systèmes est une problématique majeure dans leur conception. Elle engendre dans la plupart des cas des délais et des coûts supplémentaires. Comme nous avons pu l'aborder dans le chapitre précédent et comme le témoigne E. Grauf dans [5], cette complexité est plus que présente dans le domaine du nucléaire.

Il met en avant, par exemple, l'importance de la définition des rôles et des responsabilités des principaux participants au commissioning, ainsi que leurs potentielles interactions. Konrad dans [19] introduit l'ingénierie des systèmes basée sur les modèles (MBSE) comme une approche prometteuse pour pallier la complexité. D'après l'auteur, l'application formalisée de la modélisation permet de soutenir les processus de développement de systèmes complexes, le modèle permettant de visualiser et de mieux appréhender la complexité des processus qui participent à sa réalisation, par exemple en identifiant les principaux facteurs. Il soulève cependant que le MBSE n'est pas encore totalement intégré dans ces processus de développement de produits, notamment à cause du manque d'interconnexion entre les modèles de système et les processus d'affaires. Il présente donc dans [19] une approche pour fusionner le MBSE avec les processus d'affaires, cette approche encourage la modélisation de processus au sein même d'un système de gestion des données du produit. Les potentiels synergiques de cette connexion sont mis en évidence sur la base de scénarios de gestion des exigences, de configuration des produits et de gestion des risques. Parmi ces processus, on compte bien évidemment ceux liés au commissioning qui présentent un degré équivalent de complexité.

Dans un autre domaine, (celui du Génie Civil) Gillis [20] considère que la complexité du commissioning entraîne une mauvaise communication et une mauvaise gestion du transfert de connaissances entre les équipes de projet. Il souligne en effet que le commissioning devrait ou aurait pu identifier, dans les premières phases du projet, bon nombre des problèmes qui se sont répercutés sur le bâtiment achevé. Il insiste sur les avantages que présente l'élaboration d'un modèle du commissioning en quatre phases qui fournirait une approche standard du commissioning. Le modèle en quatre phases relie efficacement chacune des activités de commissioning, fournissant une méthode pour améliorer la communication et le transfert de connaissances. Le commissioning y est présenté comme un processus axé sur la qualité pour garantir que les exigences du projet du propriétaire sont satisfaites par la conception et la construction bâtiment. Bien que cette standardisation du commissioning ne soit pas directement transposable au domaine du nucléaire, notamment au regard des problématiques qui lui sont inhérentes que nous avons pu identifier dans le chapitre précédent, il est intéressant de remarquer que les axes et perspectives d'améliorations peuvent s'avérer pertinents en particulier la nécessité de standardiser le commissioning et de le commencer au plus tôt dans le projet. La standardisation du commissioning sera aussi abordée dans le thème de la culture et des connaissances.

Une première étape pour approcher la standardisation consiste à s'assurer de l'interopérabilité des outils, données, ressources qui sont mises en œuvre. Cornu dans [21] porte une attention particulière à l'importance de cette interopérabilité et particulièrement celle des ressources impliquées dans un processus afin d'en améliorer son efficacité et sa capacité à s'adapter aux potentiels événements imprévus. Il ne s'agit donc pas ici de traiter directement de la complexité des processus ou des systèmes, cependant les problématiques abordées en découlent directement ou indirectement ou y sont étroitement liées (e.g. taille de l'entreprise). L'interopérabilité des ressources est ici considérée comme un défi conditionnant le succès du déploiement d'un processus. La contribution introduite est une comparaison des solutions d'évaluation de l'interopérabilité existantes et la présentation d'une méthodologie pour évaluer l'interopérabilité des personnes, des ressources matérielles et des unités organisationnelles impliquées ou pouvant être impliquées dans un processus.

Au regard du nombre important et de l'hétérogénéité des rôles et profils concernés par le commissioning cet axe d'amélioration a fortement encouragé les efforts de conceptualisation visant la modélisation des ressources, qu'elles soient humaines ou même techniques.

La complexité est donc bel et bien une des problématiques majeures du commissioning, au regard de l'état de l'art. Les axes d'améliorations que l'on retrouve reposent en conséquence sur la préparation du commissioning au plus tôt dans le projet, sa standardisation et la nécessité qu'il y a de bien définir cette activité cruciale ainsi que sur la définition des rôles nécessaires à sa réalisation.

3e - III. Culture du commissioning et connaissances

L'ingénierie système permet d'avoir une vision globale et d'inventorier les grandes phases du cycle de vie d'une INB comme schématisé de manière générique à tout système complexe, la Figure 2 présente ces grandes phases.



Figure 2 : Cycle de vie générique d'un système [DCIS 2012]

Le commissioning est selon l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) une des étapes clés de la mise en service d'une nouvelle installation nucléaire, ou d'un nouveau système ou composant dans une installation existante. Le commissioning est défini dans [6] comme « *la confirmation qu'un système installé fonctionne conformément à ses exigences* ». Les activités du commissioning occurrent donc durant les phases d'intégration et de transfert vers l'exploitation au sein desquels nous retrouvons des processus d'ingénierie système tel que transition et intégration. Le commissioning a en effet pour rôle de fournir aux processus d'intégration et de transition les justifications nécessaires autorisant leurs activités réciproques. Toutefois selon l'AIEA mais aussi d'après l'Office for Nuclear Regulation (ONR) les activités du commissioning se doivent d'être planifiées dès le début du processus de conception et d'approvisionnement, en tenant soigneusement compte des critères d'acceptation éventuels et des méthodes d'essai. Cette complexité du commissioning fait de cette étape la pierre angulaire de la réalisation ou de la modification d'une installation nucléaire, en particulier pour l'exploitant [22].

Le commissioning, ainsi que souligné par la World Association of Nuclear Operators (WANO) [23], requiert aussi la mise œuvre de systèmes, d'organisations, de standards et de façons de procéder spécifiques (en particulier dans le cas du commissioning d'installations nucléaires).

Il est également souligné par [24] l'aspect important de capitaliser sur les retours d'expérience et les leçons tirées des projets précédents en matière de commissioning, et ce pour l'ensemble des parties prenantes impliquées (en particulier propriétaires/exploitants, mais aussi les sous-traitants dans les phases de construction ou d'ingénierie, les organismes de réglementation et les fournisseurs d'équipements). L'idée mise en avant par ces références est bien évidemment également de fournir un ensemble de bonnes pratiques internationales, telles qu'elles sont actuellement suivies dans les États membres de l'AIEA, sur la manière de satisfaire aux exigences du commissioning des centrales nucléaires. Il s'agit ici, de fait, non seulement de faire une liste de ces bonnes pratiques, mais aussi de faire émerger une 'culture du commissioning' au sens où il existe déjà une culture de sureté, évoquée, suscitée et soulignée par la plupart des autorités de sureté. De même que pour Gillis dans [20], la standardisation du commissioning et la préparation du commissioning au plus tôt dans le projet sont présentées comme primordiales.

3e - IV. Collaboration, partage et confiance

D'un point de vue méthodologique et organisationnel, l'ingénierie système [25] a déjà pour objectif de clarifier et d'améliorer les méthodes de travail au regard de la complexité grandissante des systèmes. Cette approche scientifique multidisciplinaire a été introduite dans l'industrie dans les années 1960, principalement grâce à l'intérêt que les grandes institutions de défense américaine lui ont porté. Cet intérêt particulier pour l'ingénierie système a conduit à la création de l'INCOSE, le premier organisme international visant à l'amélioration et au déploiement de l'ingénierie système en industrie, quel que soit le domaine visé d'ailleurs : défense, transport, aérospatial, ... Les éléments fondamentaux de cette approche sont, d'une part, une vision systémique et holistique et, d'autre part, une approche processus caractérisée par le cycle en V. Le cycle en V est un modèle d'organisation de projet qui se caractérise par un flux d'activités descendant qui détaille le produit jusqu'à sa réalisation, et d'un flux d'activités ascendant, qui assemble le produit en vérifiant sa conformité. L'ingénierie système peut être vue alors comme une approche basée sur des processus qui reste cependant essentiellement basée sur l'étude, la manipulation et la génération de documents. L'approche a montré sa pertinence pour la conception et la réalisation de systèmes complexes mais a aussi montré certaines limites en termes de flexibilité, la quantité de données générées étant telle que la génération et l'étude des documents s'avère chronophage.

Dans [26], N.Albarello avance que dans la pratique actuelle du développement des systèmes, il existe un fossé important entre les activités liées à l'ingénierie système et le monde de la simulation/modélisation dans les divers domaines d'expertise. En particulier, il n'y a pas de réel lien entre les modèles d'architecture développés et les modèles d'analyse propres aux disciplines définies dans des outils spécialisés (e.g. commissioning dans le nucléaire). Dans le but de pallier ce décalage, une fonctionnalité a été développée permettant d'intégrer des modèles d'ingénierie à des modèles d'analyse. Les exigences système et l'architecture sont définies dans un modèle d'ingénierie système (ex : Sysml [27]), les modèles d'analyse sont ensuite importés dans le modèle d'ingénierie, pour configurer des diagrammes paramétriques. Les analyses sont effectuées à partir du modèle d'ingénierie système, afin de contrôler la conformité des exigences du système. Lorsque ces méthodes sont mises au service des processus de conception de l'industrie, la technologie peut permettre de rationaliser les demandes d'analyses à partir des modèles d'architecture système. On retrouve donc ici la pertinence que présente l'utilisation des modèles comme vecteur d'information.

Dans [28] il est souligné qu'au cours du cycle de vie des systèmes de fabrication mécatronique, des changements d'éléments de système doivent être effectués. Ces éléments de système peuvent être soit des composants uniques spécifiques à une discipline, soit des systèmes composés de composants ou d'autres sous-systèmes. Afin d'assurer la compatibilité des éléments et la fonctionnalité du système, qui doit être conforme à la spécification, une analyse basée sur un modèle des influences du changement est présentée dans cet article. Une approche de modélisation basée sur SysML est combinée avec la représentation formelle du modèle pour effectuer le contrôle de compatibilité requis. Ainsi, les disciplines impliquées dans le processus d'ingénierie, par exemple la mécanique, l'électricité/électronique et le logiciel, peuvent être modélisées et prises en compte dans l'analyse des influences du changement. Ainsi, Feldmann contribue ici au domaine des systèmes de fabrication en fournissant un méta-modèle pour la modélisation interdisciplinaire des systèmes de fabrication d'une part et en définissant une représentation formelle correspondante destinée à assurer la compatibilité des éléments du système d'autre part.

Dans [21], la concurrence croissante sur les marchés induit un besoin vital pour les entreprises d'améliorer leur efficacité et leur réactivité. Pour cela, une solution consiste à déployer, améliorer et gérer leurs processus en portant une attention particulière aux capacités des ressources qu'ils impliquent. En particulier, leur interopérabilité est considérée dans cet article comme un défi

conditionnant le succès du déploiement. Par conséquent, cet article fournit une comparaison des solutions d'évaluation de l'interopérabilité existantes et présente une méthodologie pour évaluer l'interopérabilité des personnes, des ressources matérielles et des unités organisationnelles impliquées ou pouvant être impliquées dans un processus, tout au long de l'effort de déploiement. Cette méthodologie est utilisable pour la prévention, la détection et la correction des problèmes d'interopérabilité.

Les éléments présentés précédemment insistent bien sur l'importance de la collaboration des parties prenantes d'un projet de réalisation de système complexe mais aussi et surtout sur le caractère primordial de la conceptualisation des processus déployés. Le déploiement de nouveaux processus dans une entreprise résulte donc d'une décision stratégique. Il consiste en la modification progressive des activités existantes ou en l'ajout de nouvelles activités considérées comme nécessaires et pertinentes pour la stratégie de l'entreprise. L'effort de déploiement peut être décomposé en trois étapes :

- Étape 1 : une étape de pré-déploiement comprenant des activités de modélisation (pour capturer la situation actuelle), la préparation du projet de déploiement et l'analyse de l'effort nécessaire pour définir le processus à déployer.
- Étape 2 : une étape de déploiement consistant ensuite en une mise en œuvre pratique et efficace du processus retenu.
- Étape 3 : une étape post-déploiement comprenant la gestion du processus et l'amélioration continue.

Un tel déploiement implique de nombreuses parties prenantes et ressources (humaines, matérielles et logicielles) appartenant à l'entreprise ou à ses partenaires qui peuvent devoir faire face à des difficultés de collaboration et de partage des tâches et des informations. Par conséquent, les entreprises doivent non seulement organiser leur effort [21], mais aussi maîtriser la complexité des interactions requises entre toutes ces parties prenantes, leur organisation et leurs ressources impliquées au niveau de trois étapes distinctes :

- Étape 1 : dans la définition du processus qui sera déployé.
- Étape 2 : dans l'application des changements prévus à l'Étape 1.
- Étape 3 : dans l'exécution quotidienne du processus déployé et dans son suivi et son amélioration continue.

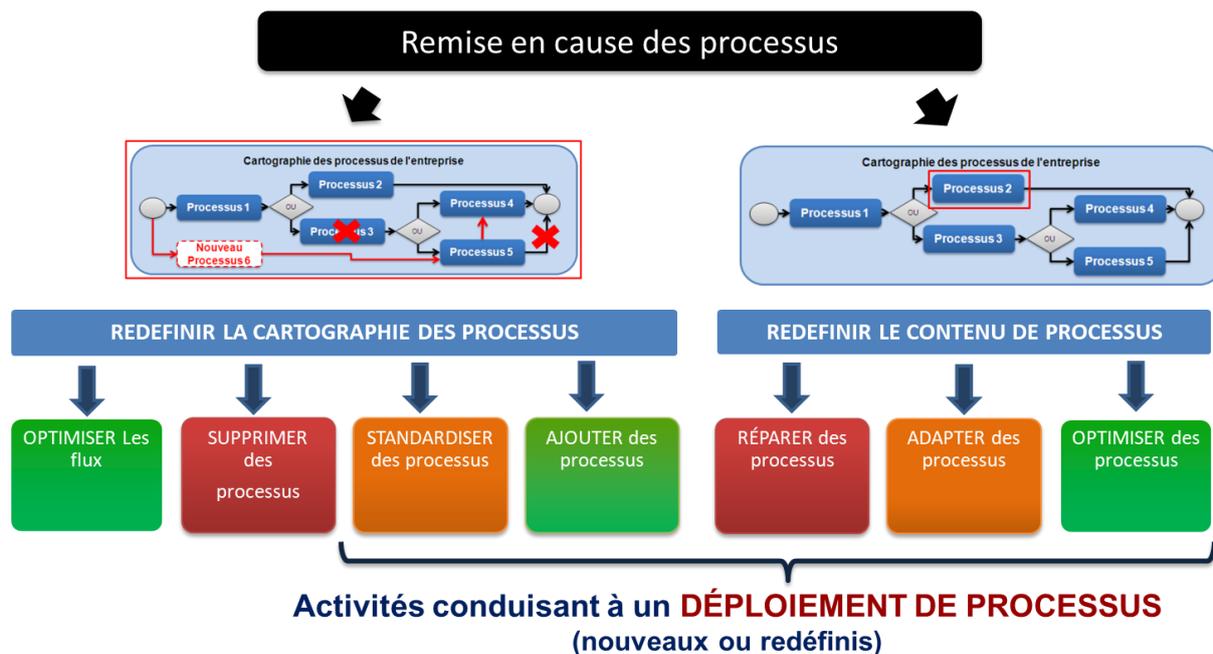


Figure 3 Démarche de remise en cause des processus d'entreprise [21]

Dans la littérature scientifique, la confiance des parties prenantes est considérée comme la base de la survie des organisations. [29] présente une vue résumée de la relation entre les principales dimensions de la réputation d'entreprise et le niveau de confiance que les parties prenantes clés peuvent alors accorder à l'organisation.

Avant tout, il est nécessaire de définir la confiance, selon [30] « *La confiance est un terme complexe qui ne connaît pas de définition consensuelle. Cette définition dépend du domaine et du courant de pensée des auteurs.* ». Trois principaux domaines ressortent, la psychologie, la sociologie et les sciences sociales et politiques. La psychologie [31] énonce que « *celui qui fait confiance espère un aboutissement positif, tout en gardant à l'esprit le risque encouru d'une issue négative possible* ». En sociologie [32] Luhmann considère que c'est la complexité de l'environnement et la notion de risque présent au sein de ce dernier qui permet d'évaluer la confiance avec laquelle on peut y opérer. En science sociale et politique [33], Gambetta définit la confiance par son opposé, « *La confiance (ou symétriquement la défiance) est un niveau particulier de la probabilité subjective avec laquelle un agent accomplira une action spécifique, à la fois avant que nous ne puissions suivre chaque action (ou indépendamment de sa capacité de même pouvoir la tracer) et aussi dans un contexte dans lequel cela affecte notre propre action* ». Cette dernière définition présente certains concepts qui sont propres au commissioning ou même à tout autre activités d'ingénierie. On y retrouve les concepts d'agent, d'action ou même de traçabilité. Dans le contexte du commissioning d'INB la confiance pourrait être défini comme la capacité d'un système à remplir sa mission, qu'il s'agisse d'un système socio technique ou d'un simple composant. Il reste toutefois à définir sur quels concepts et notion il faut se baser pour évaluer cette capacité et notamment lorsqu'il s'agit d'un système complexe. Amarger dans [34] appuie sur l'importance des sources d'informations et présente le référentiel de connaissances comme solution pour améliorer la confiance. Falbo [35] insiste plutôt sur l'utilisation des patrons et les compare à des « *vehicles for encapsulating knowledge* », et les considère comme le moyen le plus efficace pour améliorer la capacité d'une organisation à travailler en confiance.

On retrouve bien dans l'étude théorique de [29] la plupart des concepts abordés précédemment, avec un modèle conceptuel du développement de la confiance des parties prenantes clés en termes de réputation d'entreprise. Le concept de référentiel d'expertises et de pratiques permettant d'améliorer la confiance des parties prenantes est préconisé par Arora dans [36] où les

auteurs insistent sur l'efficacité des boiler plates et leur capacité à atténuer les ambiguïtés notamment à la lecture des exigences. La Figure 4 ci-dessous présente la démarche qui permet de rédiger des exigences à l'aide de boiler plates.

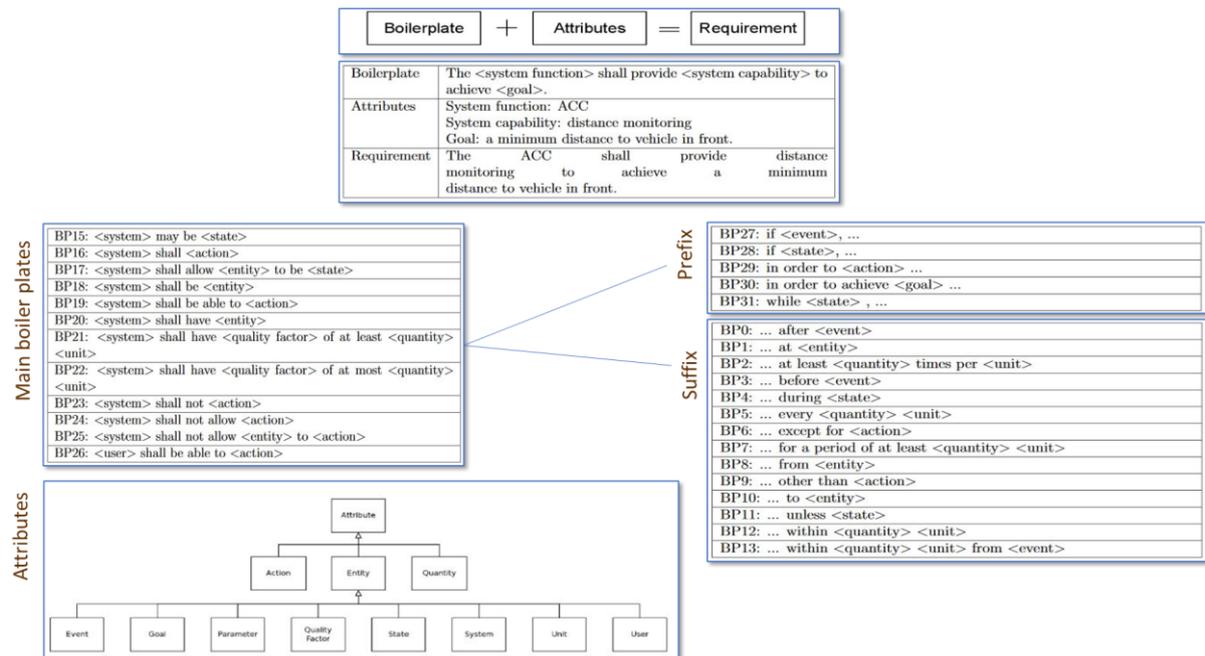


Figure 4 Rédaction d'exigences à partir de boiler plates [36]

3e - V. Modélisation et langages

Afin de gagner en flexibilité et réactivité, l'approche appelée MBSE (Model-Based System Engineering) est proposée comme un ensemble de moyens permettant de faire de l'ingénierie système. Elle promeut et donne toute son importance à la création et à la manipulation de modèles, permettant aux différentes ingénieries de spécialité impliquées (par hypothèse fédérées par l'IS) de collaborer autour de ces modèles au sein desquels on retrouve les informations générées par les différents métiers, et non plus de documents essentiellement comme illustré Figure 5 page suivante.

L'intention du MBSE est donc de permettre aux acteurs de décrire des niveaux d'abstraction d'un système par divers types de modélisation afin :

- De mieux partager l'information entre les ingénieurs en ce qui concerne la conception des systèmes.
- De formaliser les pratiques de conception au moyen de langages de modélisation.
- D'augmenter la qualité et réduire les risques en détectant au plus tôt et en limitant les erreurs de conception

Les éléments de modélisation sont donc ici décrits par des concepts abstraits. Par exemple, le concept de Système est une abstraction de l'esprit permettant de définir un ensemble d'éléments en interaction. Pour modéliser, il faut pouvoir mettre en relation ces concepts (e.g. un système échange des services avec un autres système). Pour cela, on utilise le principe de la méta modélisation qui aboutit à la production d'un ou plusieurs méta modèles. Un méta modèle a pour but de définir l'ensemble des concepts relatifs à un domaine, voire à un aspect particulier du système qui serait propre à un des nombreux métiers impliqués dans sa conception. Ces différents métiers manipuleraient et partageraient un ensemble d'artefacts de modélisation formant globalement ce que [37] appelle le modèle système : *"an interconnected set of model elements which represent key system aspects including its structure, behaviour, parametric, and requirements"*. De fait, la modélisation est

un des thèmes principaux des problématiques que nous avons présentées, elle nécessite cependant l'élaboration de langages adaptés aux objectifs de modélisation et au domaine concerné.

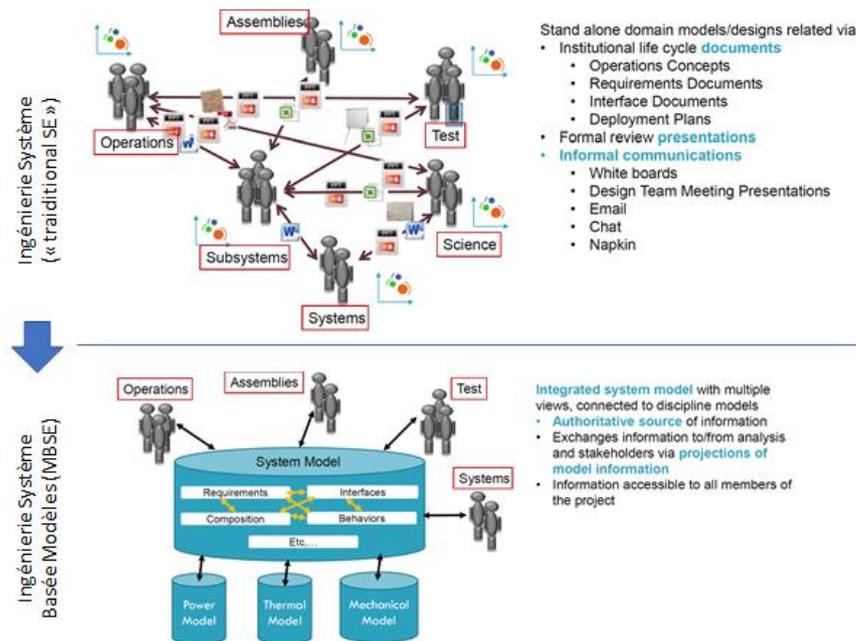


Figure 5 : SE vs. MBSE [Model Based-Engineering MBSE 101 - INCOSE IW January 30th, 2016, moderated by Elyse Fosse]

De nombreux langages existent déjà des fins bien précises, la modélisation de processus peut par exemple être supportée par le cadre de modélisation proposé par BPMN qui permet de représenter de manière graphique les processus que l'on retrouve dans tous les types de système socio techniques [38]. La modélisation des systèmes peut être supportée par des langages tels que SysML [27]. Des méthodes complètes d'ingénierie système basée sur des modèles ont aussi émergées, comme la méthode ARCADIA implémentée au sein de l'outil Capella [39] qui s'avère très générique et qui permet la modélisation de systèmes issus de domaines variés (transport, production énergétique etc.). Dans [40], on peut lire que les modèles de conception et les modèles d'architecture ont été considérablement promus par l'ingénierie logicielle. Les outils et méthodes orientés logiciels ont été adaptés à l'ingénierie des systèmes, conformément au paradigme de l'ingénierie dirigée par les modèles proposés par l'Object Management Group (OMG). Cependant, les concepteurs de systèmes sociotechniques complexes ont des préoccupations spécifiques, qui diffèrent de celles des concepteurs de logiciels. Pfister [40] propose ici une méthode d'implémentation de patrons pour l'ingénierie des systèmes, basée sur une approche fonctionnelle et s'appuyant sur des fondements conceptuels formels sous la forme d'un méta-modèle, qui peut être utilisé pour la gestion, l'application et le catalogage de patrons spécifiques au domaine de l'ingénierie des systèmes.

Les contributions présentées ci-dessus insistent bien sur l'importance de la conceptualisation afin de mettre en place la méthode appropriée au domaine traité, tout en restant flexible et générique afin de s'adapter aux différentes problématiques rencontrées.

3e - VI. Adaptabilité

Le commissioning est une étape du cycle de vie où le caractère dynamique des activités est à prendre en compte particulièrement.[41] aborde le problème à l'aide de configurateurs qui permettent de guider les collaborateurs dans la spécification des services du commissioning. Cette approche s'avère concluante au regard des résultats que l'on peut voir Tableau 1.

Tableau 1 Résultats de l'étude de l'impact d'un configurateur sur la spécification des activités de commissioning

Results of testing the developed commissioning configurator.

	Existing commissioning specification process	Configurator- supported commissioning specification process	Expectations for effects of further developed configurator
Required documents	Sales contract, P&ID	Sales contract, P&ID	Sales contract, P&ID
Required resources	5 employees	3 employees (-40%)	2 employees (-60%)
Specification time	43 h average	12.5 h (-71%)	8 h average (-81%)
Specification detail	List of commissioning activities including dates and durations	List of commissioning activities including dates, durations and resources	List of commissioning activities including dates, durations, and resources

La solution présentée ici ne tient cependant pas compte du suivi de ces activités lors de leur réalisation et de la marche à suivre en cas d'événements imprévus. Elle présente toutefois aussi des bénéfices en termes de planification en insistant bien sur l'importance de la gestion de ces connaissances comme nous avons pu le voir dans la partie État de l'art.

3e - VII. Conclusion : Synthèse des contributions attendues

Au regard de cet état de l'art, les travaux de recherche visent à proposer un certain nombre de contributions synthétisées mises en regard des thèmes qu'elles adressent dans le Tableau 2.

Tableau 2: contributions attendues par thème

Contributions proposées	Thème adressé
1. Proposer des définitions afin de converger vers un consensus multi métier et de positionner clairement le commissioning dans les projets de conception et de réalisation d'INB	Complexité Culture du commissioning et connaissances
2. Proposer les concepts clés (e.g. activités type, livrables, parties prenantes, rôles devant être remplis ou encore responsabilités) pour préciser et décrire ce qu'est le commissioning tant dans l'objectif de promouvoir une culture d'entreprise que de faciliter le travail des parties prenantes impliquées, concernées ou impactées par le commissioning au cours d'un projet	Complexité Culture du commissioning et connaissances Collaboration, partage et confiance Modélisation et langages Adaptabilité
3. Proposer un langage non ambigu permettant alors de décrire le commissioning, langage devant pouvoir être enrichi en cohérence avec de nouveaux concepts en fonction des contextes et des particularités éventuelles des INB visées	Complexité Culture du commissioning et connaissances Collaboration, partage et confiance Modélisation et langages Adaptabilité
4. Promouvoir une approche basée modèles : définir des langages de modélisation pouvant être dédiés ou génériques, des règles et des moyens de manipulation des modèles créés	Complexité Collaboration, partage et confiance Modélisation et langages

<p>5. Promouvoir une approche système du commissioning</p>	<p>Complexité Culture du commissioning et connaissances Collaboration, partage et confiance</p>
<p>6. Définir un référentiel d'expertises et de pratiques partageable et accessible promouvant une culture du commissioning à la fois au niveau de l'entreprise et des projets opérationnels</p>	<p>Culture du commissioning et connaissances Collaboration, partage et confiance Adaptabilité</p>
<p>7. Définir des processus supportant cette diffusion de la culture du commissioning au sein de l'entreprise</p>	<p>Culture du commissioning et connaissances Collaboration, partage et confiance</p>
<p>8. Définir des processus permettant ensuite l'appropriation effective de la méthode par les parties prenantes au cours de sa mise en œuvre dans le cadre de projets concrets</p>	<p>Complexité Collaboration, partage et confiance Adaptabilité</p>
<p>9. Assurer le couplage et le partage efficient entre le commissioning et l'ensemble des processus propres de conception et de réalisation</p>	<p>Complexité Collaboration, partage et confiance Adaptabilité</p>

Le chapitre 4 présente comment ces contributions ont été développées et formalisées avant d'être illustrées dans le chapitre 5.

Chapitre 4e Contributions

4e - I. Introduction au Chapitre

Le commissioning reste aujourd'hui, comme détaillé préalablement, sous-considéré et encore mésestimé à sa juste place entre l'ingénierie, l'intégration et le transfert vers l'exploitant.

Sur le site de Flamanville par exemple, les premiers essais ont clairement démontré que le commissioning avait souffert d'un gros manque de préparation. On peut par exemple lire dans le rapport Folz [42] « *Les responsables du projet [...] n'ont pu que repousser, au rythme des mauvaises nouvelles, la date espérée de mise en service* », mais aussi que « *la direction du projet a été progressivement conduite à ne plus gérer que par un planning en permanente modification, entreprenant montages et essais locaux au fur et à mesure qu'apparaissait une opportunité, au risque d'affecter la cohérence et la bonne organisation du chantier* ». Ce manque de considération a engendré des retards mais aussi et surtout des difficultés à assurer la traçabilité des données étudiées et générées durant cette activité cruciale.

Le commissioning doit de plus assurer un lien fort entre les activités de conception proprement dites et les activités dites d'Intégration, de Vérification, de Transfert vers l'exploitant (phase ici simplifiée par la situation même de l'INB construite sur le site futur d'exploitation) et de Validation par toutes les parties prenantes (IVTV) avant même de statuer sur la Qualification proprement dite qui s'appuie, entre autres, sur les données de preuve et de démonstration issues des activités d'IVTV. Face à de tels enjeux, l'Ingénierie Système présente de nombreux avantages

Les contributions présentées dans ce chapitre peuvent être appréciées sous deux angles assez distincts. Dans un premier temps, l'approche système mise en avant par l'IS peut-être logiquement appliquée au commissioning dans l'objectif de mieux le maîtriser. Dans un second temps, l'utilisation extensive de modèles comme support d'informations (MBSE) tout au long des activités du commissioning présente un avantage clair. Ces avantages sont encapsulés au sein de la contribution centrale qu'est la méthode CoGuiNF (Commissioning Guidelines for Nuclear Facilities) et qui est composée de cinq éléments :

- Les concepts et les relations entre concepts ;
- Les langages ;
- Une démarche opératoire ;
- Les outils ;
- Un ou plusieurs Référentiels d'Expertises et de Pratiques (REP) ;

La suite de ce chapitre se compose de deux grandes parties. Tout d'abord, les définitions de méthode et de commissioning sont présentées ainsi qu'une description partielle de la méthode CoGuiNF. Dans un second temps, la méthode CoGuiNF et ses cinq éléments sont détaillés.

4e - II. Définition du commissioning

4e - II.1 Positionnement actuel du commissioning

Comme présenté dans l'état de l'art [17] [6], le commissioning est classiquement défini dans l'industrie nucléaire actuelle comme « *la confirmation qu'un système installé fonctionne* »

conformément à ses exigences ». La Figure 6 Vision actuelle du commissioning, présente cette vision actuelle du commissioning et le positionne comme une étape clef du cycle de vie de l'INB. Cette figure reprend essentiellement les concepts du System Engineering Body of Knowledge [43] et du standard ISO [25]. On y observe aussi les flux de données issues des processus d'ingénierie système et permettant la réalisation des activités de commissioning. On remarque que, bien que certaines données soient générées très en amont du cycle de vie, ces dernières ne déclenchent pas la préparation du commissioning qui aura pourtant la mission de les traiter. Cette absence gêne l'interprétation de données qui, dans le domaine du nucléaire, peuvent s'avérer être anciennes. Un tel travail peut être la cause de plusieurs erreurs et demander un effort de rétro ingénierie conséquent et chronophage.

4e - II.2 Vers une vision système du commissioning

Dans la suite, nous considérerons que la préparation du commissioning commence par hypothèse dès le démarrage de la phase d'ingénierie en établissant des liens forts avec les processus de la phase de conception et de la phase de réalisation de l'INB (IVTV). Le commissioning est donc abordé ici à l'aide d'une vision systémique et holistique, actualisée et validée tout au long du projet. Il est important dans un premier temps de définir le concept de système pour faire. Ce système pour faire ou System Used To Do (SUTD) [33], repose de fait sur des processus, des activités, des ressources et des principes qui guident ou contraignent ces dernières. Cette définition inclut l'ensemble de la gestion de projet et la manière dont elle est en lien avec le reste de l'organisation. Sa mission est la conception et la réalisation du système d'intérêt (ou SOI pour System Of Interest) qu'est ici l'INB. Le SUTD opère donc en interagissant étroitement avec l'INB et avec réalise l'ensemble des processus de conception et de réalisation. Il est important de préciser que ces concepts de SOI et de SUTD sont génériques et peuvent donc être appliqués sur tout projet de réalisation d'un système. Nous considérons dans la suite le commissioning globalement comme un système (sous système de ce SUTD englobant) qui évolue continuellement dans un environnement, exécute différentes activités tout en produisant, récoltant et en interprétant les données utiles à d'autres activités, et qui gère ses propres ressources, etc. Ce système est appelé alors **Commissioning System** défini par :

- *Sa Finalité* : Permettre, dès le démarrage de la conception et jusqu'à la fin de la réalisation d'une INB donnée, de préparer et de s'assurer en confiance et de manière argumentée, justifiée et opposable du transfert de responsabilités entre le constructeur et l'exploitant de cette INB ;
- *Sa Mission* : Spécifier, piloter, s'assurer et justifier de manière réglementaire et non contradictoire que la réalisation de l'INB d'intérêt respecte les différentes exigences et les décisions d'architecture définies lors de sa conception.

L'approche systémique permet de formaliser maintenant l'architecture du Commissioning System comme un système de systèmes [44] composé de deux sous-systèmes

Le Système d'Intérêt (ou SOI) du commissioning qui doit être conçu puis réalisé et qui a pour mission de réaliser les activités de commissioning. Il englobe les différentes activités et tâches nécessaires pour établir les preuves qui permettent le transfert de responsabilité. Ce système est étroitement lié à l'INB elle-même et interagit avec les processus d'ingénierie système. Il sera amené à dialoguer avec son environnement et notamment avec les processus d'IVTV. En effet, son fonctionnement requiert les données de gestion (planning, jalons, etc.) car il pourrait être amené à intervenir sur site encore en cours d'intégration. Le SOI génère des sorties telles que toutes les preuves et justifications destinées à l'autorité de régulation et au client.

Le système pour faire ou System Used To Do (SUTD) [21] du commissioning lui-même qui a pour mission d'organiser, de structurer et de piloter la conception et la réalisation du SOI. Il Le SUTD

veille donc à ce que le SOI soit conçu puis piloté pour exécuter le programme prévu, programme qui est conçu comme une suite d'activités de tests et de démonstrations de diverses natures qui sont les sources des preuves attendues pour assurer le transfert de l'INB vers l'exploitant. Il est donc important de noter que le SUTD est amené à remettre en cause certains résultats de ces processus d'ingénierie système (par exemple, le référentiel d'exigences), d'harmoniser le vocabulaire utilisé par les acteurs métier impliqués dans ces processus et les acteurs du Commissioning System afin d'encourager grandement leurs interactions.

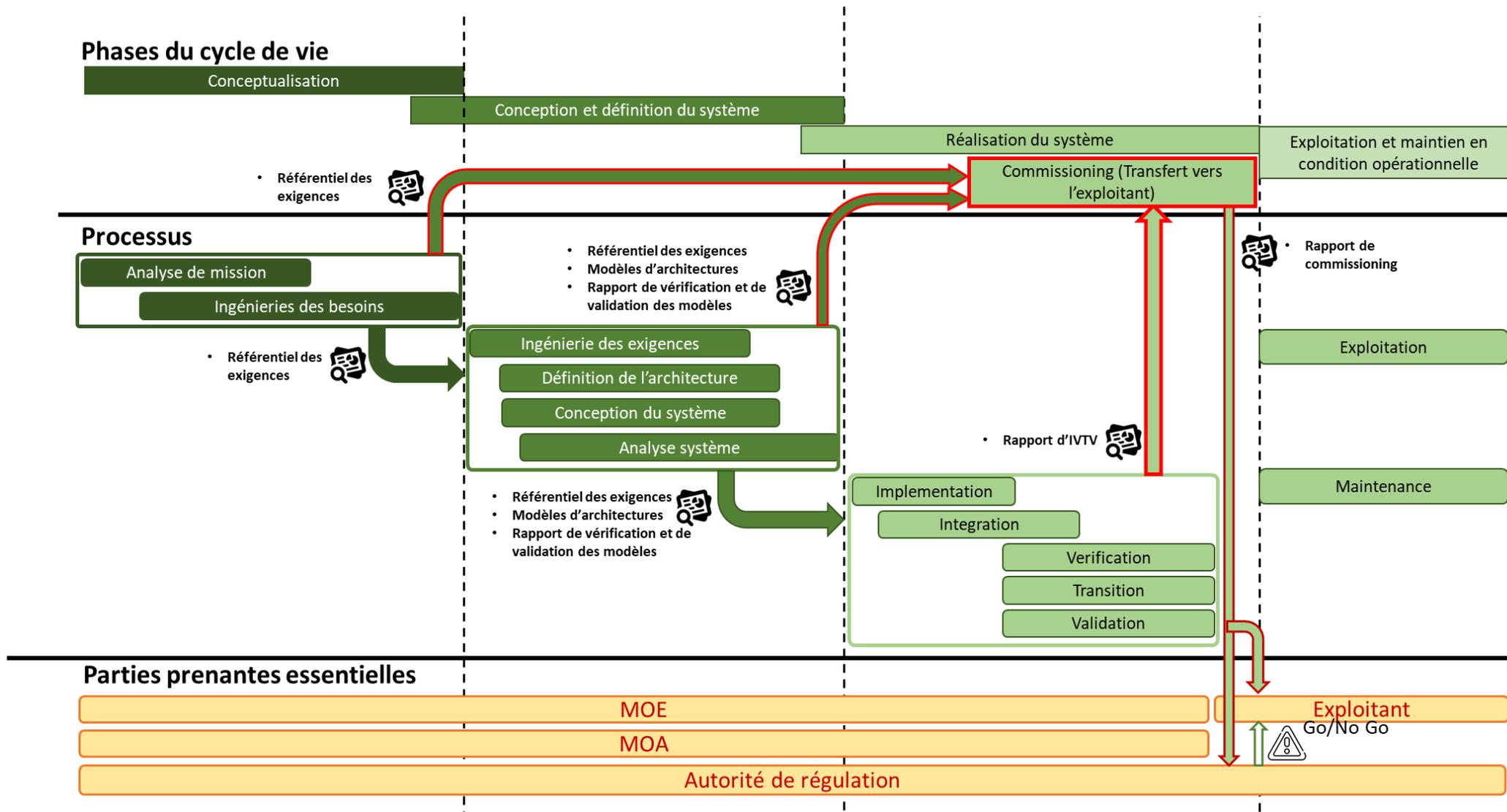


Figure 6 Vision actuelle du commissioning

Pour résumer, la Figure 7 ci-dessous présente les concepts de Commissioning SOI et de Commissioning SUTD et la place qu'ils occupent au sein du SUTD du projet de construction de l'INB.

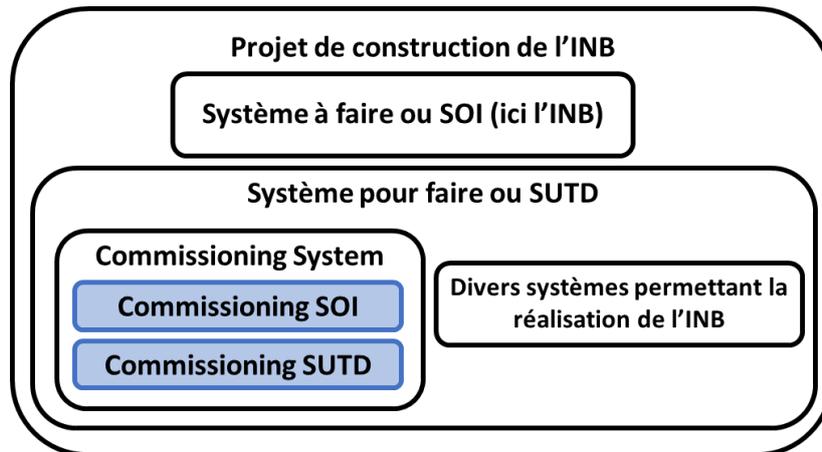


Figure 7 Découpage générique à l'aide des concepts de SOI et de SUTD

Le Commissioning System évolue selon deux grandes étapes qui se superposent légèrement et qui sont toutes deux liées aux objectifs de conception et de réalisation de l'INB :

- Commissioning Design Time (CDT) : le commissioning system (donc le système de systèmes composé du SOI et du SUTD) est d'abord défini en spécifiant les activités et les ressources requises au regard des objectifs à atteindre, des contraintes et des exigences à prendre en considération de la part de toutes les parties prenantes impliquées dans ces activités. Le SUTD est donc instancié au début du processus d'analyse de mission et est amené du fait de sa mission à concevoir, réaliser et piloter le SOI du commissioning system en parallèle des phases de conception de l'INB. Ainsi, le SOI et le SUTD sont conçus et validés en termes de besoins (e.g. d'essais, de revues, et plus globalement de toutes les activités de justification nécessaires au transfert de responsabilités vers l'exploitant).

- Commissioning Run Time (CRT) : le SOI est déployé et mis en œuvre tel que conçu lors du CDT et le SUTD proposé contrôle alors son évolution et son amélioration. En effet, c'est le rôle du SUTD que de veiller à ce que le SOI s'adapte, avec par exemple la gestion des ressources lors d'événements imprévus qui pourraient conduire à des retards ou des coûts supplémentaires. Le planning de réalisation des activités de commissioning de l'INB attendu, réalisé par le SOI et piloté par le SUTD, doit effectivement être constamment réajusté, faire l'objet de replanifications, optimisé, vérifié puis validé en tenant compte de différentes stratégies (optimisation des ressources, optimisation des délais etc.) et de la situation courante de réalisation de l'INB ou de résultats des activités de commissioning (e.g. nécessiter de refaire un test ou suites de retards de réalisation subis). Durant le CRT, le SOI a donc pour rôle de réaliser les activités de vérification et de validation qui ont été spécifiées durant le CDT et ce sous le contrôle du SUTD qui s'assure du bon déroulement de ces activités et prend les décisions nécessaires le cas échéant.

La Figure 8 ci-après schématise ces principaux concepts et met en lumière les différentes interactions qui existent entre les composantes du Commissioning System et les systèmes externes qui constituent son environnement.

Comme nous pouvons l'observer, le commissioning commence au plus tôt et intervient tout au long du projet de conception et de réalisation de l'INB qui est symbolisé ici sous la forme de ces systèmes externes. Il va donc devoir orchestrer en quelque sorte ces systèmes externes qui sont amenés à produire des données dont il aura besoin pour spécifier les activités de commissioning mais aussi à demander les modifications nécessaires qui permettront de lever les ambiguïtés ou incohérences détectées dans ces données d'entrées (exemple : référentiel d'exigences jugé incomplet).

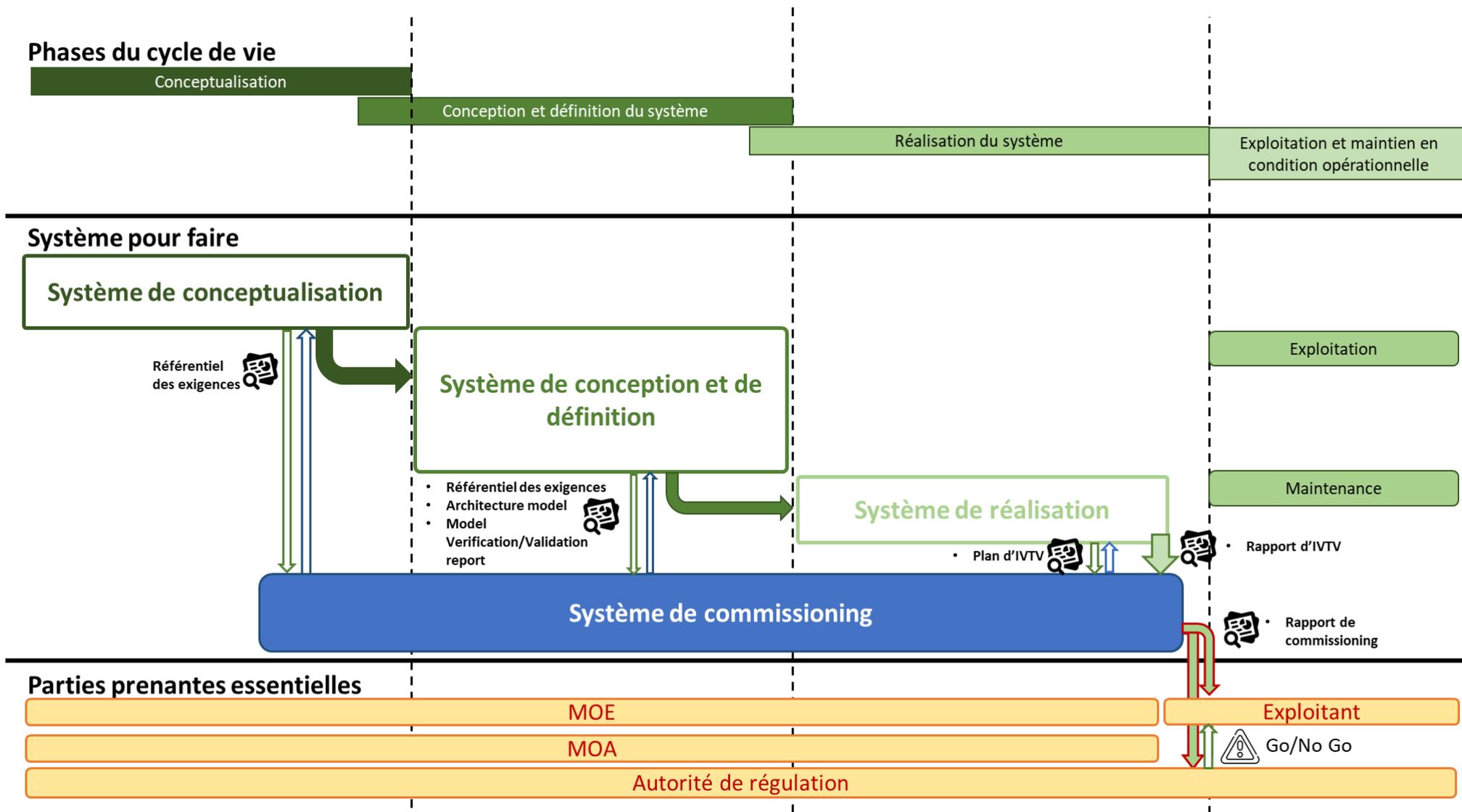


Figure 8 Vision système du commissioning

4e - III. Description de la méthode CoGuiNF

Les éléments qui constituent la méthode CoGuiNF abordée de fait comme un livrable de ces travaux de thèse sont :

- **Concepts, Relations, Attributs et Contraintes** : ils représentent les principes (concepts et attributs), les dépendances entre ces principes (relations et attributs de ces relations, règles et contraintes associées à chaque relation e.g. cardinalité, ou contraintes d'exclusion ou de totalité) qui sont utiles pour décrire, formaliser et gérer un Commissioning System. L'ensemble forme alors les bases formelles d'un vocabulaire du commissioning qui devra alors compléter sans ambiguïté ni effets de bord le vocabulaire de l'ingénierie système pour créer un vocabulaire consensuel tout en restant évolutif dans le domaine de l'ingénierie d'infrastructures nucléaires. Ces concepts et relations sont essentiels par exemple pour décrire et formaliser les différentes activités et processus qui doivent être réalisés tout au long du commissioning. Ils sont ci-après formalisés en utilisant l'approche de méta modélisation telle que définie par Bézivin dans [45]. Un métamodèle met en évidence des concepts modélisés sous forme de Classes et d'Attributs et des relations entre concepts sous forme de Relations et de Contraintes.
- **Langages** : il est ici question essentiellement des langages de modélisation spécifiques à un domaine donné ou Domain Specific Modelling Language (DSML) [46]. En effet, la modélisation vise la description d'un système, un phénomène, ou tout élément, en respectant les conventions spécifiées par un langage de modélisation, et pour une finalité et des objectifs donnés. En d'autres termes, elle conduit à créer, selon des règles et des formalismes fixés par ce langage, un modèle du système, du phénomène, ou de l'élément sur lequel il doit être possible de faire ensuite un raisonnement ou une analyse cohérente pour servir ces objectifs et cette finalité. Pour cela, nous nous appuyons alors sur [47] qui définit :
 - Une vue comme *"une représentation d'un système entier du point de vue d'un ensemble de préoccupations connexes"*.
 - Un point de vue comme *"une spécification des conventions pour construire et utiliser une vue. Un modèle ou un patron à partir duquel on peut développer des vues individuelles en établissant les objectifs et le public d'une vue et les techniques pour sa création et son analyse"*.

Chaque point de vue est donc ici considéré comme un DSML dont la méthode CoGuiNF doit être munie pour permettre aux acteurs de manipuler les concepts et relations retenues et nécessaires lorsque ces acteurs se focalisent sur ce point de vue pour aborder une problématique particulière. Un DSML dédié permettra, par exemple, de modéliser les activités de commissioning, les ressources, ou encore les essais. Cela nécessite de sélectionner l'ensemble des concepts et des relations qui sont sollicitées dans une vue considérée comme nécessaire lorsque l'on souhaite modéliser un Commissioning System. Classiquement, il s'agit au moins des vues fonctionnelle, physique et comportementale comme le préconise le domaine des sciences des systèmes et, par exemple, l'approche SAGACE ou plus précisément comme le préconise le domaine de l'ingénierie des systèmes, par exemple l'approche ARCADIA [48]. Le DSML souhaité peut exister et être déjà disponible, comme par exemple le DSML eFFBD (enhanced Functional Flows Block Diagram) ou le DSML BPMN (Business Process Modelling Notation [49]) pour la vue fonctionnelle. Il peut être aussi à créer de toutes pièces si aucun langage existant et accessible n'est directement utilisable pour les besoins particuliers de représentation d'une vue donnée. Il s'agira alors, dans un premier temps, de définir une syntaxe abstraite. Cela nécessite de regrouper et éventuellement compléter pour les besoins

de modélisation certains des concepts et relations du métamodèle évoqué plus haut. Dans un second temps, il faudra définir une ou plusieurs syntaxes concrètes, graphiques ou textuelles, permettant alors de tracer les modèles instance du DSML. Il faudra enfin dans un troisième temps, définir une sémantique opérationnelle formelle i.e. des règles formelles d'interprétation de chaque concept et chaque relation et des propriétés de base devant être vérifiées sur chaque modèle en cours de construction [46]. Cela permet de formaliser le comportement de tout modèle instance de ce DSML. L'ensemble des DSML autorise enfin les acteurs à modéliser une par une chacune des vues du Commissioning System qui sont détaillées dans la suite. Cette manière de procéder leur confère une propriété importante dans le cadre d'une méthode : ils sont, de fait, interopérables conceptuellement et sémantiquement puisque tous conformes au méta-modèle commun.

- **Démarche opératoire** : elle décrit comment la méthode doit être utilisée, comment les parties prenantes doivent procéder lorsqu'elles envisagent la problématique du commissioning. Il s'agit donc de décrire comment il est proposé à ces utilisateurs de définir et de mettre en place un système de commissioning (conçu pour conduire le commissioning) en phase avec le projet d'ingénierie puis d'irriguer et d'orchestrer l'ensemble des processus demandés par le projet. Ces processus sont composés de diverses activités (e.g. modéliser, vérifier, évaluer, optimiser, exécuter des tests ou fournir les livrables attendus). Les parties prenantes impliquées dans ces activités utilisent alors les concepts proposés et les manipulent en utilisant les différents DSML proposés.
- **Les outils** : Ils implémentent les DSML choisis et doivent gérer toutes les données générées et échangées avec d'autres outils, par exemple dédiés aux activités d'ingénierie. Il s'agit ici essentiellement ici d'outils de modélisation, permettant d'aider les acteurs à appliquer la méthode selon la démarche opératoire. Ces outils opérant dans un environnement choisi à cet effet car adapté aux usages et pratiques de ces acteurs dans l'entreprise doivent de plus assurer la traçabilité des données et les différents échanges. Il est important de noter que différents environnements sont alors possibles pour supporter la méthode selon l'entreprise. Pour les besoins de la démonstration de l'intérêt et de la portée de la méthode CoGuiNF dans le cadre de l'entreprise Assystem, cet environnement s'appuie sur Eclipse et tout particulièrement sur l'outil Capella [39] qui sera ici étendu via le développement d'add-on à l'aide de Capella Studio.
- **Référentiel d'expertises et de pratiques (REP)** : cet élément central de la méthode formalise, rend accessible et rassemble l'expertise, les expériences, les patrons de conception [27] et les modèles de référence qui sont alors utilisables par les acteurs lorsqu'ils mettront en œuvre les outils et dérouleront la démarche opératoire. Le REP permet aux utilisateurs de réutiliser ou de s'inspirer de tout ou parties d'expériences passées, qu'elles soient réussies ou au contraire à éviter, ou de réutiliser et configurer par exemple des modèles existants déjà utilisés et validés car correspondant à des solutions éprouvées. L'apport du REP est donc d'assister et de conforter les activités de modélisation, d'en réduire les erreurs ou les ambiguïtés. Il est également d'attirer l'attention des modeleurs du commissioning, par exemple sur des modèles qui correspondent précisément à des solutions qui n'ont pas pu être appliquées ou qui n'ont pas pu aboutir. L'objectif est alors d'éviter de reproduire certaines erreurs du passé, de gagner en temps et en qualité de modélisation.

La méthode CoGuiNF a été pensée comme une approche de modélisation multi-vues telle que promue dans la littérature [50] relative à l'ingénierie système et la systémique. Nous retenons ici une vue système, une vue structurelle et une vue comportementale :

- Vue système : La vue système permet la représentation statique du commissioning system dans son environnement mais aussi celle des concepts qui lui sont propres en tant que système (ex : cycle de vie)
- Vue structurelle : La vue structurelle permet de représenter de manière statique la structure interne du commissioning system, ses composants, son architecture et son organisation.
- Vue comportementale : La vue comportementale permet une représentation dynamique des différentes activités que le commissioning system sera amené à réaliser.

4e - IV. Présentation détaillée de la méthode CoGuiNF

Les trois vues présentées précédemment reposent sur des concepts spécifiques dont certains sont particuliers à certaines des vues et d'autres partagés. Ces concepts sont présentés dans la suite de ce chapitre. La méta-modélisation est ici utilisée pour formaliser et synthétiser l'ensemble de ces concepts, de leurs attributs, des relations et de contraintes (ex : cardinalité, ou exclusion). Cette méta-modélisation permet de plus de structurer ces concepts et relations en utilisant des relations d'héritages et de classes abstraites de concepts qui ne sont pas propres au domaine du commissioning mais utiles pour cette structuration, et donc faciliter ensuite le développement des outils de la méthode. Dans la partie qui suit, nous présentons ces classes abstraites à l'aide d'une police en gras et italique, les liens d'héritages seront présentés à l'aide de la hiérarchie des puces et les concepts de chaque vue sont eux présentés en gras. Dans un premier temps seront présentés les principaux concepts abstraits qui structurent le méta modèle, ensuite les concepts essentiels seront présentés vue par vue.

4e - IV.1 Concepts abstrait

Afin de structurer la modélisation une première classe mère appelée ici ***CoGuiNFNamedElement*** encapsule l'entière des concepts du méta modèle, ainsi chaque élément du modèle se verra attribué un nom, un ID et un potentiel commentaire. L'approche systémique préconisée ici a ensuite conduit à la définition de deux classes abstraites ***DecomposableElement*** et ***DecomposableAndConnectableElement*** qui permettent de définir si les objets instanciés sont décomposables et connectables entre eux. Le concept de ***ConnexionAndInteraction*** permet lui d'instancier les objets qui représenteront les liens qui existent entre ces éléments décomposables et connectables, ces liens peuvent eux même être décomposés et héritent donc de la classe abstraite de plus haut niveau ***DecomposableElement***. La hiérarchie de concepts proposée est la suivante :

CoGuiNFNamedElement : Tous les éléments de la méthode CoGuiNF

- ***DecomposableElement*** : Classe abstraite permettant la représentation d'un système à l'aide d'éléments pouvant être décomposés en sous éléments
 - ***DecomposableAndConnectableElement*** : Classe abstraite permettant la représentation d'un système à l'aide d'éléments pouvant être décomposés et connectés entre eux
 - ***ConnexionAndInteraction*** : Classe abstraite permettant la représentation d'éléments de connexion entre les éléments qui composent le système

La Figure 9 ci-dessous résume ces classes abstraites et les relations qui existent entre elles.

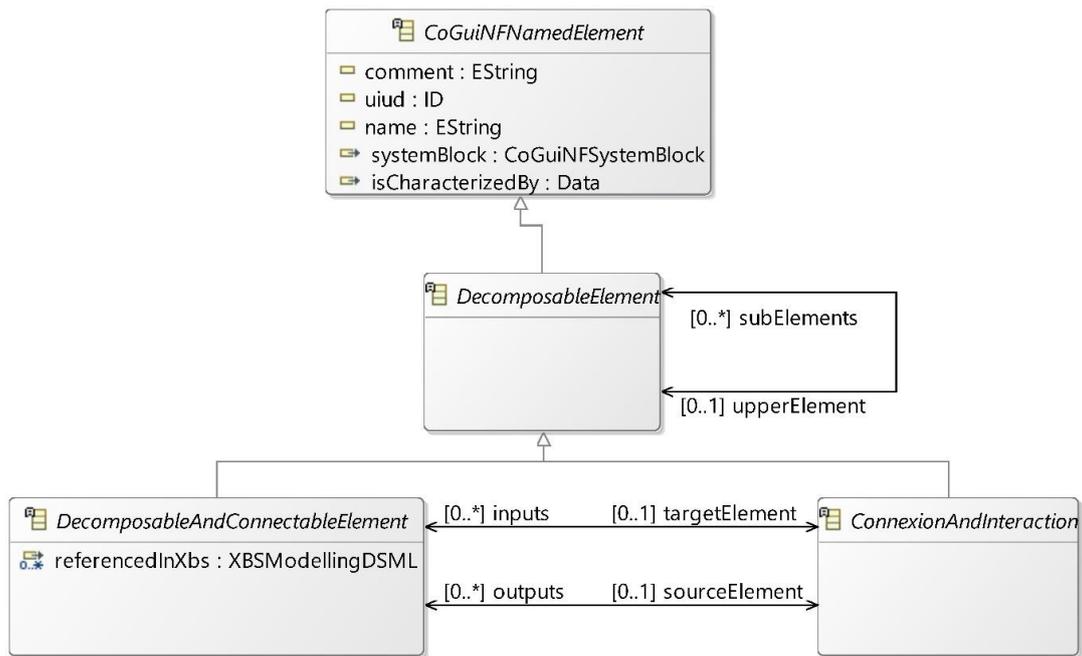


Figure 9 Classes abstraites de structuration

4e - IV.2 Vue système

La vue Système permet :

- De créer le **CommissioningSystem**, de le positionner dans son environnement opérationnel au sein duquel il est appelé à interagir avec d’autres systèmes (**Component**) et processus (**Processor**) qui font partie de cet environnement et qui possèdent chacun leur propre mission, finalité et objectifs. Cette interaction est formalisée au travers de **Services** qui évoquent donc les liens (**Link**) physiques ou logiques devant être concrètement établis entre ces système et processus. Cela permet enfin de préciser quelles sont les parties prenantes (**Stakeholders**), Celles-ci pouvant être autonomes, constituées d’un groupement de systèmes ou processus extérieurs au **CommissioningSystem**, ou constitutives du **CommissioningSystem** lui-même. Comme nous le verrons plus loin, cette partie de la modélisation sera effectuée au moyen du ContextModellingDSML que l’on retrouve dans la Vue système et qui sera présenté en détail ;

- De préciser alors les différentes étapes (**Phase**) et jalons (**Milestone**) qui permettent de basculer d’une étape à la suivante durant le cycle de vie du **CommissioningSystem**. Chaque jalon est en effet associé à un événement (**Event**) pouvant provoquer une évolution du commissioning system. Rappelons que le cycle de vie ne doit pas être confondu bien entendu avec les étapes de CDT et de CRT évoquées plus haut. Comme nous le verrons dans la suite de ce manuscrit cette partie de la modélisation sera effectuée au moyen du LifeCycleModellingDSML que l’on retrouve dans la Vue système et qui sera présenté en détail ;

- Nous ne nous intéressons pas ici à la structure interne ni au comportement du **CommissioningSystem** mais seulement aux interactions (**Services**) qu’il doit entretenir avec son environnement et à son avancement étape par étape dans le temps. Il est important de préciser ici que pour chacune des phases du cycle de vie, le contexte opérationnel pourrait s’avérer lui-même évolutif et donc différent.

La hiérarchie de concepts proposée est donc la suivante :

- **DecomposableAndConnectableElement** :

- **Component** : Entité d'un système qui permet de représenter un élément (système, sous système, composant, mécanisme ou segment)
- **Processor** : Classe abstraite permettant la modélisation de la transformation d'entrée en sorties par des ressources sous le contrôle de certaines contraintes.
 - **SE_Process** : Processus d'ingénierie système (ISO 15288)
- **Phase** : Etape du cycle de vie
- **ConnexionAndInteraction** :
 - **Link** : Élément de liaison physique ou logique qui permet le transport et l'échange d'items entre les composants.
 - **Milestone** : Condition qui autorise le passage d'une phase à une autre.
 - **Event** : Quelque chose qui arrive et dont l'occurrence valide des conditions logiques.
 - **Service** : Traduit la capacité et le besoin pour un composant d'interagir avec d'autres composants pour réaliser sa mission (ensemble de fonction, de flux et d'interfaces dont le composant doit être muni)
- **Resource** : Classe abstraite permettant la définition des actifs utilisés ou consommés pendant l'exécution d'un processor
 - **Organisation Unit** : Groupe de ressources humaines qui est sous la responsabilité d'une ressource humaine particulière (ex : entreprise, équipe, département etc.).
 - **Stakeholders** : Individu ou organisation ayant un droit, une part, une revendication ou un intérêt dans un système.
- **LogicalCondition** : Condition validée par un événement et qui autorise le franchissement de Milestone.

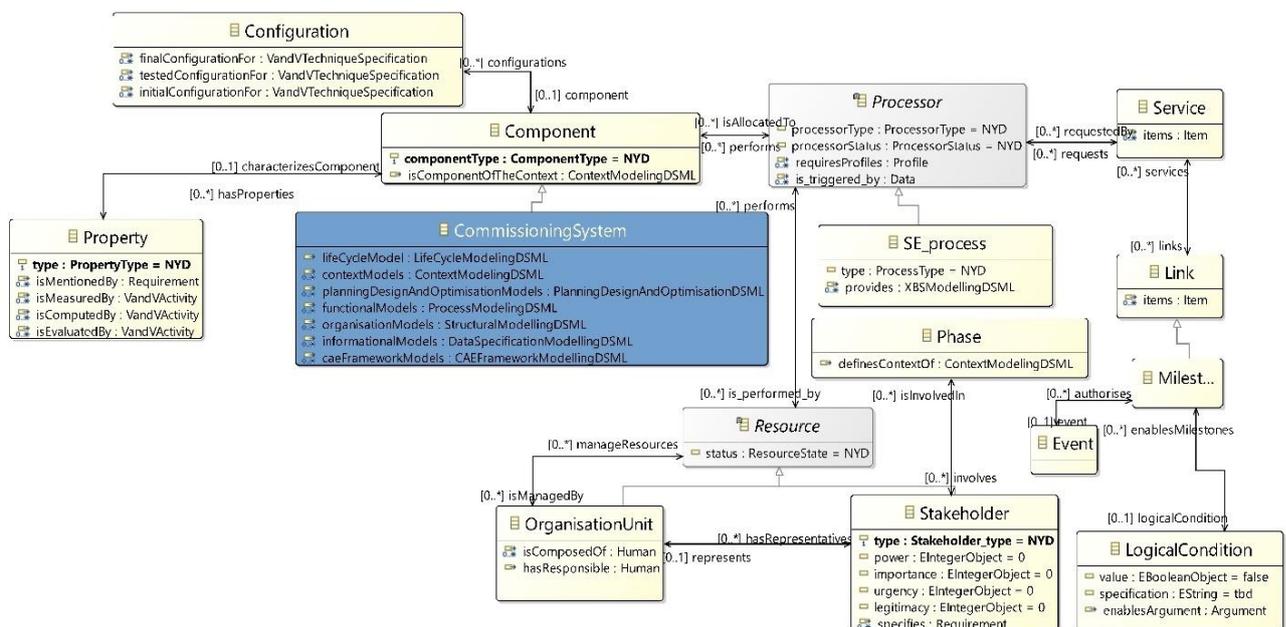


Figure 10 Classes et relations de la vue système

4e - IV.3 Vue structurelle

La vue structurelle permet :

–De représenter la structure interne du **CommissioningSystem** à l'aide des **CommissioningComponent** qui hérite de la classe **Component**. Chacun de ces composants se verra potentiellement lié aux autres (**Link**) et échangera des **Item (Data, Energy, Material, DataContainer)** afin de réaliser les différentes activités (**Processor**) que le **CommissioningSystem** aura à réaliser, qu'il s'agisse d'activités de tests qui concernent le **CommissioningSOI** ou de gestion et de management qui concernent le **CommissioningSUTD**.

–De spécifier de l'architecture du système d'information du projet et des référentiels (**DataRepository**) mais aussi et surtout de leur place au sein du système d'information de l'entreprise, spécialement afin d'assurer une meilleure traçabilité vis-à-vis des informations que le **Commissioning System** sera amené à manipuler.

–De spécifier des relations et des liens d'allocation qui existent entre les diverses **Data** qui seront manipulées (**Requirement, Property, VandVtechniquesSpecification, Configuration**). Les **Data** sont ici définies comme de la donnée brute, des informations ou des connaissances, nous définissons ces trois types de **Data** comme suit en s'inspirant des définitions données par [51] :

- Données : Valeurs alphanumériques brutes obtenues par différentes méthodes d'acquisition.
- Informations : L'information est essentiellement constituée de données traitées, organisées ou structurées pour fournir un contexte et un sens.
- Connaissances : Accumulation d'expériences et de connaissances passées qui façonnent la lentille par laquelle nous interprétons et attribuons un sens à l'information.

La Figure 11 ci-dessous présente plus en détail les relations qui existent entre ces trois types de données.

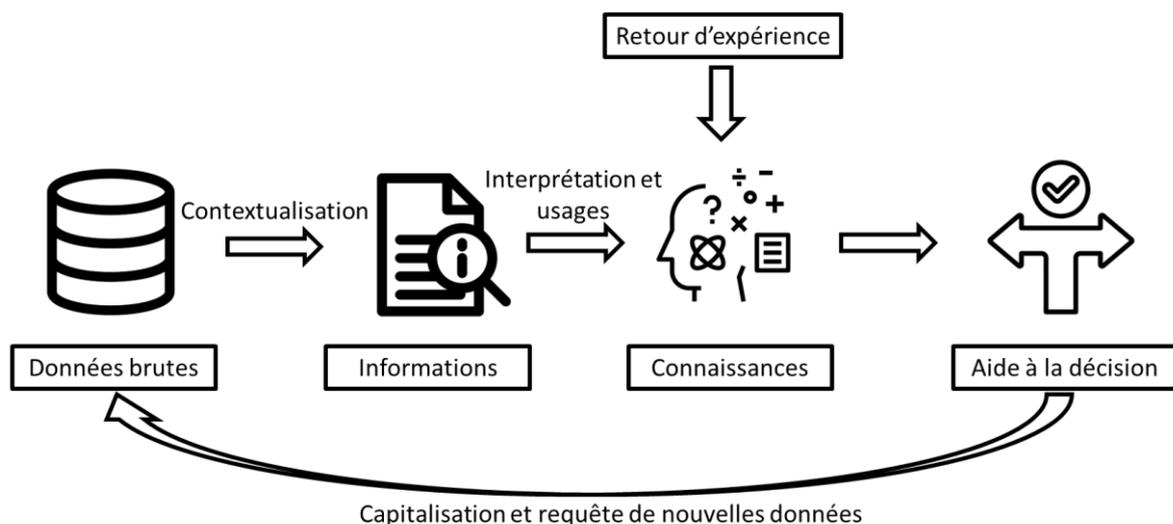


Figure 11 Description des Data manipulées

– De spécifier la **Configuration** du commissioning system et l'influence qu'auront les essais (**VandVtechniquesSpecification**) sur la **Configuration** du système d'intérêt notamment à l'aide des liens d'allocations entre les essais, les exigences (**Requirement**) et les composants (**Component**) concernés. Ces concepts permettent notamment d'assurer une meilleure traçabilité lors de la conception des activités et d'assurer que les configurations dans lesquelles se trouveront les systèmes avant et après les essais ne poseront pas de problèmes dans l'enchaînement des activités, qu'elles concernent le commissioning ou la réalisation du système.

– De spécifier les différentes caractéristiques des ressources (**Resource**) tel que **Human**, **Technique** ou **Organisation Unit**

La hiérarchie de concepts proposée est donc la suivante :

CoGuiNFNamedElement

- **DecomposableElement**
 - **ConnexionAndInteraction**
 - **Item** : Flux d'objets de même type
 - **Data** : Donnée, information ou connaissance.
 - ✓ **TechnicalFact** : Fait technique qui appuie un ou des Arguments.
 - ✓ **Requirement** : déclaration qui traduit ou exprime un besoin et les contraintes et conditions qui y sont associées
 - ✓ **Property** : Propriété non fonctionnelle que l'on cherche à démontrer, vérifiée ou validée à l'aide d'une activité de VandV.
 - ✓ **VandVtechniquesSpecification** : Spécification de la méthode avec laquelle sont vérifiées les exigences.
 - ✓ **Configuration** : Liste d'éléments ou d'agrégats de matériel, de logiciel, ou les deux, traité comme une entité unique dans le processus de gestion de configurations.
 - **DataContainer** : Contenant logique des données.
 - **Link**
 - **DataRepository** : Contenant logique des DataContainer.
 - **DecomposableAndConnectableElement**
 - **Argument** : Classe abstraite permettant la définition de règles qui font le lien entre ce que nous savons ou supposons (sous-entendus, preuves) et la Claim concernée. L'argument utilisé dépend du type, de la fiabilité et de l'étendue des Evidence disponibles et de la nature de la Claim.
 - **Component**
 - **Resource**
 - **Technical** : Ressource technique
 - **Human** : Ressource humaine
 - **Organisation Unit**
- **LogicalCondition**
- **Profile** : Classe abstraite permettant la définition des compétences et aptitudes d'une ressource.
 - **TechnicalProfile** : Profil définissant les compétences d'une ressource technique (ex : système contributeur).
 - **HumanProfile** : Profil définissant les compétences et aptitudes d'une ressource humaine.

La Figure 12 ci-dessous présente les classes et relations de la vue structurelle.

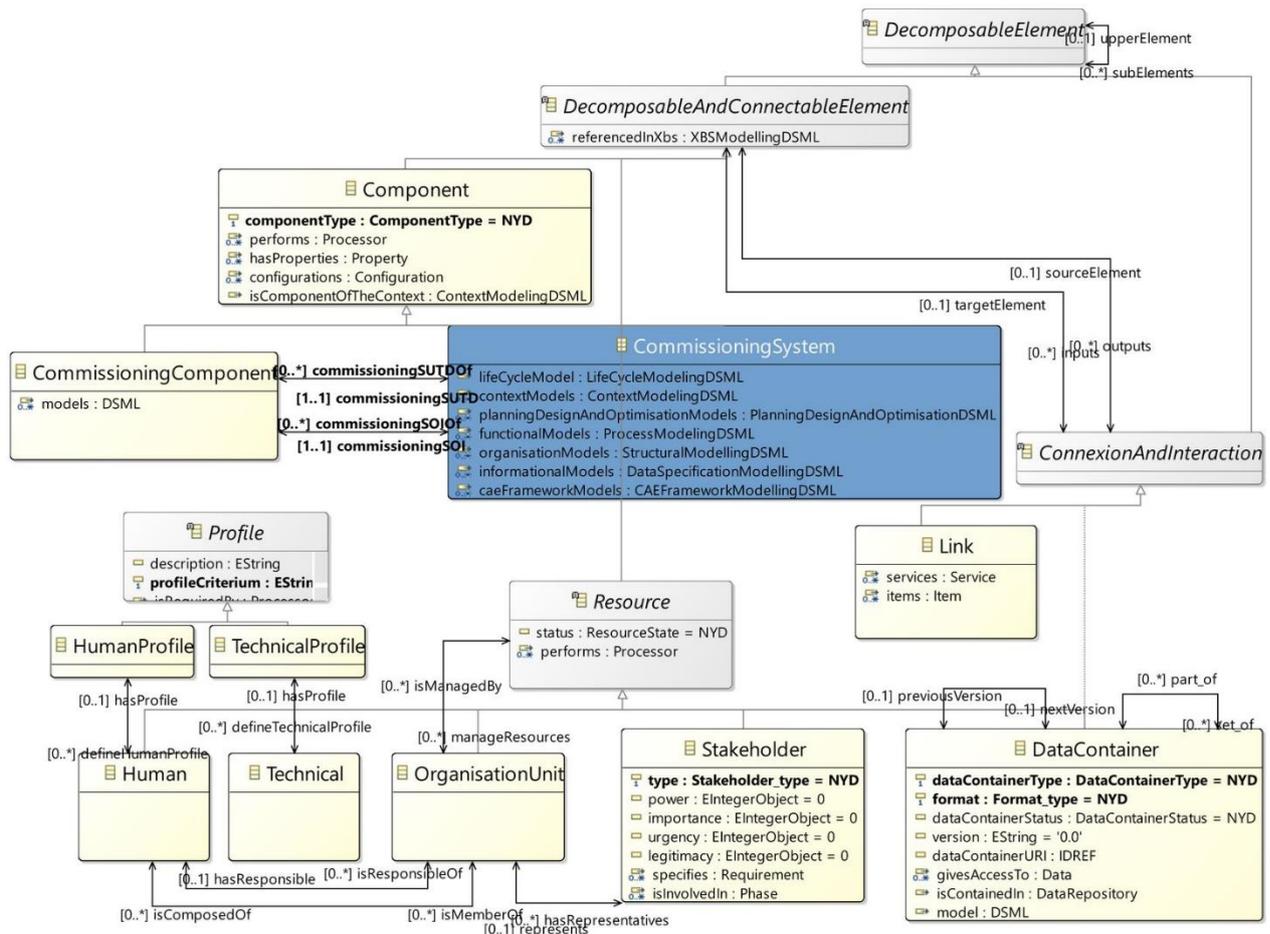


Figure 12 Classes et relations de la vue structurelle

4e - IV.4 Vue comportementale

Certains des concepts utilisés ici (**Claim, Evidence, Argument**) feront l'objet d'une description plus exhaustive du fait de leur intérêt spécifique.

La vue comportementale permet de :

- Spécifier les activités (modélisation, vérification, validation, optimisation, etc) (**Processor**). Le concept de processeur a donc été choisi ici pour modéliser tout processus, sous-processus, activité ou tâche liés aux objectifs du commissioning. Ces processus et activités induisent des flux d'échanges que nous pouvons modéliser à l'aide des concepts que nous venons d'introduire (**Items, Link**).
- D'établir les liens qui existent entre les informations (**Data**) qui permettent de spécifier les activités de vérification et de validation (**VandVactivity**) à l'aide notamment des concepts de **Claim, Argument, Evidence** et de **VandVTechniquesSpecification**.
- D'allouer aux différentes activités les ressources (**Resource**) qui permettent leur réalisation et lorsqu'elles sont humaines de leur attribuer un **Profile**.

CoGuiNFNamedElement

- **DecomposableElement**
 - **ConnexionAndInteraction**
 - **Item**
 - **Data**
 - ✓ **VanVTechniqueSpecification**

- ✓ **Requirement**
- ✓ **Property**
- ✓ **Claim** : déclaration vraie ou fausse concernant une propriété d'un objet particulier. Cette classe hérite aussi des caractéristiques d'un élément décomposable et connectable.
- ✓ **Evidence** : artefact qui établit des faits auxquels on peut se fier et qui mènent directement à une Claim. Cette classe hérite aussi des caractéristiques d'un élément décomposable et connectable .
- ✓ **TechnicalFact**
 - **Materials** : Matière première vouée à être transformée par un processeur
 - **Energy** : Energie (mécanique, électrique etc) vouée à être utilisée ou transformée par un processeur
- **Link**
 - **Milestone**
- **DecomposableAndConnectableElement**
 - **Processor**
 - **VandVActivity** : Réalisation d'une VandVtechnique
 - **Resource**
 - **Argument**
 - **ClaimDecomposition** : Classe de relation permettant de décomposer une Claim
 - **ClaimConcretion** : Classe de relation qui donne une définition plus précise de certains aspects de la Claim.
 - **ClaimSubstitution** : Classe de relation qui permet de raffiner une Claim sur un objet en une autre Claim sur un objet équivalent.
 - **ClaimCalulation** : utilisé lorsqu'une certaine valeur de la Claim peut être calculée ou prouvée.
 - **ClaimEvidenceIncorporation** : Classe de relation qui permet d'incorporer des preuves qui soutiennent directement l'affirmation.
- **Profile**
 - **TechnicalProfile**
 - **HumanProfile**

Les concepts de Claim, Argument et Evidence [52] ont eux aussi été choisis au regard de leur pertinence pour assurer une meilleure traçabilité des informations qui sont utiles et qui découlent des activités de V&V. CAE (Claims Arguments Evidence) est en effet un cadre de raisonnement et de communication dont l'application initiale concernait la sécurité et la fiabilité des systèmes. Cependant, CAE est plus largement applicable au raisonnement sur les systèmes complexes où la confiance naît de la remise en question et du développement de la compréhension de groupes disparates de personnes sur des sujets issus de diverses disciplines.

L'utilisation des concepts inhérent à ce cadre (Claim, Argument, Evidence) est aujourd'hui promue comme une bonne pratique réglementaire et industrielle dans le domaine du nucléaire notamment par l'ONR. Les concepts de CAE sont d'ailleurs désormais explicitement utilisés dans l'évaluation de la conception pour le programme de construction de nouveaux réacteurs au Royaume-Uni. Ils sont aussi recommandés par la position commune de sept régulateurs nucléaires européens sur l'octroi de licences pour les logiciels essentiels à la sûreté et la sécurité. L'approche la plus récente (2018) décrite

dans le guide d'évaluation de la fiabilité des logiciels de l'AIEA est par exemple basée sur ces concepts [53]. Un tel cadre de raisonnement et de modélisation est donc parfaitement adapté pour décrire les liens qui existent entre les essais, leurs résultats, leurs hypothèses et les exigences qu'ils visent à vérifier.

La Figure 13 présente les classes et relations de la vue comportementale.

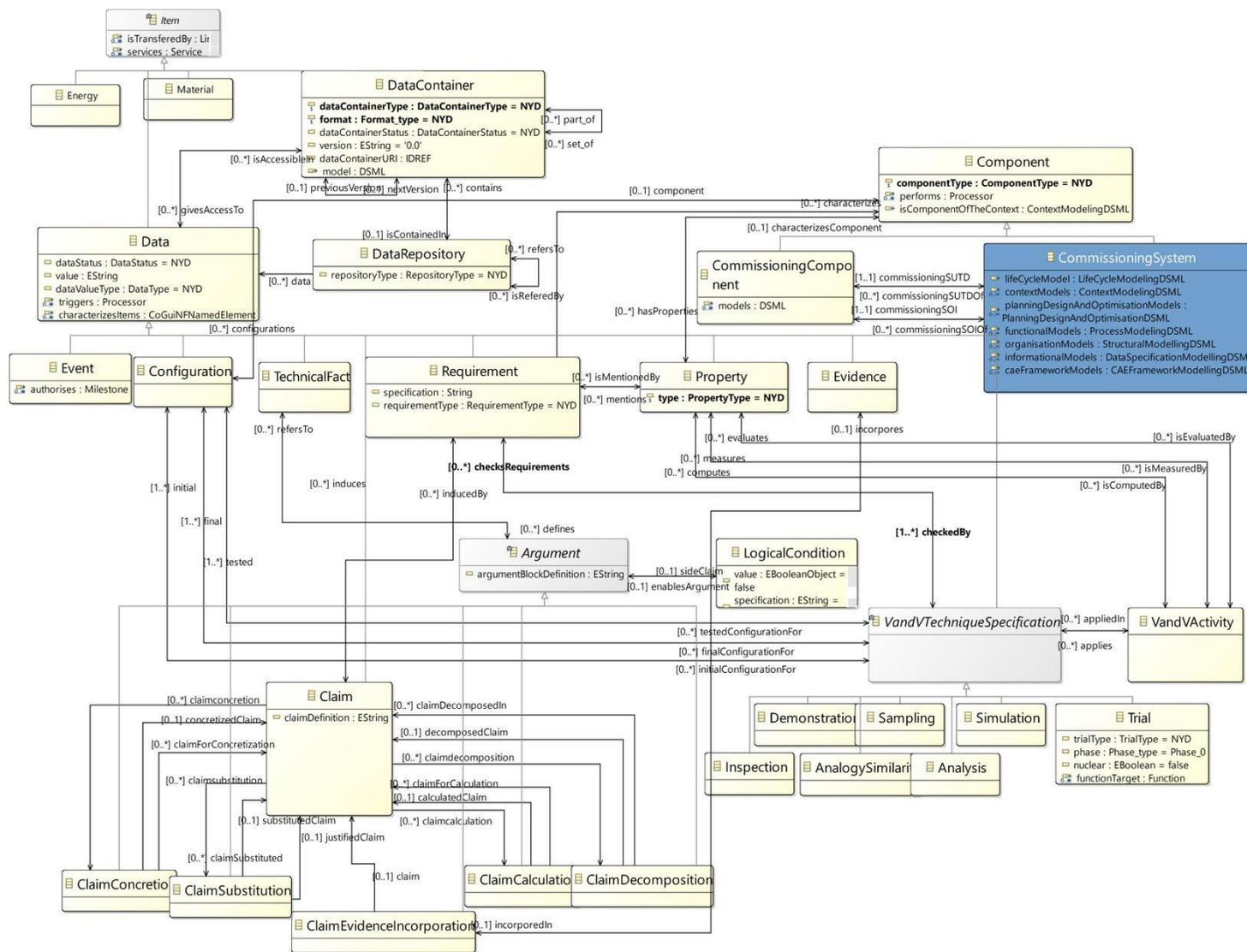


Figure 13 Classes et relations de la vue comportementale

4e - IV.5 Synthèse

Le Tableau 3 ci-dessous reprend l'ensemble des classes du méta modèle de CoGuiNF et leur définition. L'ensemble des classes, vues par vues, DSML par DSML ainsi que leurs relations sont disponibles en annexe.

Tableau 3 Synthèse de l'ensemble des concepts du méta modèle

<p>CoGuiNFSystemBlock : Classe abstraite qui permet de structurer le méta modèle et qui est nécessaire pour faciliter le développement</p> <p>CoGuiNFNamedElement : Classe abstraite qui permet de structurer le méta modèle</p> <p>CommissioningSystem : Classe permettant de modéliser le commissioning system tel que défini</p> <p>AnalogySimilarity : Technique de VandV consistant en la comparaison de résultats permettant de fournir une preuve (Evidence)</p> <p>Analysis : Technique de VandV qui consiste en l'analyse de modèle permettant de fournir une preuve (Evidence)</p> <p>Argument : Classe abstraite permettant la définition de règles qui font le lien entre ce que nous savons ou supposons (sous-entendus, preuves) et la Claim concernée. L'argument utilisé dépend du type, de la fiabilité et de l'étendue des Evidence disponibles et de la nature de la Claim.</p> <p>Claim : déclaration vraie ou fausse concernant une propriété d'un objet particulier, ce que l'on peut considérer comme étant l'usage courant du terme : une idée dont quelqu'un essaie de convaincre quelqu'un d'autre qu'elle est vraie. Un exemple d'affirmation pourrait être : "Le système est sûr".</p> <p>ClaimDecomposition : Classe de relation permettant de décomposer une Claim</p> <p>ClaimConcretion : Classe de relation qui donne une définition plus précise de certains aspects de la Claim.</p> <p>ClaimSubstitution : Classe de relation qui permet de raffiner une Claim sur un objet en une autre Claim sur un objet équivalent.</p> <p>ClaimCalulation : utilisé lorsqu'une certaine valeur de la Claim peut être calculée ou prouvée.</p> <p>ClaimEvidenceIncorporation : Classe de relation qui permet d'incorporer des preuves qui soutiennent directement l'affirmation.</p> <p>Component : Entité architecturale d'un système qui permet de représenter un élément (système, sous système, composant, mécanisme ou segment)</p> <p>CommissioningComponent : Composant propre au commissioning syste</p> <p>Configuration : liste d'éléments ou d'agrégats de matériel, de logiciel, ou les deux, traité comme une entité unique dans le processus de gestion de configurations.</p>	<p>Evidence : Une evidence est un artefact qui établit des faits auxquels on peut se fier et qui mènent directement à une Claim.</p> <p>Function : Entité architecturale d'un système qui permet de représenter le comportement d'un élément (système, sous système, composant, mécanisme ou segment)</p> <p>Human : Ressource humaine</p> <p>HumanProfile : Type de profil définissant les compétences et aptitudes d'une ressource humaine</p> <p>Item : Flux d'objets de même type (Data, Energy, Material)</p> <p>Inspection : VandVTechnique qui consiste en l'inspection par un groupe d'expert permettant de fournir une preuve concrète du respect ou non à une exigence.</p> <p>Link : Composant particulier qui permet le transport et l'échange via les interfaces d'items entre les composants.</p> <p>LogicalCondition : Condition validée par un événement et qui autorise le franchissement de Milestone.</p> <p>Material : Type d'item</p> <p>Milestone : Condition qui autorise le passage d'une phase à une autre.</p> <p>OrganisationalUnit : Groupe de ressources humaines qui est sous la responsabilité d'une ressource humaine particulière (ex : entreprise, équipe, département etc.).</p> <p>Phase : Etape du cycle de vie</p> <p>Processor : Classe abstraite permettant la modélisation de la transformation d'entrée en sorties par des ressources sous le contrôle de certaines contraintes.</p> <p>Profile : Profile définissant les compétences et aptitudes d'une ressources</p> <p>Property : Propriété non fonctionnelle que l'on cherche à démontrer, vérifiée ou validée à l'aide d'une activité de VandV.</p> <p>Requirement : déclaration qui traduit ou exprime un besoin et les contraintes et conditions qui y sont associées</p> <p>Resource : Classe abstraite permettant la définition des actifs utilisés ou consommés pendant l'exécution d'un processor</p> <p>Sampling : VandV technique qui consiste à prélever des échantillons pour analyse</p> <p>Simulation : Analyse des résultats de la simulation de modèles paramétrables.</p> <p>SE_Process : Ensemble des processus d'ingénierie système</p> <p>Service : Traduit la capacité et un besoin pour un composant à interagir avec d'autres composants pour</p>
---	---

<p>ConnexionAndInteraction : Classe abstraite permettant de représenter les connexions et les interactions entre les différents composants</p> <p>Data : Donnée, information ou connaissance.</p> <p>DataContainer : Contenant logique des données.</p> <p>DataRepository : Contenant logique des DataContainer</p> <p>Demonstration : VandVTechnique permettant de fournir une preuve concrète du respect ou non à une exigence.</p> <p>DecomposableElement : Classe permettant de modéliser le commissioning system tel que défini.</p> <p>DecomposableAndConnectableElement : Classe permettant de modéliser le commissioning system tel que défini.</p> <p>DSML : Classe permettant de modéliser le commissioning system tel que défini</p> <p>Energy : Item échangé permettant la réalisation de processeur</p> <p>Event : Quelque chose qui arrive et dont l'occurrence valide des conditions logiques.</p>	<p>réaliser sa mission (ensemble de fonction, de flux et d'interfaces dont le composant doit être muni)</p> <p>Stakeholder : individu ou organisation ayant un droit, une part, une revendication ou un intérêt dans un système.</p> <p>Technical : Type de ressource</p> <p>TechnicalFact : Fait technique qui appuie un ou des Arguments.</p> <p>TechnicalProfile : Profil technique définissant les compétences d'un système contributeur</p> <p>Trial : VandVtechnique qui consiste à la réalisation d'une fonction pour vérifier que les exigences de performances et de sécurités sont respectées</p> <p>VandVActivity : Réalisation d'une VandVtechnique</p> <p>VandVTechniquesSpecification : Spécification de la méthode avec laquelle sont vérifiées les exigences.</p>
---	--

4e - V. Langages

Comme dit plus haut, la méthode CoGuiNF se base sur une approche multi vues, chaque vue nécessite de définir un ou plusieurs points de vue i.e. des langages de modélisation ou DSML qui permettront de manipuler graphiquement ou textuellement les concepts et les relations considérés comme pertinents, voire partageables, dans chaque vue. La suite de cette partie présente ces DSML vue par vue (voir Table 2), synthétisés ici au travers des caractéristiques suivantes :

- Nom du DSML ;
- Vues de rattachement : la ou les vues dans laquelle (lesquelles) le DSML est utilisé ;
- Syntaxe concrète i.e. Diagrammes supports : La ou les représentation (graphique, table, texte etc.) des modèles issus du DSML.
- Objectifs : Les grands objectifs que le DSML cherche à remplir, qu'il s'agisse d'objectifs de modélisation, ou bien d'objectifs remplis par l'analyse des modèles qui seraient issus du DSML ;
- Syntaxe abstraite : Les concepts et relations nécessaires à la définition du DSML, cette syntaxe sera présentée par un ou des diagrammes esquissés à l'aide de l'outil Obeo Designer ;

Dans le Tableau 4, on retrouve la liste des DSML classifiés directement à partir de leur appartenance à chacune des vues ainsi que leurs objectifs respectifs.

Tableau 4 Liste de l'ensemble des DSML

Vues	DSML	Objectifs
Vue système	LifeCycleModellingDSML	Décrire les phases du commissioning system
	ContextModellingDSML	Décrire le contexte du commissioning system et spécifier les services à rendre
Vue structurelle	DataSpecificationModellingDSML	Décrire l'architecture du système d'information Spécifier les liens entre les données générées et traitées par le commissioning system

	StructuralModellingDSML	Décrire la structure interne du commissioning system
	XBSModellingDSML	Permet la représentation sous forme d'arborescence de tout élément décomposable.
Vue comportementale	ProcessModellingDSML	Décrire et organiser de manière séquentielle les activités que le commissioning system doit réaliser
	CAEFrameworkModellingDSML	Spécifier les activités à réaliser et tracer leurs liens avec les données traitées (exigences, fonctions etc)
	PlanningModellingDSML	Organiser temporellement les activités à réaliser

4e - V.1 Vue système

Nom : LifeCycleModellingDSML

Vue de rattachement : Vue système

Diagramme support : Life Cycle Diagram (LCD)

Objectifs : Ce DSML permet de décrire les différentes phases que connaîtra le commissioning system, aussi de spécifier les différents jalons qui représentent les conditions nécessaires au passage d'une phase à une autre. Ces conditions peuvent être internes au commissioning system (e.g. disponibilité de la ressources) ou bien concerner son environnement (e.g. état d'avancement de la construction de l'INB).

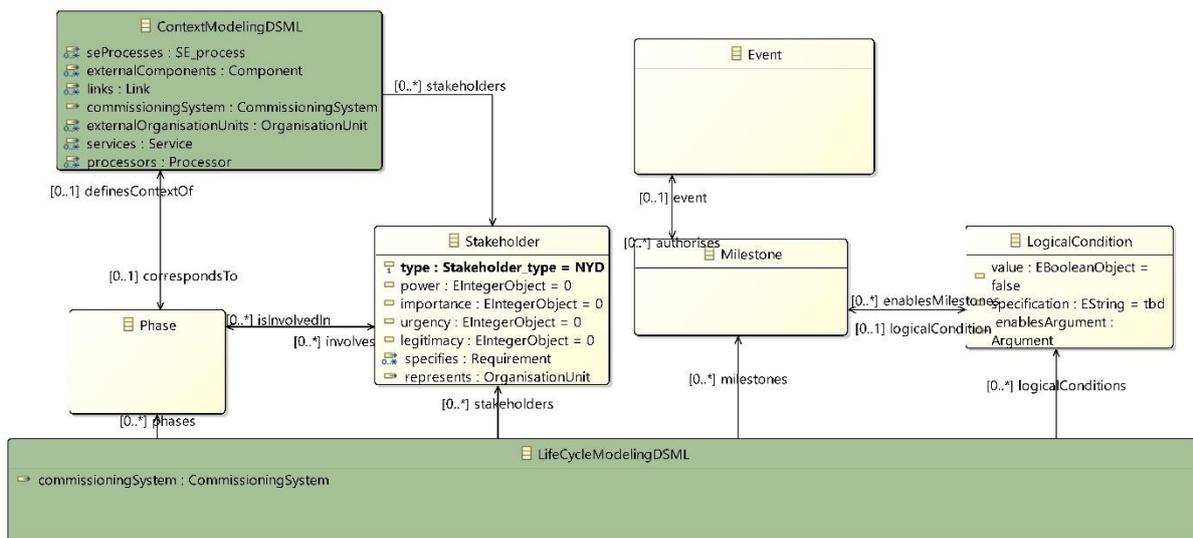


Figure 14 LifeCycleModellingDSML

Nom : ContextModellingDSML

Vue de rattachement : Vue système

Diagramme support : Context Diagram (CD)

Les différents contextes dépendent de la phase du cycle de vie concernée, on a donc un diagramme de contexte différent pour chaque phase du commissioning system.

Objectifs : Ce DSML permet la description des différents contextes dans lequel évoluera le commissioning system. Au sein des diagrammes de contexte on retrouve les différentes instances extérieures (parties prenantes, organisations externes, sous-traitants ou unités d'affaires qui peuvent être impliquées) au commissioning system. Y sont aussi représentées les interactions et services

nécessaires au bon fonctionnement du système. On y trouve donc les différents liens existants entre le commissioning system et son environnement mais aussi les items qui peuvent être échangés au travers de ces différents liens. Il permet donc d'avoir une vision claire des interfaces du système avec son environnement afin de prévoir les moyens de communications adéquats, qu'il s'agisse d'information ou même de transport d'énergie ou de matière. De plus, il permet de clairement distinguer la place du commissioning system au sein du projet de construction de l'INB et d'identifier les services qu'il devra rendre afin d'esquisser les activités que le commissioning system devra réaliser. Ce diagramme s'avère donc d'une importance primordiale pour le bon déroulement des futures activités de modélisation du commissioning system.

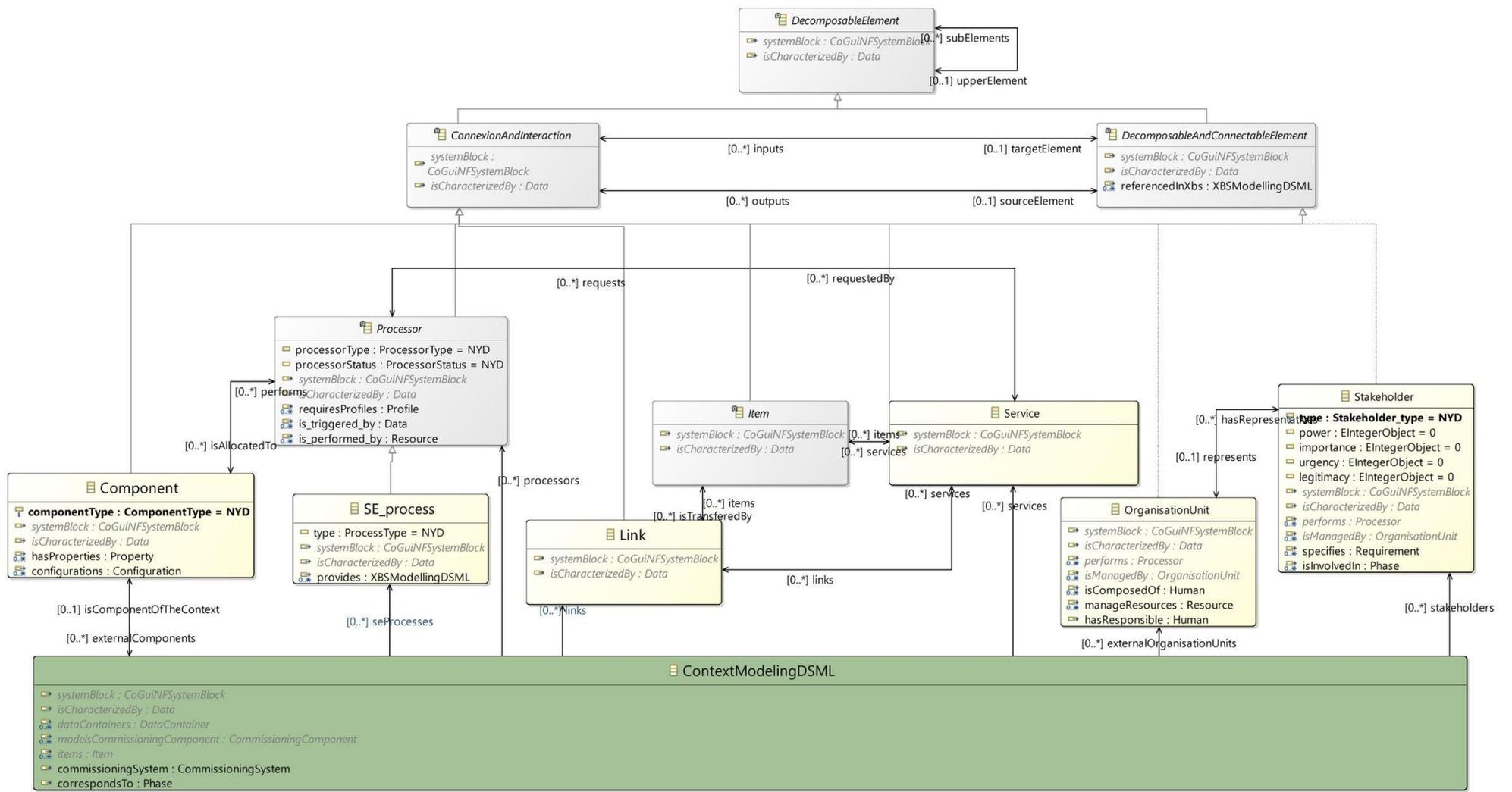


Figure 15 ContextModellingDSML

4e - V.2 Vue structurelle

Nom : DataSpecificationModellingDSML

Vue de rattachement : Vue structurelle

Diagrammes supports : On y retrouve deux diagrammes, le *Commissioning Project Data specification* (CPDS) et le *Commissioning Enterprise Information System* (CEIS).

Objectifs : Ce DSML permet de spécifier les liens existants entre les données et informations qui sont générées et traitées par le commissioning system, mais aussi de modéliser l'architecture du système d'information de l'entreprise dans lequel on retrouve le système d'information propre au projet. Ainsi cela permet de guider les équipes dans la recherche d'informations pertinentes qui leur permettraient de faire face aux différents problèmes rencontrés lors du projet. Ce DSML permet la création de deux diagrammes distincts :

- ❖ **CPDS** : Décrire les liens qui existent entre les données et informations.
- ❖ **CEIS** : Décrire l'architecture du système d'information de l'entreprise.

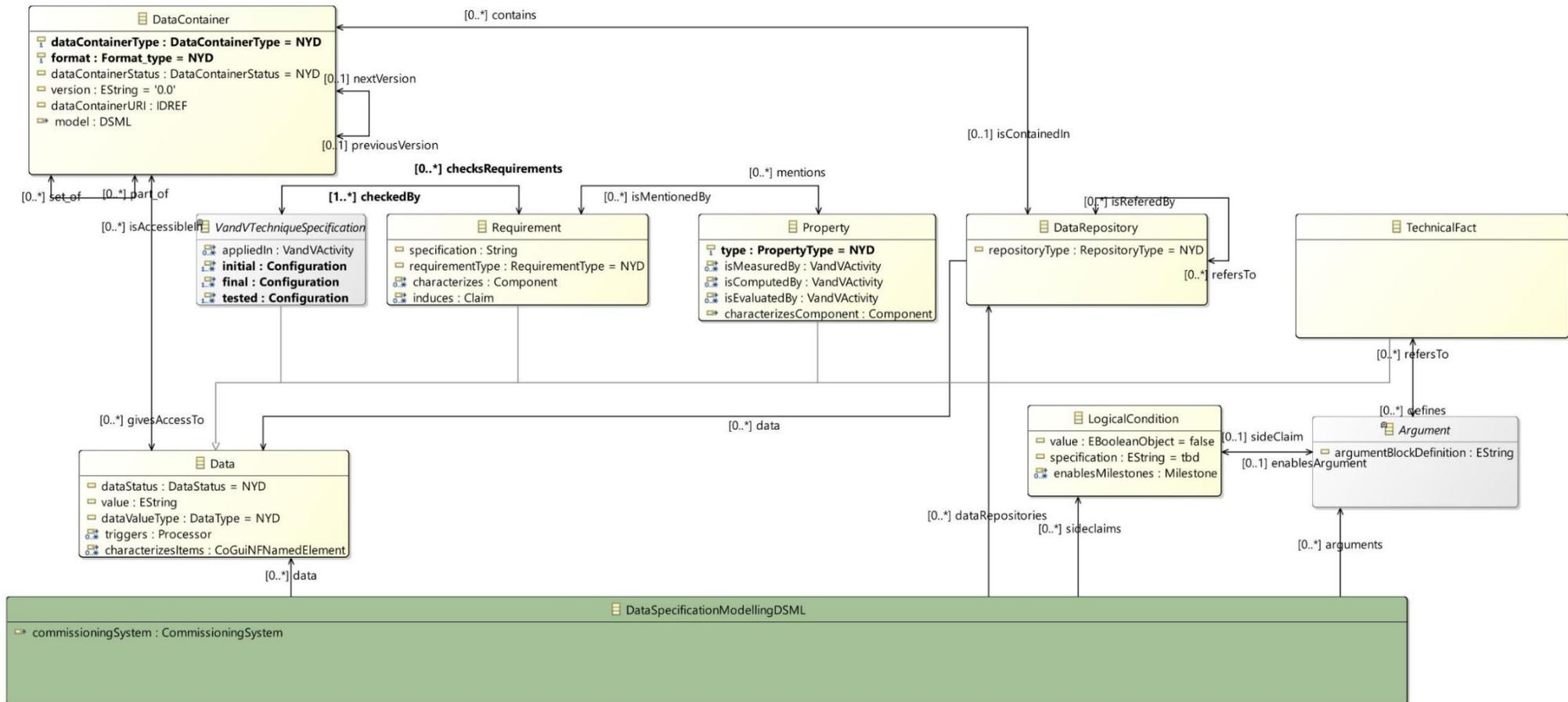


Figure 16 DataSpecificationModellingDSML

Nom : StructuralModellingDSML

Vue de rattachement : Vue structurelle

Diagramme support : Context Diagramm (CD)

Tout comme le contexte, l'organisation du commissioning system dépend de la phase du cycle de vie qui est concernée et on aura donc un diagramme organique par phase.

Objectifs : L'objectif de ce DSML est de permettre de décrire l'organisation interne du Commissioning System. Il permet en effet de décrire la structure interne du commissioning system, ses ressources (techniques, humaines ou informationnelles) leur hiérarchisation et les différents flux d'items pouvant être échangés en interne. [SIRIN].

Nom : XBSModellingDSML

Vue de rattachement : Vue structurelle

Diagramme support : XBS

Objectifs : L'objectif de ce DSML est de permettre de décrire la structure de tous éléments décomposables qui constituent le commissioning system. Qu'il s'agisse d'activités (WBS), de systèmes (PBS) ou encore d'éléments d'informations comme les exigences, ce DSML permet de fournir une représentation sous forme d'arborescence qui favorise la compréhension des liens hiérarchiques qui existent entre ces différents éléments.

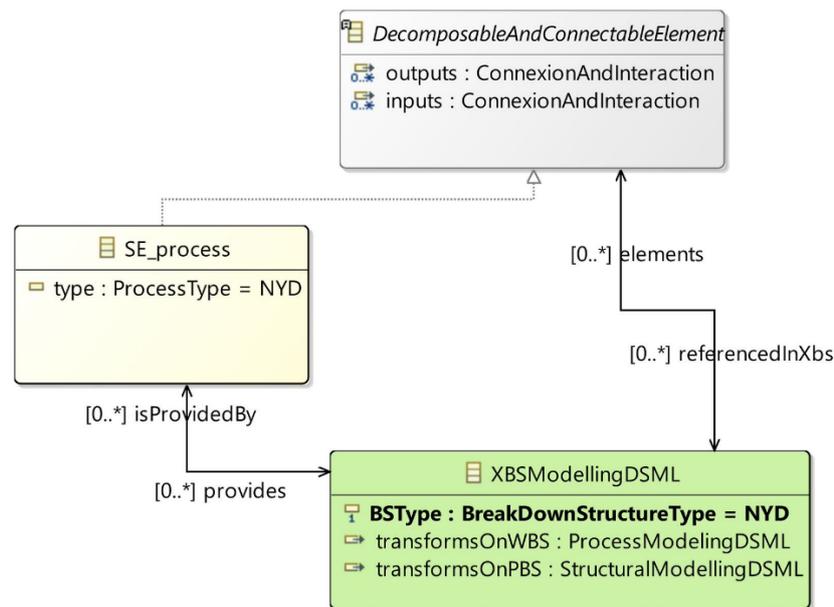


Figure 18 XBSModellingDSML

4e - V.3 Vue comportementale

Nom : ProcessModellingDSML

Vue de rattachement : Vue comportementale

Diagramme support : Process Diagram (PD)

Objectifs : L'objectif de ce DSML est de permettre la description des processus et des activités que le commissioning system (et plus particulièrement ceux du SOI) doit réaliser, ainsi que les items échangés et traités par ces derniers. Qu'il s'agisse des activités de gestion du SUTD ou encore des activités de vérification et de validation réalisées par le SOI, elles sont décrites comme des processeurs. Cela permet d'identifier et de structurer les invariants fonctionnels entre plusieurs processus ou activités. Le DSML se doit donc d'être en mesure de fournir des modèles qui peuvent être exécutés, ainsi après une analyse formelle des résultats il est possible de définir et de reproduire le comportement attendu des processus modélisés, de vérifier diverses hypothèses et de prendre en compte diverses situations dans lesquelles ces processus doivent rester capables de fournir leurs sorties en respectant des délais, les objectifs de performance et les contraintes de mobilisation des ressources.

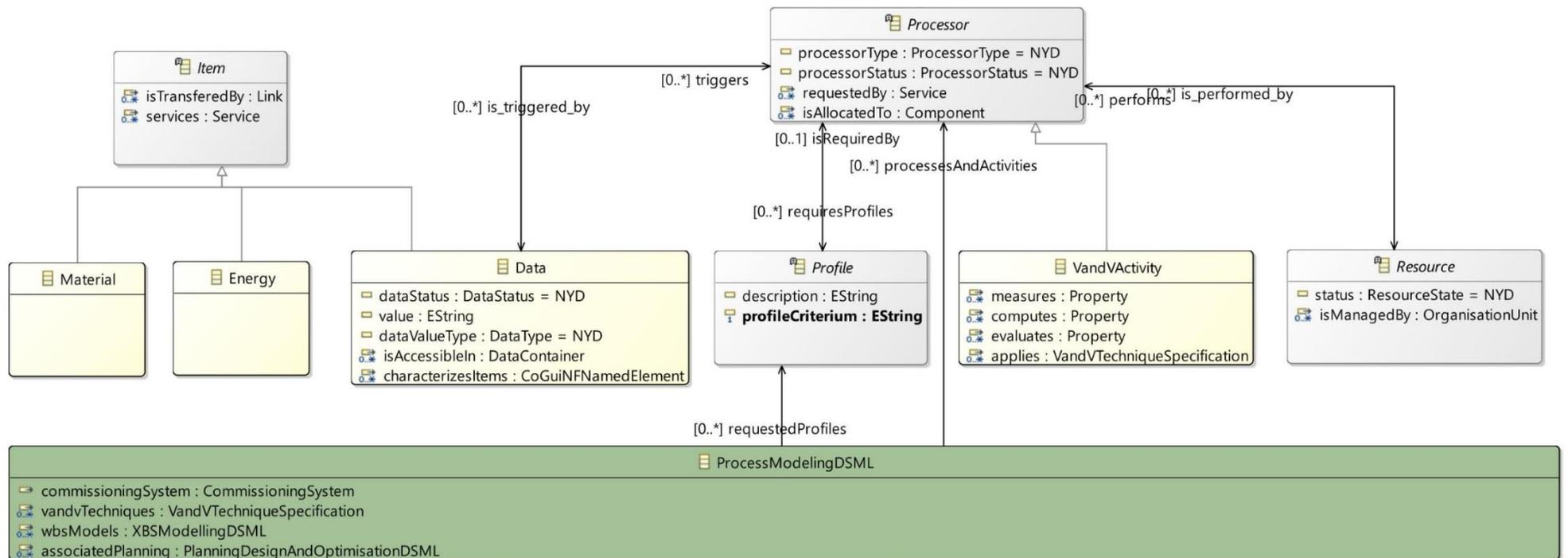


Figure 19 ProcessModellingDSML

BPMN (Business Process Modeling Notation) est une méthode de modélisation formelle à la syntaxe concrète reconnue et normalisée, elle permet de représenter des processus. Le ProcessModellingDSML se veut donc fortement inspiré de cette méthode et permet de faire le lien entre les concepts et objets qui découlent du domaine du commissioning dans l'industrie nucléaire et ceux natifs de BPMN.

Nom : CAEFrameworkModellingDSML

Vue de rattachement : Vue comportementale

Diagramme support : CAE Diagramm (CAED)

Objectifs : L'objectif est de permettre aux équipes en charge de la préparation du commissioning de spécifier et de mettre à jour les activités de V&V au regard du référentiel d'exigences, des contraintes de réalisation métiers/terrain identifiées et des faits techniques constatés en temps réel. Un tel modèle permet aussi de conserver la traçabilité entre les processus d'ingénierie système tout au long du projet, référençant les liens qui coexistent entre des objets tel que des exigences (Ingénierie du besoin, ingénierie des exigences) et les activités de vérification et de validation (Vérification, validation). Le CAEFrameworkModellingDSML a donc pour objectif de faire le lien entre les trois concepts de **Claim, Argument, Evidence** et ceux qui découlent d'un projet de commissioning dans le nucléaire.

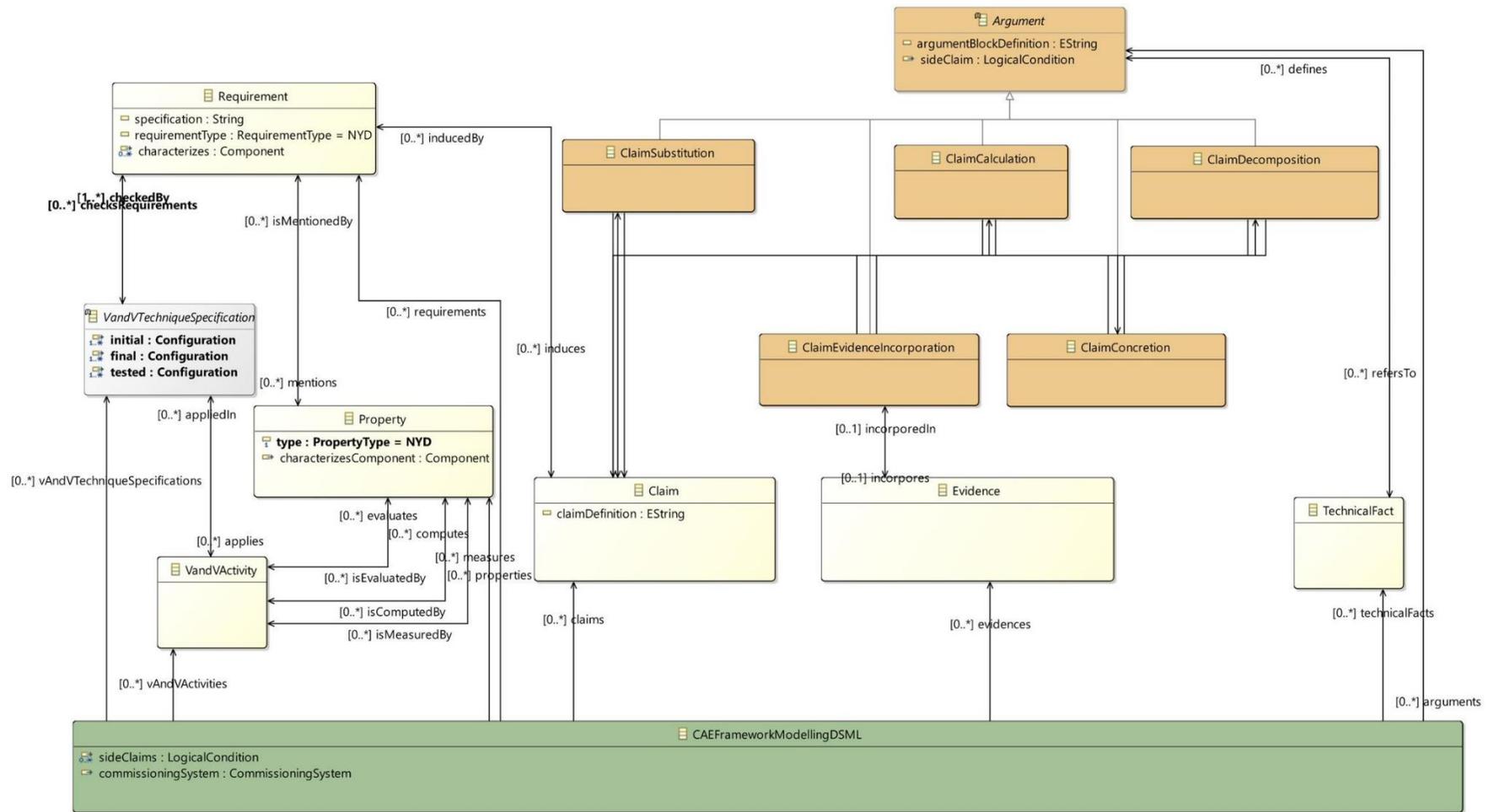


Figure 20 CAEFrameworkModellingDSML

Nom : PlanningDesignAndOptimisationDSML

Vue de rattachement : Vue comportementale

Diagramme support : Planning

Objectifs : Les projets de commissioning sont intrinsèquement liés au projet de construction de l'INB, la vérification et la validation de systèmes ne pouvant se faire que dans certaines conditions (environnement, montage des systèmes, configuration etc.). De telles dépendances entre les activités donnent lieu à des changements conséquents dans le planning au moindre événement imprévu, qu'il concerne le commissioning ou un des projets qui constituent son environnement. Le PlanningModellingDSML présente plusieurs avantages au regard de cette problématique, tout d'abord les liens qui existent entre ce langage et d'autre comme le ProcessModellingDSML, le CAEFrameworkDSML ou encore le StructuralModellingDSML permettent d'identifier les activités que le commissioning system doit réaliser et d'estimer les potentiels événements imprévus (e.g. disponibilité de la ressource). L'objectif de ce langage est donc avant tout d'assurer aux équipes une visualisation aisée de ces informations mais aussi d'identifier celles qui permettent de définir les conditions de précedence de chaque activités (e.g. critère d'acceptance d'un essai) afin d'anticiper les potentiels points bloquants qui seront rencontrés mais aussi d'optimiser l'enchaînement de ces activités.

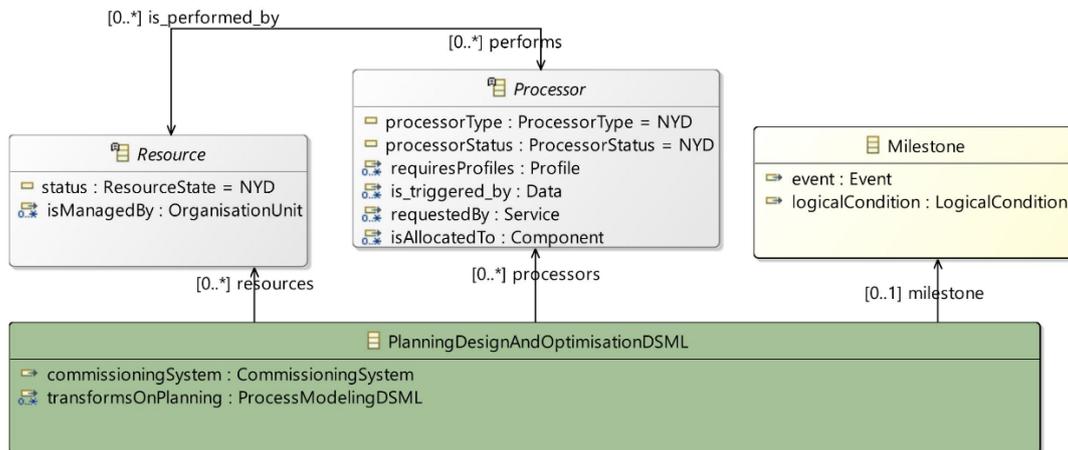


Figure 21 PlanningDesignAndOptimisationDSML

Ce découpage en huit DSML permet de porter des réflexions ciblées en fonction des modèles étudiés. Un tel découpage permet en effet d'adresser aux personnes concernées par des tâches bien précises (ex : planification, organisation des ressources etc.) de réaliser les modèles permettant de diffuser ces informations aux différents collaborateurs. Ce dialogue entre les différentes parties prenantes du projet se voit donc amélioré par l'utilisation de modèles et assure un bon déroulement des activités. La modification et la mise à jour centralisée des données directement sur le modèle assure par exemple une traçabilité accrue des informations manipulées et diminue grandement les efforts de standardisation rédactionnelle demandées aujourd'hui dans l'industrie. La Figure 22 ci-après résume les DSML, les liens qui existent entre eux ainsi que leur place au sein des vues.

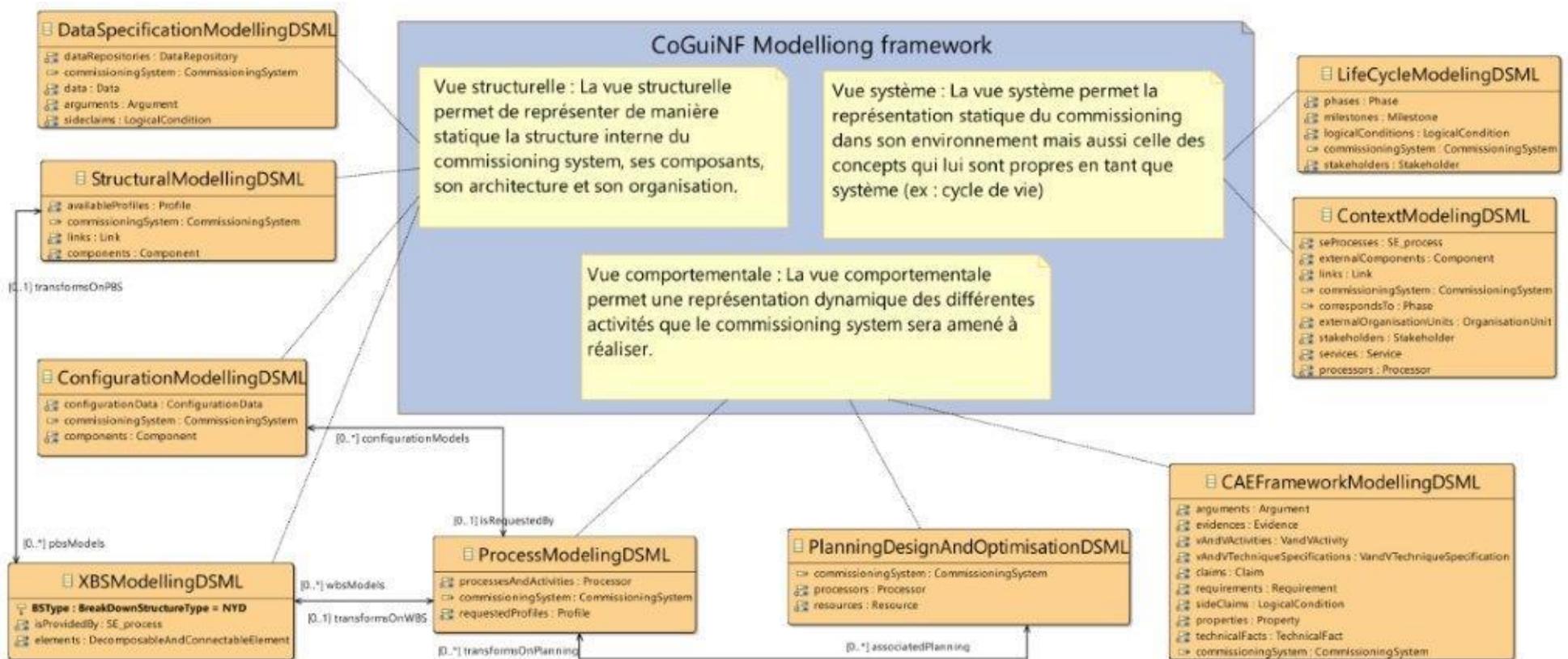


Figure 22 Figure récapitulative des DSML de la méthode CoGuiNF

4e - VI. Démarche opératoire

La démarche opératoire doit être vue comme un ensemble de processus indiquant comment la méthode COGUINF doit être 1) mise en œuvre concrètement dans le cas d'une INB par l'équipe en charge de son commissioning, 2) déployée dans l'entreprise et faire l'objet de sensibilisations et de formations de l'ensemble des collaborateurs concernés par le commissioning d'une INB et 3) améliorée continuellement dans le temps et consolidée en termes de culture d'entreprise. La démarche opératoire spécifie donc les actions à mener à bien et leur enchaînement pour atteindre chacun de ces trois objectifs. Elle propose donc comment préparer, effectuer et clore chacune de ces actions affectées alors à un ou des rôles particuliers. L'exhaustivité, la pertinence, la faisabilité et le respect des exigences de sûreté et de sécurité sont les principaux enjeux à respecter pour chaque action. Nous choisissons dans la suite deux niveaux différents d'application de cette démarche opératoire, au niveau de l'entreprise et au niveau du projet. La Figure 23 présente la démarche opératoire dans sa globalité, les éléments la constituant seront détaillés dans la suite de ce manuscrit.

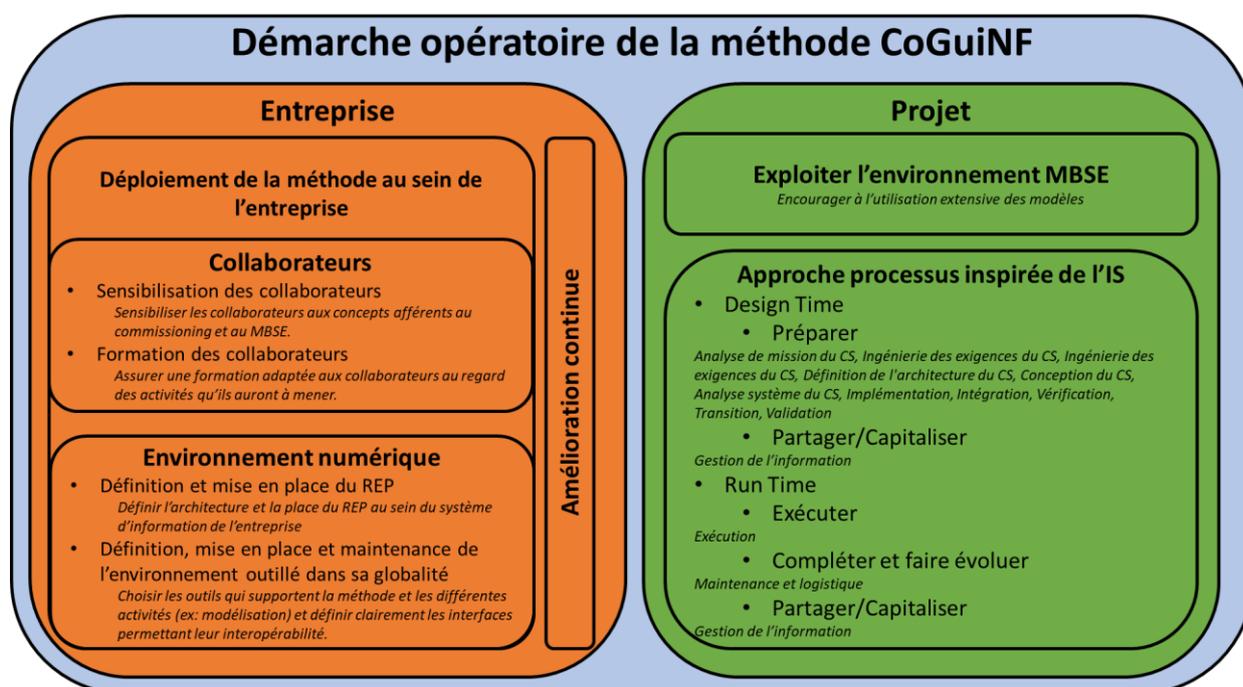


Figure 23 Figure représentative de la démarche opératoire et de ses éléments

4e - VI.1 Niveau projet

Au niveau projet, c'est la mise en œuvre de la méthode qui nous intéresse. La mise en œuvre d'une méthode reste aujourd'hui principalement décrite dans la documentation industrielle à travers du contenu texte, cependant l'approche basée modèle préconisée ici permet d'enrichir la démarche par des formats visuels. La méthode CoGuiNF promeut en effet l'utilisation extensive des modèles, il est donc d'une importance primordiale de mettre en place des modèles permettant de diffuser la démarche opératoire. A l'aide de diagrammes comme les Business Process Diagram qui sont construits à l'aide du langage BPMN nous pouvons représenter l'enchaînement des tâches et les ressources qui leurs sont allouées, un tel diagramme permet une compréhension et une assimilation des consignes plus efficace qu'un format liste.

Dans un premier temps, il est primordial d'évaluer la culture des collaborateurs impliqués dans le projet au regard du commissioning. Cette culture se traduit par différents niveaux d'appropriation :

- ✓ Sensibilisés : Les collaborateurs ont une culture du commissioning et des différents concepts du MBSE qui supportent la méthode CoGuiNF
- ✓ Praticants : Les collaborateurs mettent en œuvre la méthode dans le cadre des projets concrets.
- ✓ Experts : Les collaborateurs ont déployé la méthode sur divers projets et se sont appropriés et ont même potentiellement amélioré les concepts, langages et outils qui la supportent.

Dans un second temps, il est important de présenter la méthode de diffusion de la démarche opératoire. Comme abordé précédemment, la méthode de modélisation utilisée pour l'élaboration de ces modèles descriptif est BPMN et se réfère donc à l'utilisation du Process Diagram présenté dans la partie langages. Il est primordial de définir les rôles des acteurs métiers qui seront nécessaires au commissioning. Les rôles qui concernent le commissioning sont présentés définis et classifiés sous forme de listes ci-après, la classification reprend celle que nous avons déjà avec un niveau projet et un niveau entreprise, mais nous nous intéresserons ici aussi aux différents rôles pouvant être externes à l'entreprise :

- **Interne**
 - ❖ **Niveau projet**
 - **Projet commissioning**
 - **Chef de projet commissioning** : organise et conduit les différentes phases du commissioning.
 - **Concepteur activité V&V** : Elabore les activités de V&V.
 - **Chargé activité V&V** : Réalise les activités de vérification et de validation élaborées par le concepteur.
 - **Responsable des activités V&V (par lot)** : Supervise les activités de V&V d'ensemble de systèmes (lot).
 - **Expert activité V&V interne** : Conseille et revoit la conception des activités de V&V.
 - **Ingénieur analyse résultat activité V&V** : Analyse et rapporte les résultats des activités de V&V.
 - **Admin connaissance projet** : Est responsable de la gestion du référentiel d'expertises et de pratiques du commissioning.
 - **Projet INB**
 - **Directeur de projet** : Pilote le projet et en assume la responsabilité depuis la phase d'étude jusqu'à la réalisation.
 - **Responsable intégration** : Pilote les équipes en charge de l'intégration de l'INB.
 - **Chef de projet INB – Directeur de projet commissioning** : organise et conduit les différentes phases du projet de construction de l'INB.
 - **Responsable de lot** : Supervise la réalisation d'un ensemble de systèmes qui constituent un lot
 - **Architecte système** : Construit et développe les architectures de l'INB
 - **Ingénieur système** : Spécifie et conçoit les systèmes complexes qui composent l'INB
 - **Ingénieur de spécialité (mécanique, GC etc)** : Conseille sur la conception des activités de V&V au regard de son domaine d'expertise.
 - **Responsable qualité** : Conçoit et met en œuvre les procédures de suivi et de contrôle de la qualité.

- **Responsable sécurité** : Conçoit et met en œuvre les solutions permettant de protéger l'INB de tout événement susceptible de dégrader son état.
- **Responsable sureté** : S'assure de la sécurité des personnes et de la protection environnementale.

❖ **Niveau entreprise**

- **Responsable qualité** : Met en place et anime la politique qualité de l'entreprise
 - **Responsable sécurité** : Définit, supervise, dirige et coordonne les besoins et activités en sécurité de la société.
 - **Responsable sureté** : Définit, supervise, dirige et coordonne les besoins et activités en sûreté de la société.
 - **Responsable ressources humaines** : Dirige la stratégie de gestion du personnel et du développement des effectifs au sein d'une entreprise.
 - **Admin connaissances entreprise** : Est responsable de la gestion du référentiel d'expertises et de pratiques de l'entreprise.
- **Externe**
 - **Expert activité IVV** : Conseille et revoit la conception des activités de V&V.
 - **Exploitant INB** : Exploite l'INB (ex : EDF)
 - **Autorité de régulation** : S'assure du bon respect des exigences et autorise ou non la mise en service.

Au regard de cette liste de rôles, des modèles génériques peuvent être réalisés, à l'aide des DSML vus plus haut qui sont donc associés à ces rôles comme le montre le Tableau 5.

Tableau 5 associations DSML et Rôles de la démarche opératoire

DSML	Rôles
LifeCycleModellingDSML	Chef de projet (Commissioning et INB), Directeur de projet.
ContextModellingDSML	Chef de projet (Commissioning et INB), Directeur de projet, Admin connaissance (projet et entreprise).
DataSpecificationModellingDSML	Chef de projet (Commissioning et INB), Directeur de projet, Admin connaissance (projet et entreprise).
StructuralModellingDSML	Chef de projet (Commissioning et INB), Directeur de projet, Admin connaissance (projet et entreprise).
XBSModellingDSML	Tous les rôles
ProcessModellingDSML	Concepteur activité V&V, Chargé activités V&V, Responsable des activités V&V (par lot), Expert activité V&V (interne et externe), Responsable intégration, Responsable de lot, Responsable ressources humaines.
CAEFrameworkModellingDSML	Admin connaissance projet, Concepteur activité V&V, Ingénieur analyse résultat activité V&V, Ingénieur système, Expert activité IVV (interne et externe), Ingénieur de spécialité.

PlanningModellingDSML	Concepteur activité V&V, Chargé activités V&V, Responsable des activités V&V (par lot), Responsable intégration, Responsable de lot, Responsable ressources humaines, Ingénieur analyse résultat activité V&V.
-----------------------	--

Ces rôles peuvent aussi être spécifiés dans les diagrammes d'activités afin d'allouer à chaque activité un responsable. Un exemple de modèle présentant la démarche opératoire de réalisation d'un essai est présenté en Figure 24

La démarche opératoire projet décrit donc comment mettre en œuvre CoGuiNF dans un projet réel, elle manipule les concepts de SOI et de SUTD vus plus haut et couvre les deux phases de CDT et CRT. La méthode CoGuiNF étant basée sur une approche systémique pour le commissioning, la démarche opératoire projet s'inspire des préconisations de la norme 15288 [25] qui décrit et formalise les différents processus de conception et de réalisation d'un système complexe. Au sein du CDT on retrouve donc les grands processus techniques comme l'ingénierie des besoins ou encore l'ingénierie des exigences qui permettent de clairement spécifier les besoins des parties prenantes afin d'établir un espace des solutions potentielles de commissioning system. On retrouve à la suite de cela, les processus techniques qui correspondent à la réalisation du commissioning system, ce dernier constitué du commissioning SOI et du commissioning SUTD pourra lors du CRT réaliser sa mission et fournir les justifications nécessaires au transfert de responsabilité vers l'exploitant.

Ci-dessous, un découpage sous forme de briques permettant d'avoir une vision éclairée de l'approche systémique pour la conception et la réalisation du commissioning system (CS) est proposée. Pour chacune de ces briques nous présenterons les grandes activités ainsi que les rôles des acteurs métiers impliqués, ces derniers seront classifiés selon le modèle RACI qui est détaillé ci-dessous :

- R : responsable – Le ou les personnes « responsable » réalisent l'activité, il doit donc y avoir à minima au moins un rôle rattaché au R pour chaque action.
- A : accountable (on utilise aussi parfois le terme approuver) – La personne « accountable » est, comme son nom l'indique, celui qui doit rendre des comptes sur l'avancement de l'activité, il peut aussi prendre part à sa réalisation avec les R cependant il n'y a qu'un seul A par activité, ce dernier étant responsable de l'activité et de sa finalisation.
- C : consulted – Les personnes « consulted » doivent être consultées afin d'aider à la réalisation de l'activité.
- I : informed – Les personnes « informed » doivent être informées de l'avancement et de la réalisation de l'activité.

L'approche proposée pour la démarche opératoire projet se compose de cinq principales briques (macro-activités) : **Préparer**, **Exécuter**, **Compléter/Faire évoluer** et **Partager/Capitaliser**. Seul la brique **Préparer** est détaillée ci-dessous.

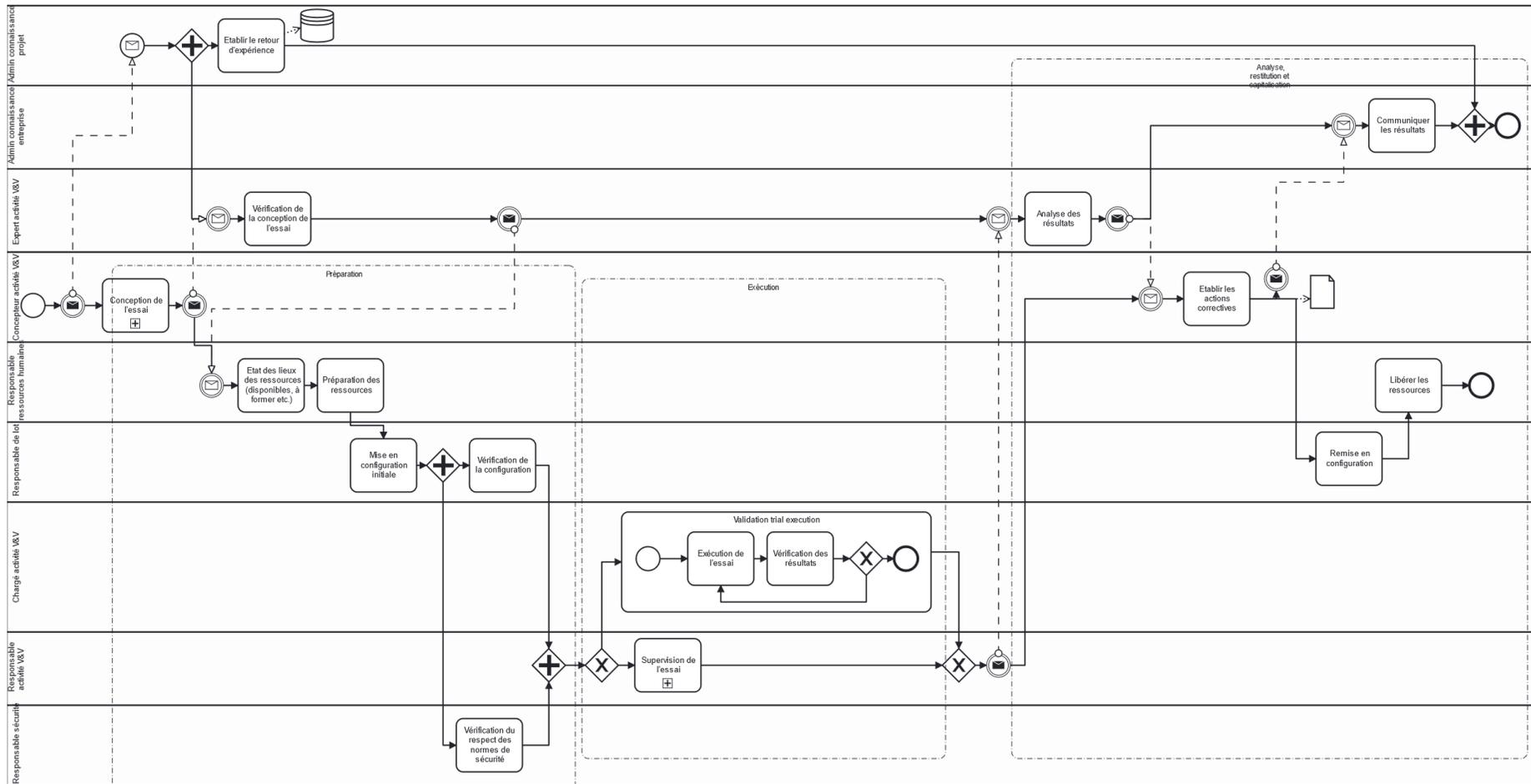


Figure 24 Modèle BPMN de la démarche opératoire de réalisation d'un essai

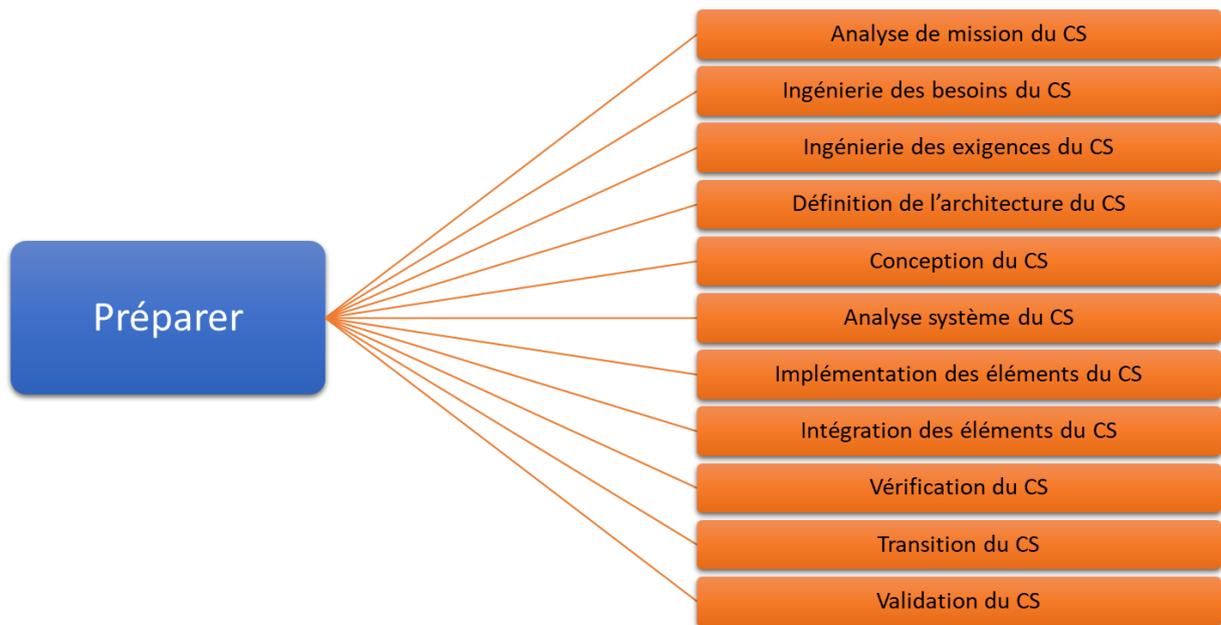


Figure 25 Macro-activité de préparation du commissioning

Pour chacun des processus encapsulés dans la macro-activité **Préparer** nous présenterons à l'aide du même format, la liste des activités et tâches, ces activités et tâches sont allouées aux différents rôles concernés à l'aide d'une matrice d'allocation qui sera présentée Figure 27 page suivante, cette matrice présente les liens d'allocations pour le premier processus d'analyse de mission du commissioning system. Ce processus est présenté ci-dessous Figure 26.

- **Analyse de mission du commissioning system :**



Figure 26 Activités et tâches de l'analyse de mission du commissioning system

Roles Taches	Chef de projet commissioning	Concepteur activité IVV	Chargé activité IVV	Responsable des activités IVV (par lot)	Expert activité IVV interne (entreprise)	Ingénieur Analyse résultat activité IVV	Responsable V&V Commissioning System (Architecture evaluator)	Admin connaissances projet	Directeur de projet (INB)	Responsable intégration	Chef de projet (INB) - Directeur de projet commissioning	Responsable de lot (INB)	Architecte système (INB)
	Roles projet commissioning								Roles pro				
	Interne projet												
1	A					C	R	R	C	C	R	C	C
2	A					C	R	R	C	C	R	C	C
3	A					C	R	R	C	C	R	C	C
4	A					C	R	R	C	C	R	C	C
5	A					C	R	R	C	C	R	C	C
6	A	R				C	R	R	C	C	R	C	C
7	A	R			C	C	R	R	C	C	R	C	C
8	A	R			C	C	R	R	C	C	R	C	C
9	A	R			C	C	R	R	C	C	R	C	C
10	A							R					
11	A							R					

Figure 27 matrice d'allocation des rôles pour l'analyse de mission

Roles Taches	Architecte système (INB)	Ingénieur système (INB)	Ingénieur de spécialité (mécanique; GC etc.)	Responsable qualité (INB)	Responsable sécurité (INB)	Responsable sûreté (INB)	Responsable qualité (Entreprise)	Responsable sécurité (Entreprise)	Responsable sûreté (Entreprise)	Responsable RH (Entreprise)	Admin connaissances entreprise	Expert activité IVV externe (partenaire)	Exploitant INB	Autorité de régulation (ASN)
	Roles projet INB						Roles entreprise					Roles externes		
Externe projet														
1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	R			I
2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	R			I
3	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	R			I
4	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	R			I
5	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	R			I
6	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	R			I
7	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	R	C		I
8	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	R	C		I
9	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	R	C		I
10											R			I
11											R		C	C

• **Ingénierie des besoins du commissioning system :**

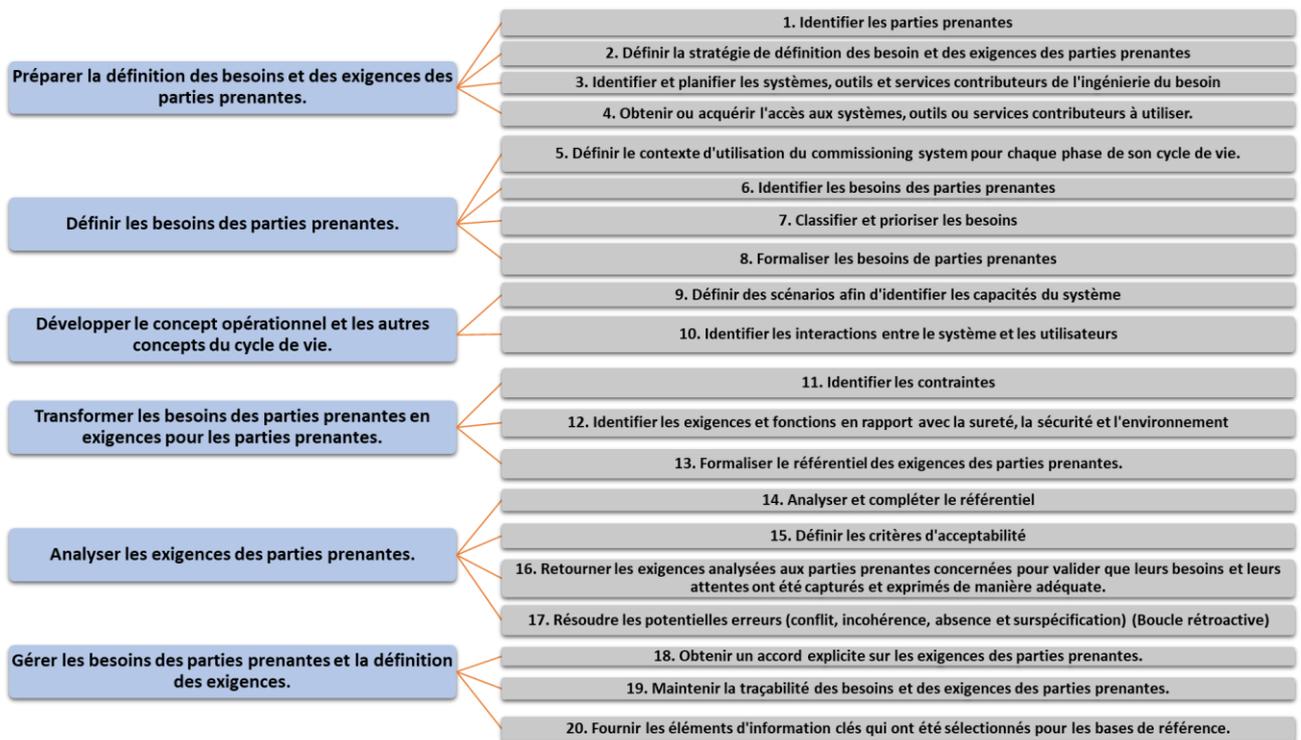


Figure 28 Activités et tâches de l'ingénierie des besoins du commissioning system :

• **Ingénierie des exigences du commissioning system :**

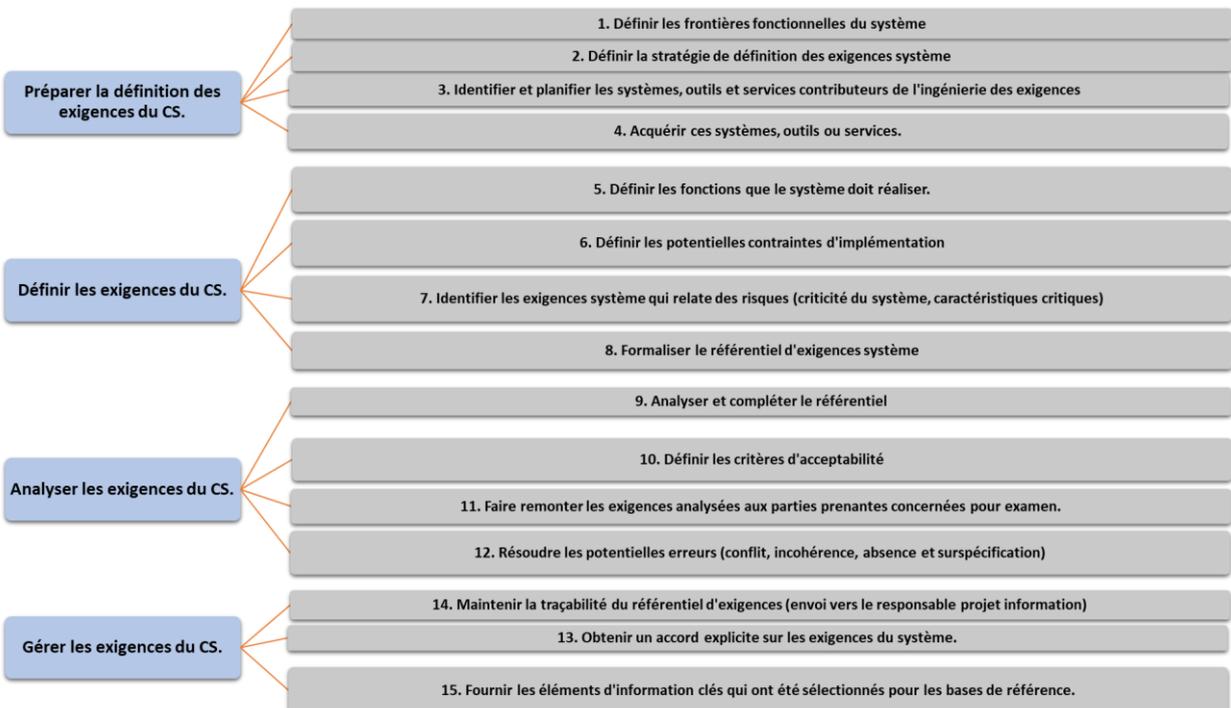


Figure 29 Activités et tâches de l'ingénierie des exigences du commissioning system

- Définition de l'architecture du commissioning system :

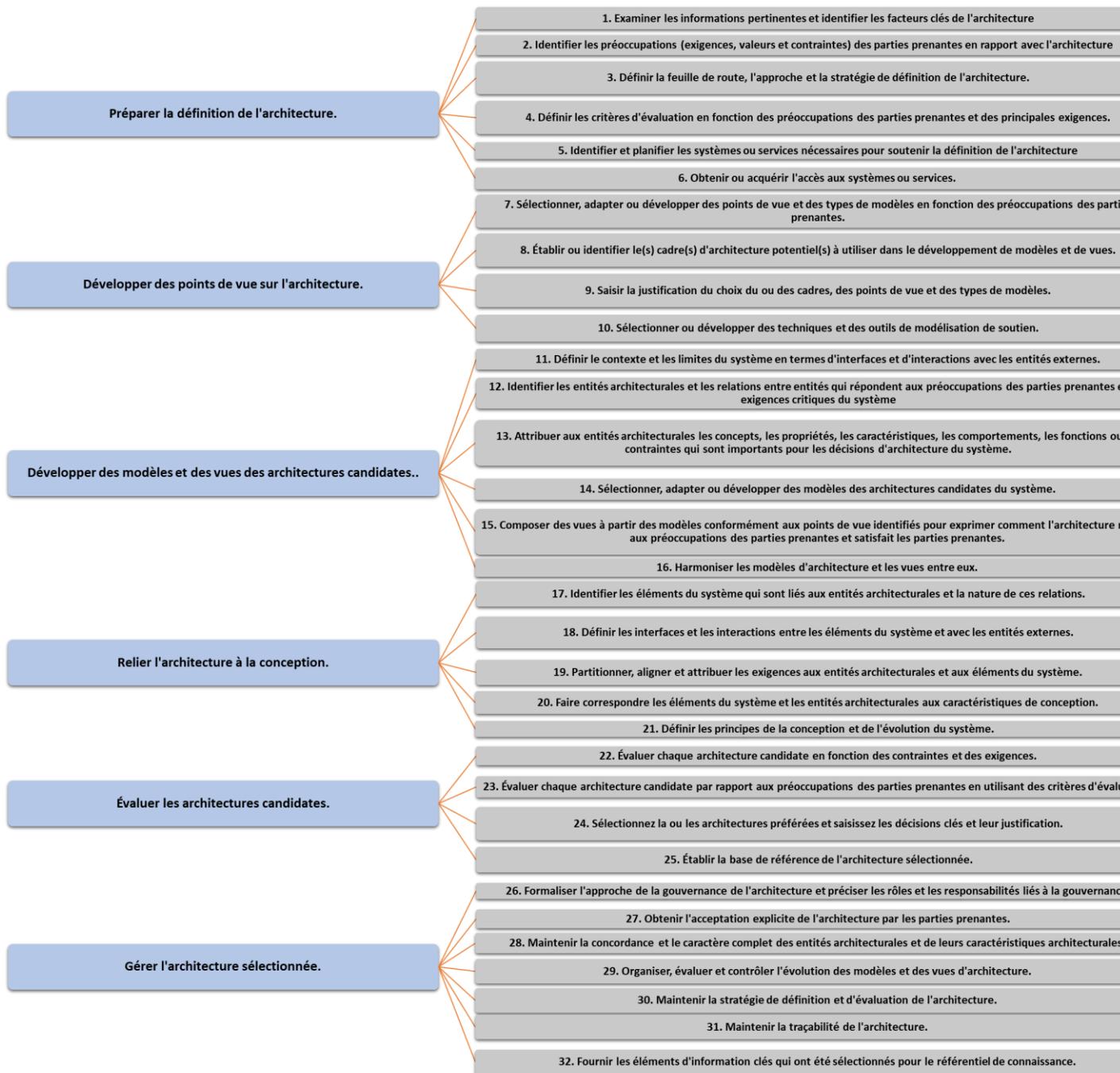


Figure 30 Activités et tâches de la définition de l'architecture du commissioning system

- **Conception du commissioning system :**



Figure 31 Activités et tâches de la conception du commissioning system

- **Analyse système du commissioning system :**

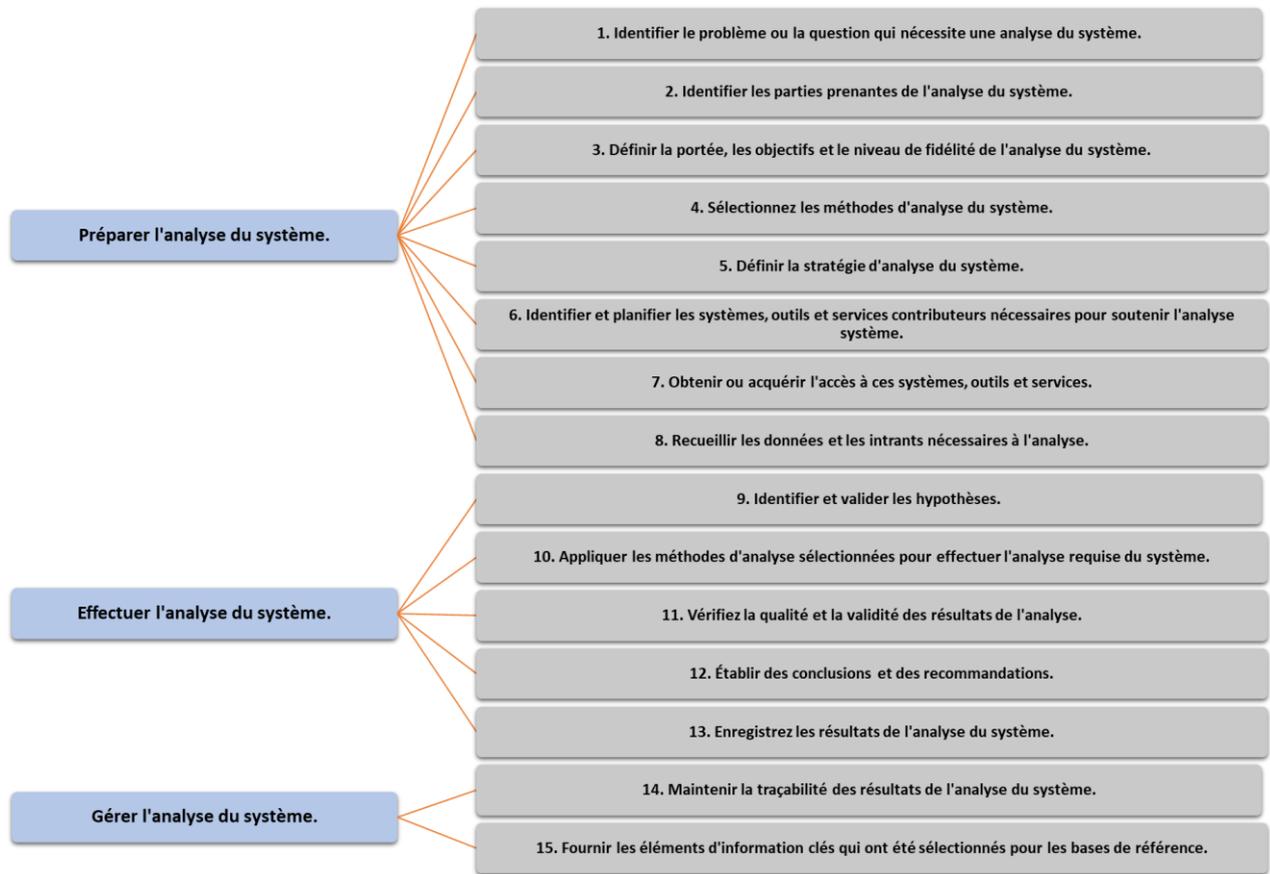


Figure 32 Activités et tâches de l'analyse système du commissioning system

- **Implémentation du commissioning system :**

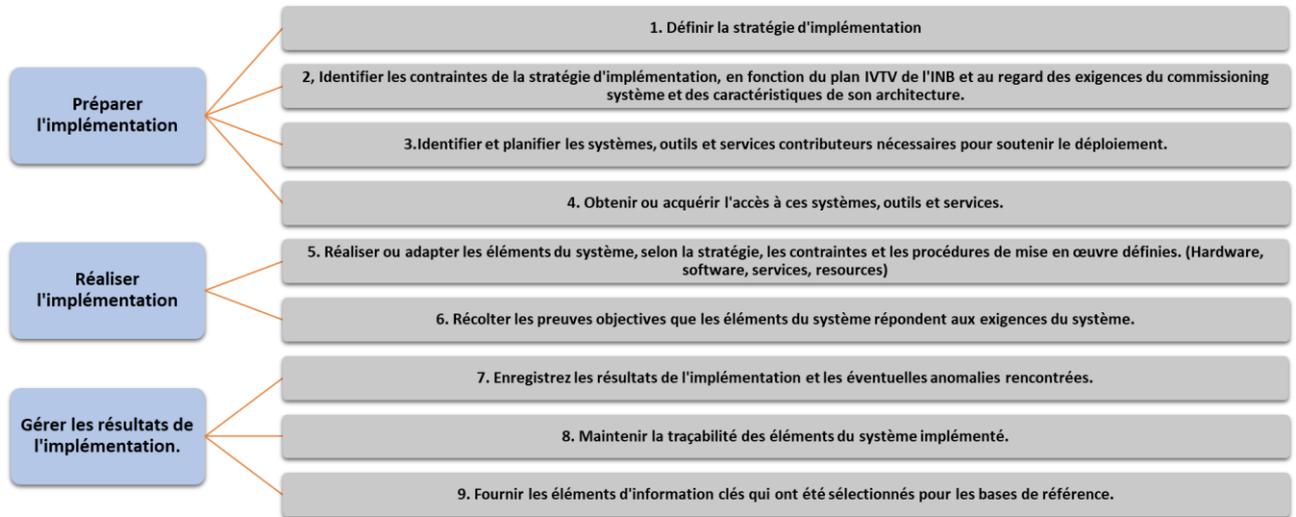


Figure 33 Activités et tâches de l'implémentation du commissioning system

- **Intégration du commissioning system :**

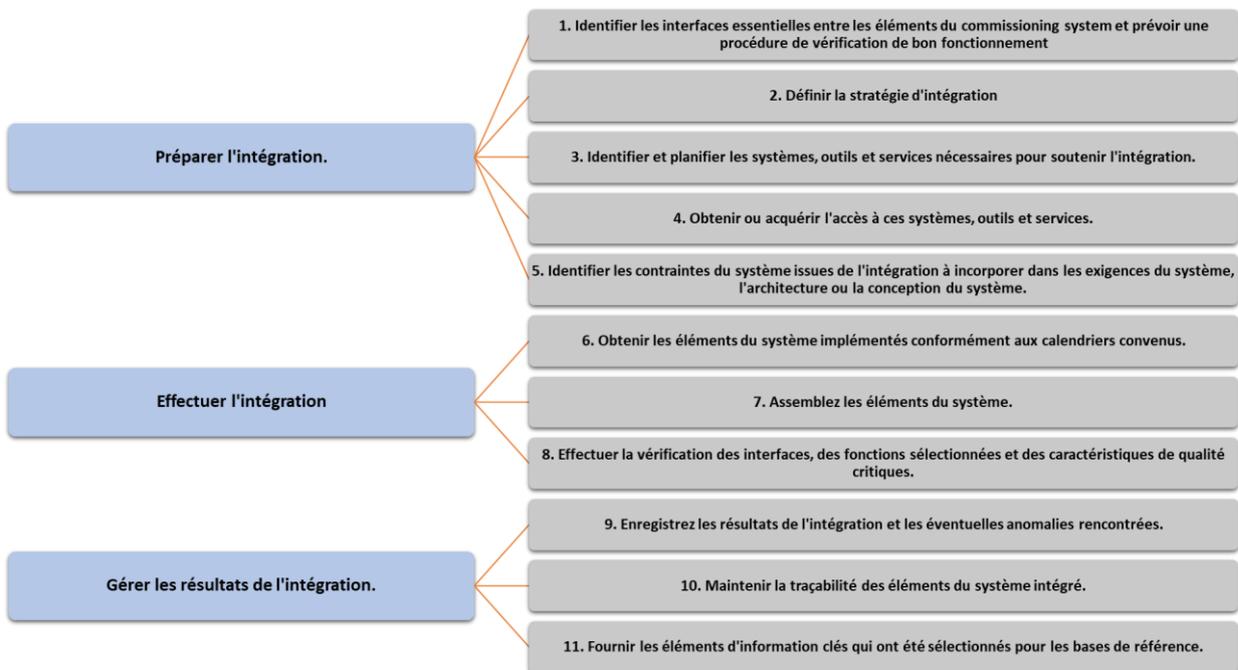


Figure 34 Activités et tâches de l'intégration du commissioning system

- **Vérification du commissioning system :**

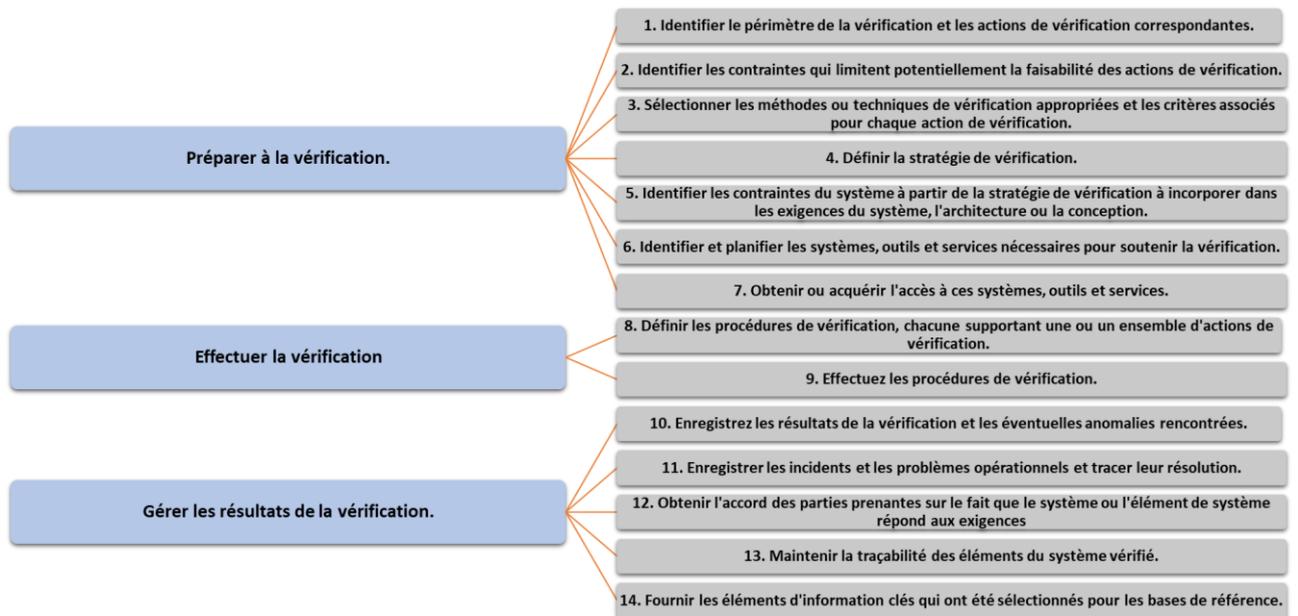


Figure 35 Activités et tâches de la vérification du commissioning system

- **Transition du commissioning system (sur site) :**

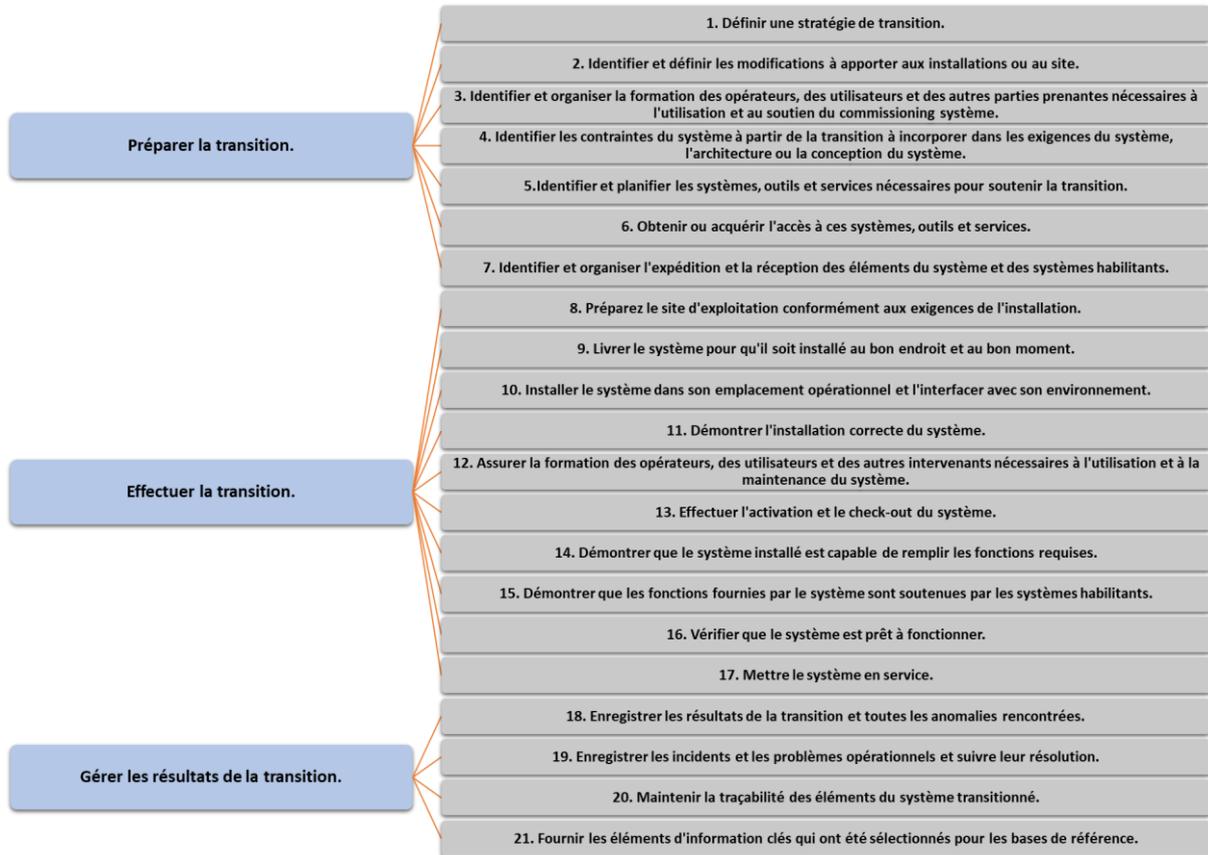


Figure 36 Activités et tâches de la transition du commissioning system

- **Validation du commissioning system :**

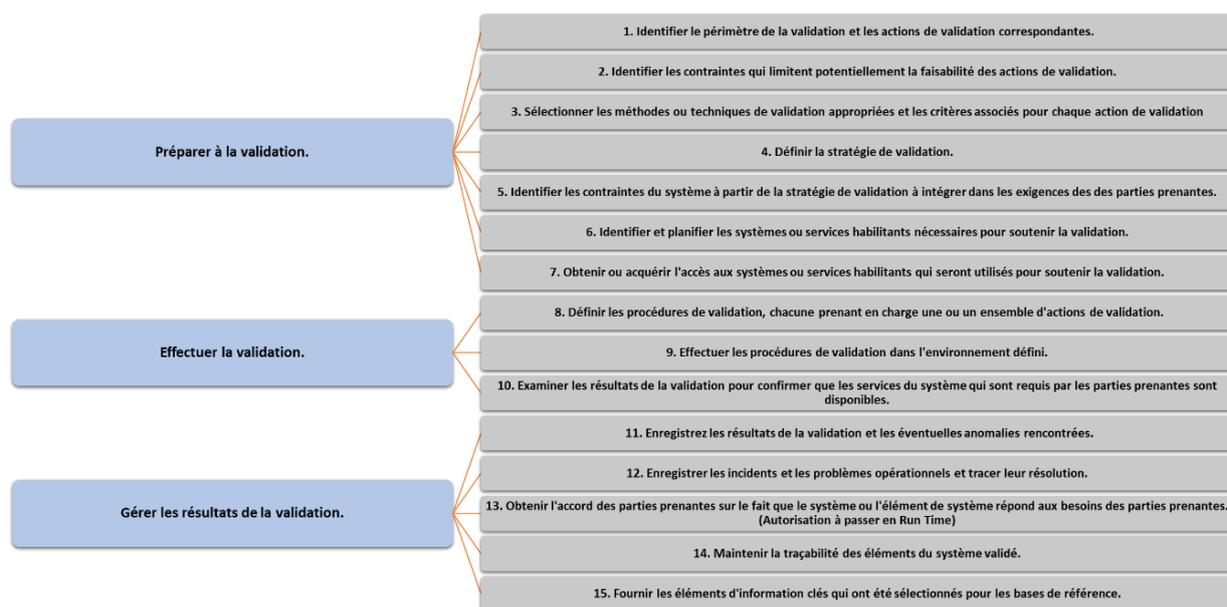


Figure 37 Activités et tâches de la validation du commissioning system

- Exploiter l'environnement MBSE

L'utilisation des modèles pour mener à bien un projet de commissioning présente de nombreux avantages, comme discuté dans le chapitre 2 l'utilisation de documents comme support principal d'informations demande un travail chronophage d'analyse et de rédaction qui génère des retards et des erreurs. L'utilisation des modèles et d'un environnement MBSE permet de pallier ces complexités via l'échange et l'analyse d'informations sur la base de modèles plutôt que de documents. Les modèles sont simulables, destructibles et surtout basés sur un langage de modélisation spécifique. Ces langages sont bien définis au regard des objectifs de modélisation et par conséquent facilitent la compréhension, évitent les ambiguïtés d'interprétation ou encore facilitent l'export et la manipulation des données. L'hypothèse d'un environnement MBSE demande cependant un très gros investissement de la part de l'entreprise en termes de conduite du changement, il est donc pertinent d'envisager dans un premier temps une phase de transition durant laquelle les projets utiliseraient de manière progressive les modèles comme support d'information.

4e - VI.2 Niveau entreprise

- Déploiement de la méthode au sein de l'entreprise

Avant d'envisager la mise en œuvre de la méthode CoGuiNF sur un projet concret, il est primordial de sensibiliser les collaborateurs aux différents concepts que cette méthode introduit, de créer une réelle culture du commissioning. Il faut de même préparer l'organisation à cette culture et, entre autres, organiser et gérer dans le temps l'amélioration continue de la méthode, par exemple, au travers des retours d'expériences de mise en œuvre dans le cadre de projets concrets. Il est aussi nécessaire de mettre en place l'environnement outillé qui supporte la méthode ainsi que de former les collaborateurs à l'utilisation de ces outils. Ce déploiement de la méthode au sein de l'entreprise peut donc se décomposer en quatre grandes étapes que l'on présente ci-dessous, elles peuvent être illustrées en BPMN comme on le verra pour la sensibilisation et la formation des collaborateurs.

- Sensibilisation des collaborateurs

Le déploiement de la méthode au sein de l'entreprise nécessite de sensibiliser les collaborateurs de l'entreprise aux différents concepts manipulés. Dans un premier temps, une définition claire du commissioning se doit d'être partagée par les collaborateurs. Dans un second temps les concepts préliminaires qui concernent l'ingénierie système et le MBSE dans leur globalité se doivent d'être acquis à l'aide de potentielles formations. Après cela la méthode CoGuiNF sera introduite afin de sensibiliser ces derniers à son utilité. Il n'est pour le moment ici pas question de formation, cette sensibilisation peut donc se faire simplement à l'aide de diffusion d'information structurées dans de la documentation ou même à l'aide de modèles. La Figure 38 ci-dessous illustre cette sensibilisation, on y retrouve notamment les rôles qui sont concernés par cette activité.

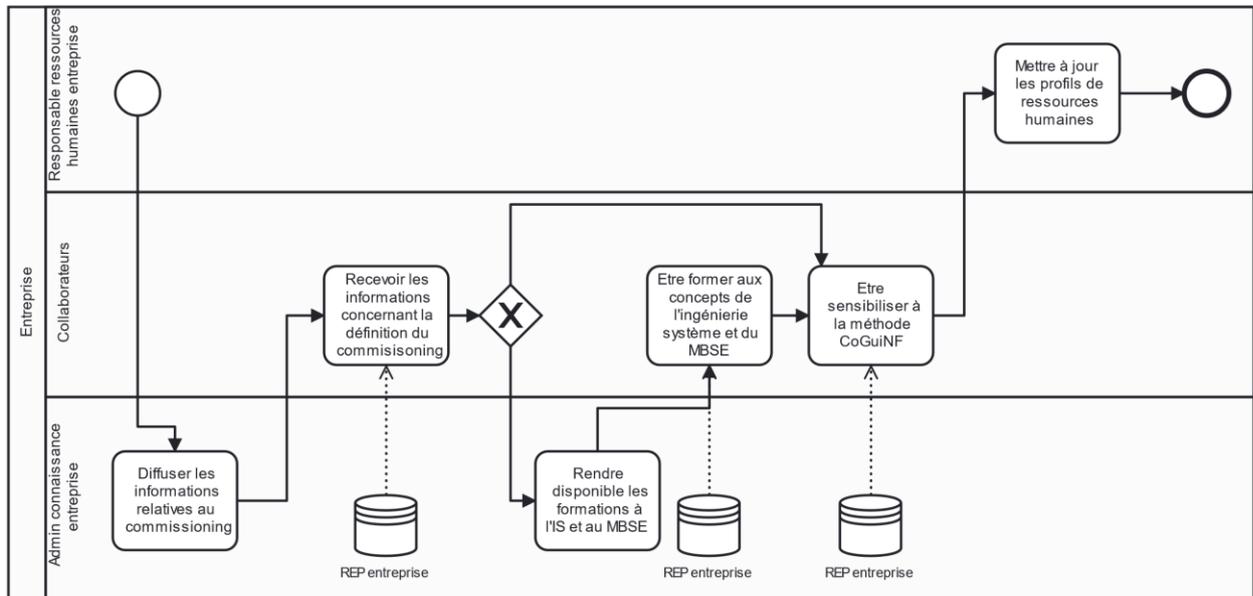


Figure 38 Diagramme BPMN de sensibilisation des collaborateurs

- Formation des collaborateurs à la méthode

Afin de s'assurer que chaque collaborateur reçoit une formation adaptée à ses activités, les différentes formations se feront en tenant compte des rôles et des missions de chacun d'entre eux. Une telle approche demande toutefois d'effectuer une évaluation préalable et un état des lieux des besoins en formation pour chaque poste. À la suite de cela, les formations seront délivrées et présenteront aux collaborateurs les concepts qu'ils auront à manipuler durant leurs activités. Après cette formation générale, une formation plus concrète à l'utilisation des outils qui supportent la méthode CoGuiNF sera délivrée. Pour finir il faudra s'assurer que les collaborateurs sont en mesure d'utiliser la méthode de manière efficace et avec une certaine autonomie. L'entraînement sur des cas tests et l'étude des résultats permettra de vérifier cela mais aussi d'envisager l'amélioration continue de ces formations. La Figure 39 ci-dessous illustre cette activité de formation.

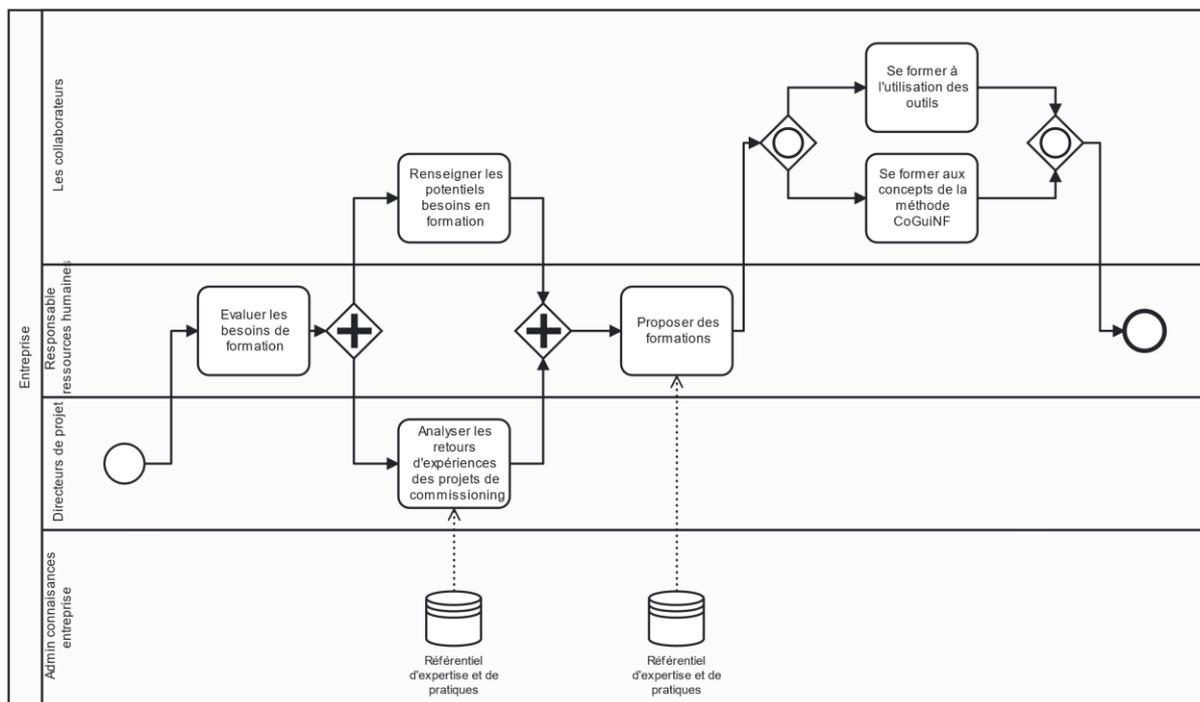


Figure 39 Diagramme BPMN de formation des collaborateurs

- Définition, mise en place et maintenance de l'environnement outillé dans sa globalité

La mise en place de l'environnement outillé concerne deux principales activités. Dans un premier temps il est nécessaire de faire l'état des lieux des outils numériques disponibles au sein de l'entreprise afin d'avoir connaissance des diverses activités de modélisation déjà disponibles. A la suite de ce constat, une liste d'outils ou d'extension d'outils existants sera clairement spécifiée, et ces nouveaux outils seront déployés au sein de l'environnement numérique existant en portant une attention particulière aux différentes interfaces nécessaires à l'utilisation collaborative de l'ensemble de ces outils.

- Définition et mise en place du REP.

Le choix de la place du commissioning au sein du système d'information de l'entreprise est primordial. Un système d'information est un ensemble de ressources et de dispositifs permettant de collecter, stocker, traiter et diffuser les informations nécessaires au fonctionnement de l'organisation, ce dernier peut prendre des formes diverses selon les technologies utilisées par l'entreprise, il est toutefois important de clairement définir l'emplacement des informations qui concernent le commissioning au sein de ce système. Une telle activité permet de fluidifier la recherche des informations, de s'assurer de la bonne traçabilité de ces dernières, mais aussi et surtout de s'assurer que ces informations générées lors des projets de commissioning constituent à elles seules une culture partagée par l'ensemble des collaborateurs concernés. Il s'agit donc de spécifier et de définir un référentiel d'expertise et de pratiques au sein même du système d'information de l'entreprise.

- Amélioration continue

L'amélioration continue se caractérise par un processus bien défini, ce dernier s'initie par une proposition d'amélioration, il est donc d'une importance primordiale que les collaborateurs soient en mesure et même encouragés à proposer des améliorations. Ces propositions seront par la suite analysées par une entité compétente dont le rôle bien défini sera rempli par les collaborateurs experts

dans le domaine, qu'il s'agisse du commissioning ou de la modélisation si la contribution s'avère reposer sur des modèles. Après analyse, ces contributions se verront (dans le cas où elles sont vérifiées et validées) intégrées au référentiel d'expertises et de pratiques ou encore adoptées comme solution techniques (e.g. amélioration de l'environnement outillé). Ces contributions peuvent donc concerner les différents niveaux de la méthode et cela démontre (lorsque l'amélioration concerne un niveau général) que la mise en œuvre de ces améliorations peut nécessiter une conduite du changement. Ces différents niveaux sont caractérisés par les grands éléments de la méthode, en effet on retrouve :

- Enrichissement et amélioration des concepts.
- Enrichissement et amélioration des DSML.
- Enrichissement et amélioration de la démarche opératoire.
- Enrichissement et amélioration de l'environnement outillé (maintenance, versionning etc).
- Enrichissement et amélioration du système d'information (patrons, modèles etc).

4e - VII. Outils

Les outils supportent la démarche opératoire, ils permettent la modélisation à l'aide des langages (DSML) établis, aux bons moments et pour les bons utilisateurs. Ils forment de fait un environnement outillé en mesure de réaliser de nombreuses actions que cette démarche opératoire préconise telles que :

- Modéliser
- Visualiser
- Valider
- Vérifier
- Optimiser
- Piloter
- Simuler
- Partager

Il existe aujourd'hui de nombreux outils qui peuvent être utilisés pour réaliser ces tâches et les entreprises peuvent s'avérer rigides à l'idée de modifier leur environnement numérique. Ainsi la méthode se doit d'être implémentable par tout environnement numérique en mesure de les réaliser. Nous pouvons toutefois nous intéresser à la pertinence qu'aurait la centralisation de toutes ces tâches au sein d'un seul et même outil, supprimant de facto les nombreuses interfaces et processus d'exportation/importation de données susceptibles de générer des pertes d'informations ou des retards. De fait il était intéressant de se tourner vers les outils qui offrent une certaine flexibilité dans leur utilisation.

Capella est une solution MBSE open-source développée par Obeo. Elle fournit une démarche opératoire outillée (Arcadia) permettant la modélisation graphique d'architectures système, logicielle ou matérielle. L'outil dispose de son propre méta-modèle, qui définit les concepts que l'utilisateur peut manipuler à travers un projet. L'utilisateur peut aussi visualiser les modèles sous différents aspects, selon différentes préoccupations, à travers différents diagrammes. La flexibilité de cet outil et le contexte industriel dans lequel s'est déroulé la thèse ont fortement encouragé au choix de Capella pour mener les travaux de recherche.

La modélisation des processus n'étant toutefois pas une tâche directement disponible sur Capella, un autre outil s'est donc avéré d'une utilité primordiale, notamment dans la formalisation et le déploiement de la démarche opératoire, il s'agit de BPMN.io. Comme son nom le laisse

transparente, cet outil est utilisé afin de modéliser des processus à partir du langage BPMN. Il existe donc de nombreux outils permettant de supporter la méthode CoGuiNF dans sa globalité, toutefois et comme discuté précédemment, il est préférable d'imaginer la méthode supportée par un seul et unique outil, l'utilisation de nombreux outils étant une source d'erreurs du fait des processus nécessaires à leur interfaçage.

Les travaux présentés ci-après ont donc été menés avec pour objectifs de spécifier puis de développer une extension qui soutiendrait CoGuiNF en parallèle de la méthode Arcadia, permettant à l'équipe en charge de construire toute la stratégie du commissioning en lien avec les nombreux modèles de l'INB. Ces travaux ont été menés en partenariat avec les équipes de développement de Assystem et les doctorants de la chaire CIME. Pour se faire les travaux de développements ont été abordés sous trois grands axes :

- Importation des concepts
- Développement de l'interface homme machine permettant la réalisation des diagrammes.
- Mise en lumière de la démarche opératoire : Nouvelles sections et nouvelles activités de modélisation proposées

On retrouve dans cette implémentation les trois premiers éléments de la méthode CoGuiNF, ainsi tous les concepts qui découlent du domaine sont pris en compte ici et la modélisation du commissioning system est rendu possible à l'aide des diagrammes. Cette modélisation sera réalisée en parallèle de la modélisation de l'INB sur Capella, ainsi les liens qui peuvent exister entre les différents systèmes seront représentés.

4e - VII.1 Importation de concepts

Afin d'être en mesure de manipuler et de lier les concepts qui découlent du commissioning, ces derniers ont été importés dans Capella à partir du méta modèle de CoGuiNF. Tous les concepts ont été encapsulés au sein d'une classe mère nommée « CoGuiNF System Block », ainsi l'importation des concepts au sein de Capella à l'aide de Capella Studio a simplement nécessité l'importation de cette classe mère. De fait il est maintenant possible de créer des objets tel que le commissioning system lui-même au sein d'un projet Capella. Il a cependant été nécessaire d'établir les liens et similarités qui existent entre les concepts de CoGuiNF et ceux déjà existants dans Capella. En effet comme discuté précédemment, l'objectif est de soutenir CoGuiNF en parallèle de Arcadia, afin que les objets qui concernent l'INB puissent aider à la conception et la modélisation du Commissioning System, de plus certains concepts inhérents à la méthode CoGuiNF existent déjà au sein du méta modèle de Capella et il est donc nécessaire de spécifier ces similarités afin que leur manipulation ne génère pas d'ambiguïtés.

4e - VII.2 Diagrammes

Les différentes représentations du modèle, rendues possibles grâce aux différents DSML présentés, prennent pour la plupart la forme de diagrammes ou de matrices. Ces diagrammes nécessitent la définition d'un éditeur, qui rend possible l'instanciation des concepts et leur représentation graphique. Ces représentations graphiques ont donc été définies et les diagrammes tels que le Context Diagram peuvent être réalisés à l'aide de l'extension.

4e - VII.3 Démarche opératoire

La démarche opératoire concerne ici les activités de modélisations préconisées par CoGuiNF. Au sein de l'outil cette démarche opératoire se retrouve donc dans l'agencement de différentes sections et activités. Dans un premier temps on y retrouve donc les grandes sections telles que la **Préparation** du commissioning, son **Exécution** et la **Capitalisation** qui permet l'amélioration continue de la méthode.

Dans un second temps viennent s'ajouter au sein de ces sections les activités de modélisation qui permettent la définition et la conception du commissioning system. Par exemple l'activité qui concerne la définition de l'environnement du commissioning system, ainsi que les services échangés entre le commissioning system et les systèmes qui constituent son environnement est supportée par la réalisation d'un Context Diagram. En résumé, on retrouve au sein de cette démarche opératoire les grandes activités de modélisation qui permettent de mener à bien la conception du commissioning system et des activités qu'il aura à réaliser. Cette démarche opératoire de modélisation est intégrée à l'outil concerne donc principalement le Design Time et ces activités de modélisation seront principalement endossées par les équipes du SUTD.

4e - VIII. Référentiel d'Expertises et de Pratiques (REP)

Le REP est un élément central de la méthode, il représente la mémoire et le savoir-faire à la fois conceptuel, organisationnel et technique de l'entreprise autour de la méthode CoGuiNF. Il rassemble l'ensemble des données, informations et connaissances dont on peut disposer sur les processus, activités, modèles, résultats, et les solutions éprouvées à des problématiques rencontrées lors de précédents projets. On y retrouve aussi les principes, règles, conseils, etc. qui permettent de mener à bien un projet ou de déployer la méthode plus avant. L'objectif reste de gagner en temps et en fiabilité lors de la conception et de l'exécution de commissioning system sur des projets réels ou dans le cadre de formations par exemple pour sensibiliser les collaborateurs à la méthode.

La nature même de cette méthode étant d'être basée modèles, les éléments les plus importants du référentiel de connaissances sont les patrons et les modèles de référence.

Un **modèle de référence** est le point de départ de tout projet de commissioning - un modèle qui a quelque chose en commun avec la solution souhaitée. Les modèles de référence établissent, par nature, une représentation générique d'un processus ou d'une architecture dans un domaine particulier. Ils peuvent être étendus ou modifiés pour répondre à des besoins spécifiques, par exemple en aidant à constituer l'équipe projet, l'architecture et les liens entre chaque profil pouvant être défini en avance de phase et souvent propre à la culture de l'entreprise.

Un **patron** est un ensemble de modèles et d'informations associées qui décrit une solution éprouvée à un problème dans un contexte bien précis. Un Design Pattern (DP) permet par exemple aux ingénieurs et aux architectes d'associer un type de problème à une solution potentielle qui a déjà été testée et validée et qui peut donc être réutilisée plus ou moins partiellement. L'objectif est donc d'aider les acteurs en mettant en lumière ces solutions potentielles. Un DP peut se concentrer, par exemple, sur la rédaction d'exigences (ex : boiler plates [36]), sur des éléments d'architecture fonctionnelle, logique ou physique de la solution. De même, un patron d'évaluation contient l'approche mise en œuvre, les critères d'évaluation d'intérêt, les méthodes utilisées, les typologies d'acteurs, etc. en relation avec une problématique (objectifs d'évaluation, préoccupations jugées pertinentes ou nature du système à évaluer). Appliquée dans le cadre du MBSE, elle vise donc à améliorer l'efficacité de l'ingénierie en représentant les expériences passées, les connaissances et le savoir-faire, c'est-à-dire la culture de l'entreprise. Les patrons sont, en fait, un levier permettant aux ingénieurs de résoudre des problèmes de manière plus rapide et plus fiable en s'inspirant et/ou en personnalisant les informations qui y sont encapsulées. Enfin, par définition, un patron entretient un certain nombre de relations avec tous les autres patrons, rendant ainsi leur utilisation plus efficace et pertinente.

La Figure 40 présente les concepts essentiels en termes de données, informations et connaissances et de leur contenu potentiel qui sont ici nécessaires pour le REP de la méthode CoGuiNF. La Figure 41 formalise l'ensemble des concepts qui décrivent le REP.

4e - IX. Conclusion

La méthode CoGuiNF présentée dans ce chapitre permet donc de supporter les équipes en charge du commissioning d'INB. Le contexte industriel de ces travaux de recherches a permis de déployer partiellement la méthode sur des projets concrets afin d'en vérifier et valider les éléments. Le Chapitre suivant présente donc le déploiement de la méthode sur divers projets.

Chapitre 5e Illustrations

5e - I. Introduction au Chapitre

Ce chapitre a pour objectif d'illustrer la méthode CoGuiNF via divers cas d'applications. Au sein d'Assystem, différents projets ont en effet permis de vérifier et de valider certains des éléments de la méthode mais aussi d'identifier les différents concepts qui ont permis la conception du méta modèle de CoGuiNF. On retrouve, par exemple, l'identification des données d'entrées des activités de commissioning (e.g. référentiel d'exigences, architecture fonctionnelle, etc.), la consolidation de la démarche opératoire ou encore la démonstration de l'intérêt que confèrent les principes mêmes de l'approche MBSE à la méthode.

Les projets présentés ci-après nous permettent de fait de fixer quelques-uns des avantages que présente la mise en œuvre de CoGuiNF sur de tels projets. Elle a été développée de manière à rester générique et donc déployable indépendamment du type d'INB et du projet donné. Pour autant la validation globale de la méthode CoGuiNF nécessiterait son déploiement complet sur un projet d'ingénierie dès son démarrage.

La méthode a été déployée pour cela sur des périmètres spécifiques au sein de trois projets :

- Projet MOLFI – Le déploiement de la méthode CoGuiNF sur ce périmètre a permis ici d'étudier l'impact de la modélisation sur la conception du programme général d'essais à mener pour le commissioning du système MOLFI ;
- Projet HPC – Le déploiement de la méthode CoGuiNF sur ce périmètre a permis ici d'étudier la modélisation du système d'information projet et des activités à réaliser pour le commissioning de HPC ;
- Projet ITER - Le déploiement de la méthode CoGuiNF sur ce périmètre a permis ici de mener une étude comparative des méthodes de travail (basée document et basée modèle) pour mener à bien le commissioning d'un bâtiment de service sur le site de ITER.

Ce chapitre présente succinctement chacun de ces trois projets et présente le contexte de mise en œuvre partielle de la méthode CoGuiNF ainsi que les hypothèses limitatives nécessaires pour cette mise en œuvre. Dans chaque cas, les éléments de CoGuiNF mis en place et leur manipulation sont détaillés. Ces éléments de méthode et leur déclinaison peuvent de fait être identifiés en se focalisant sur trois questions :

- Quels éléments de la méthode sont analysés, vérifiés et validés au sein du projet ?
 - Concepts ;
 - Langages ;
 - Démarche opératoire ;
 - Outils ;
 - Référentiel d'Expertise et de Pratiques.
- Dans quelle mesure le projet concerne-t-il le Design time ou le Run time du commissioning system ?
- Dans quelle mesure le projet concerne-t-il le SOI ou le SUTD du commissioning system ?

Une analyse et une discussion autour de ces résultats permet enfin de tirer des conclusions préliminaires quant au déploiement de CoGuiNF, aux gains espérés ou constatés sur ces projets ainsi que sur les perspectives d'amélioration qui seront reprises et synthétisées en conclusion de ce manuscrit.

5e - II. Projet MOLFI

5e - II.1 Contexte et hypothèses simplificatrices

Le dispositif MOLFI (MOLybdène de Fission) est un dispositif d'irradiation de cibles enrichies en Uranium 235 (^{235}U), disposées en réflecteur du Réacteur Jules Horowitz. Ce réacteur est actuellement en construction sur le site du CEA Cadarache. La mission du dispositif est de produire du molybdène 99 (^{99}Mo) utilisé en particulier dans le secteur radio pharmaceutique.

L'objectif du projet a été d'étudier l'impact qu'avait le MBSE sur le commissioning de cette installation et plus particulièrement sur l'élaboration des essais à mener. La conception et la vérification du programme général d'essais (PGE) ont donc été menées à l'aide de deux approches distinctes. La première est classiquement basée sur l'étude documentaire du référentiel d'exigences, des notes techniques ou encore de l'arborescence produit du système. La deuxième est une déclinaison de la méthode CoGuiNF sur le périmètre de ce projet. Cette dernière a été menée à partir de l'étude de modèles descriptifs de l'installation. Une comparaison des résultats de ces deux approches a permis d'identifier les erreurs et oublis sur chacune d'elles et de faire émerger les gains potentiels que CoGuiNF autorise.

L'outil utilisé sur ce projet est Capella pour la déclinaison opérationnelle, il a permis la réalisation et l'analyse des modèles du système mais aussi la réalisation de certains diagrammes qui seront voués à être réalisés à terme avec l'outil support de CoGuiNF en cours de développement. Le choix de l'outil a été fait à partir de l'environnement numérique de l'entreprise Assystem. Son utilisation a légèrement contraint la modélisation, cette dernière étant de fait basée sur le méta modèle de l'outil Capella. Cela n'a cependant pas empêché d'étudier l'impact qu'avait l'utilisation extensive de modèles sur l'élaboration des essais et donc, plus précisément ici, d'un PGE. Cette première mise en œuvre avec Capella a ainsi notamment permis de mieux cerner et préciser les outillages support attendus pour CoGuiNF.

Nous disposons donc sur ce projet de deux différents types de modèles : ceux identifiés comme des données d'entrées du commissioning et ceux qui concernent la modélisation du commissioning system et de ses activités.

Le projet s'est déroulé en coordination avec l'équipe d'Assystem responsable du commissioning du système MOLFI, en étroite collaboration avec les équipes du Commissariat à l'Energie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA²). Nous avons pu déployer chacune des deux approches de travail décrites plus haut en impliquant les équipes lors de réunions collaboratives. La conception du PGE se faisait à travers l'étude des modèles du système MOLFI. Une réflexion sur la modélisation même du PGE a ensuite été menée. A cet instant du projet, différents constats et problèmes essentiels ont d'ores et déjà été identifiés :

- La conception des essais est une tâche chronophage ;
- La traçabilité des informations permettant cette conception est mal assurée ;
- L'exhaustivité des activités de V&V au regard des caractéristiques à vérifier (interfaces, fonctions, composants) n'est pas traçable facilement.

Au regard de ces problèmes, des besoins méthodologiques et techniques ainsi que des perspectives de solutions peuvent être mis en lumière comme suit.

Besoins méthodologiques et techniques :

- Améliorer la réflexion autour de la conception des essais en favorisant le travail collaboratif autour de l'analyse des modèles du système d'intérêt ;
- Être en mesure de vérifier l'exhaustivité des essais au regard des informations qui permettent leur conception ;
- Assurer la traçabilité des informations qui permettent la conception des essais (interfaces, exigences, composants etc.) ;

Perspectives de solutions :

- Travailler dans un environnement outillé qui permet la collaboration des parties prenantes dans la conception des essais ;
- Modéliser les essais et faciliter le partage et les échanges entre les personnes impliquées dans leur conception ;
- Allouer les caractéristiques du système qui doivent être vérifiées aux essais concernés afin de vérifier leur exhaustivité.

Au regard de ces besoins et perspectives de solutions nous pouvons spécifier les objectifs du projet.

Objectifs de cette mise en œuvre CoGuiNF / MOLFI :

- Supporter la conception des essais à l'aide des modèles ;
- Assurer une meilleure traçabilité des informations (interfaces, composants, fonctions) afin de s'assurer de l'exhaustivité du PGE ;
- Modéliser les activités et mettre en évidence les caractéristiques du système qui sont vérifiées.

Il est important de rappeler que la méthode CoGuiNF vise à être déployé au sein d'un environnement MBSE. Il a donc été nécessaire dans un premier temps de réaliser les modèles du système d'intérêt MOLFI. Les diagrammes Capella utilisés dans ce projet peuvent donc être classés en deux catégories, les diagrammes qui sont hors périmètre de la méthode CoGuiNF mais qui sont nécessaires à son déploiement et les diagrammes qui sont dans le périmètre et donc voués à être réalisés à terme à l'aide de l'outil dédié. Ces diagrammes et leur objectif principal sont :

- **Diagrammes réalisés avec Capella (hors périmètre Coguinf) :**
 - Operational Entity Breakdown Diagram (OEBD) – Cartographier les différentes parties prenantes du projet
 - System Architecture Blank (SAB) – Identifier les services échangés entre le système et l'environnement (parties prenantes, systèmes externes)
 - Logical Architecture Blank (LAB) – Cartographier les sous-systèmes qui composent le système d'intérêt et mettre en évidence les fonctions remplies par ces derniers ainsi que les différentes interfaces (internes et externes)
- **Diagrammes dans le périmètre de CoGuiNF :**
 - Logical Functional Chain Description (LFCD) – Décrire l'enchaînement de plusieurs fonctions et les échanges nécessaires à leur bon fonctionnement afin de mettre en lumière une fonction de plus haut niveau. Cette fonction de plus haut niveau permettra d'identifier la liste des composants concernés par sa réalisation.
 - Exchange Scenario (ES) – Décrire l'enchaînement séquentiel de plusieurs fonctions pour illustrer une activité à mener (ex : essai)

5e - II.2 Périmètre concerné de la méthode CoGuiNF

Les éléments de la méthode CoGuiNF qui ont été validés ici sont principalement les concepts sur lesquels est basée la modélisation du système d'intérêt (ici le système MOLFI) au regard des objectifs du commissioning. Les concepts absents et pourtant nécessaires du méta modèle de Capella ont de même pu être identifiés. Enfin, cela a permis d'identifier au sein des modèles pouvant être réalisés à l'aide de l'outil Capella, quelles sont les données d'entrées de la méthode CoGuiNF qui permettront de concevoir les activités du commissioning.

Le projet MOLFI concerne donc le **Design time** du commissioning system et insiste sur les informations nécessaires à sa conception. De plus, cette application a aussi permis de tester et de pratiquer la spécification des activités de vérification et de validation et d'imaginer alors les modèles nécessaires et les fonctionnalités de modélisation attendues.

Plusieurs DSML jugés de fait pertinents sont présentés en fonction des vues concernées et des objectifs, certaines des modélisations que ces DSML permettent ont été ici endossées par des diagrammes Capella, dans ces cas les diagrammes Capella concernés sont alloués au DSML :

- Assurer une meilleure traçabilité des informations / Supporter la conception des essais :
 - Vue comportementale
 - DataSpecificationModellingDSML
 - CAEFrameworkDSML
- Représenter et séquencer les activités :
 - Vue comportementale
 - ProcessModellingDSML (Logical Functional Chain Description/Scénario opérationnel)

La démarche opératoire projet de CoGuiNF a pour objectif de guider les équipes comme nous avons pu le voir dans le chapitre 4. La démarche opératoire appliquée ici porte donc en particulier sur l'ingénierie des besoins et l'ingénierie des exigences d'une partie du commissioning system mais aussi la vérification et la validation de cette dernière lors de la comparaison des deux PGE.

La Figure 42 ci-dessous synthétise les éléments de la méthode concernés par cette application. Les éléments en verts sont les éléments concernés par le projet.

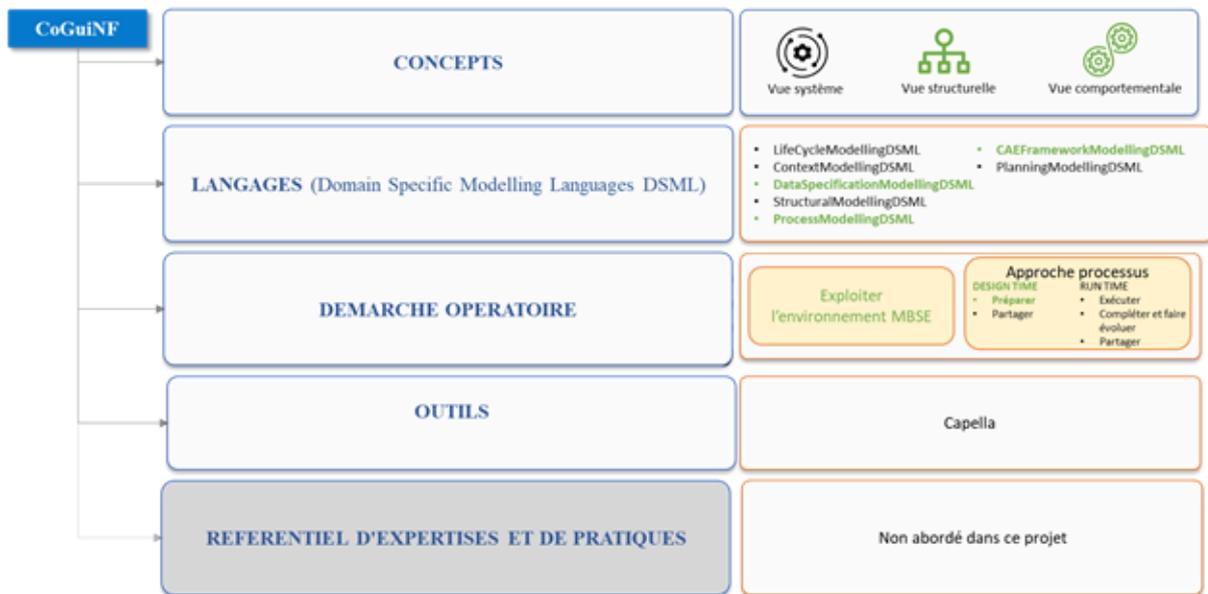


Figure 42: Figure récapitulative des éléments de la méthode concernés par le projet MOLFI

5e - II.3 Résultats

Plusieurs diagrammes ont été élaborés avec l'outil Capella. Dans un premier temps, l'Operational Entity Breakdown Diagram a permis de cartographier les différentes parties prenantes impliquées sur le projet afin d'identifier les personnes qui seront susceptibles d'interagir entre et d'influencer la conception du PGE.

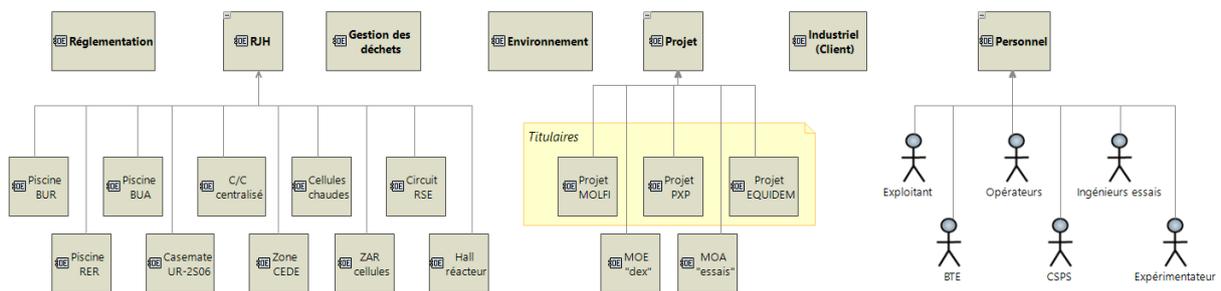


Figure 43 Cartographie des parties prenantes (haut niveau) [OEBD]

Le System Architecture Blank présenté dans la Figure 44 permet d'identifier les différentes interfaces entre le système MOLFI et son environnement. Il permet d'avoir une compréhension du système et des grandes fonctions qui lui sont allouées. Ce diagramme et les informations que l'on y retrouve peuvent s'avérer d'une utilité importante vis-à-vis de l'établissement du PGE. En effet, si pour chaque grande fonction du système il est nécessaire de mettre en place une vérification, ces diagrammes permettent d'identifier les principaux essais d'ensemble qu'il faudra réaliser pour s'assurer du bon fonctionnement global du système.

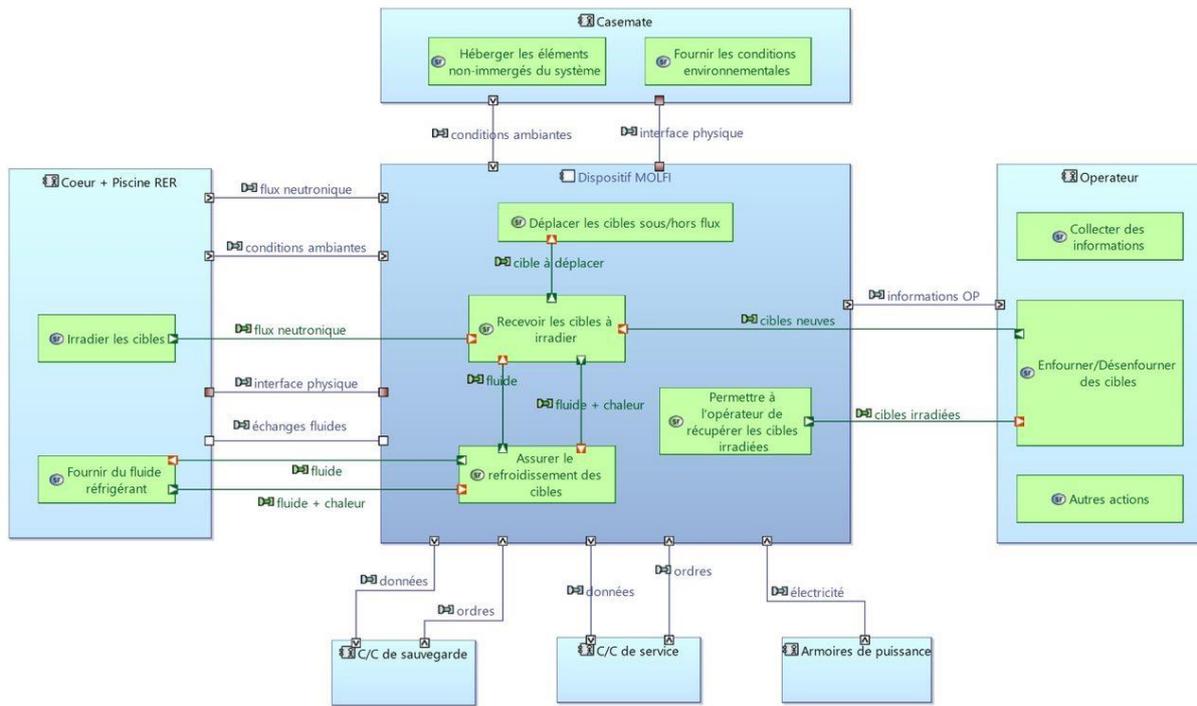


Figure 44: System architecture blank (SAB) du système MOLFI

Devant la complexité du système MOLFI et le nombre important de composants, de nombreux diagrammes d'architecture logique ont été réalisés lors de ce projet. On retrouve dans la Figure 45 Interfaces du système d'intérêt [LAB] un Logical Architecture Blank du système MOLFI dans sa globalité. Cependant, seuls les composants et les interfaces y sont représentés. On retrouve au sein de ce diagramme les cinq grands sous-systèmes du système d'intérêt ainsi que l'ensemble des interfaces qui existent entre les différents composants de ces sous-systèmes. La conception du PGE nécessitant la connaissance des interfaces de manière exhaustive (chacune nécessitant un essai afin de s'assurer de son bon fonctionnement). Le diagramme permet tout d'abord d'avoir une représentation du système dans sa globalité, facilitant le travail d'analyse de données (ici les interfaces et composants) [26], la conception du PGE s'est avérée ici plus aisée au regard des témoignages des personnes en charge de cette conception.

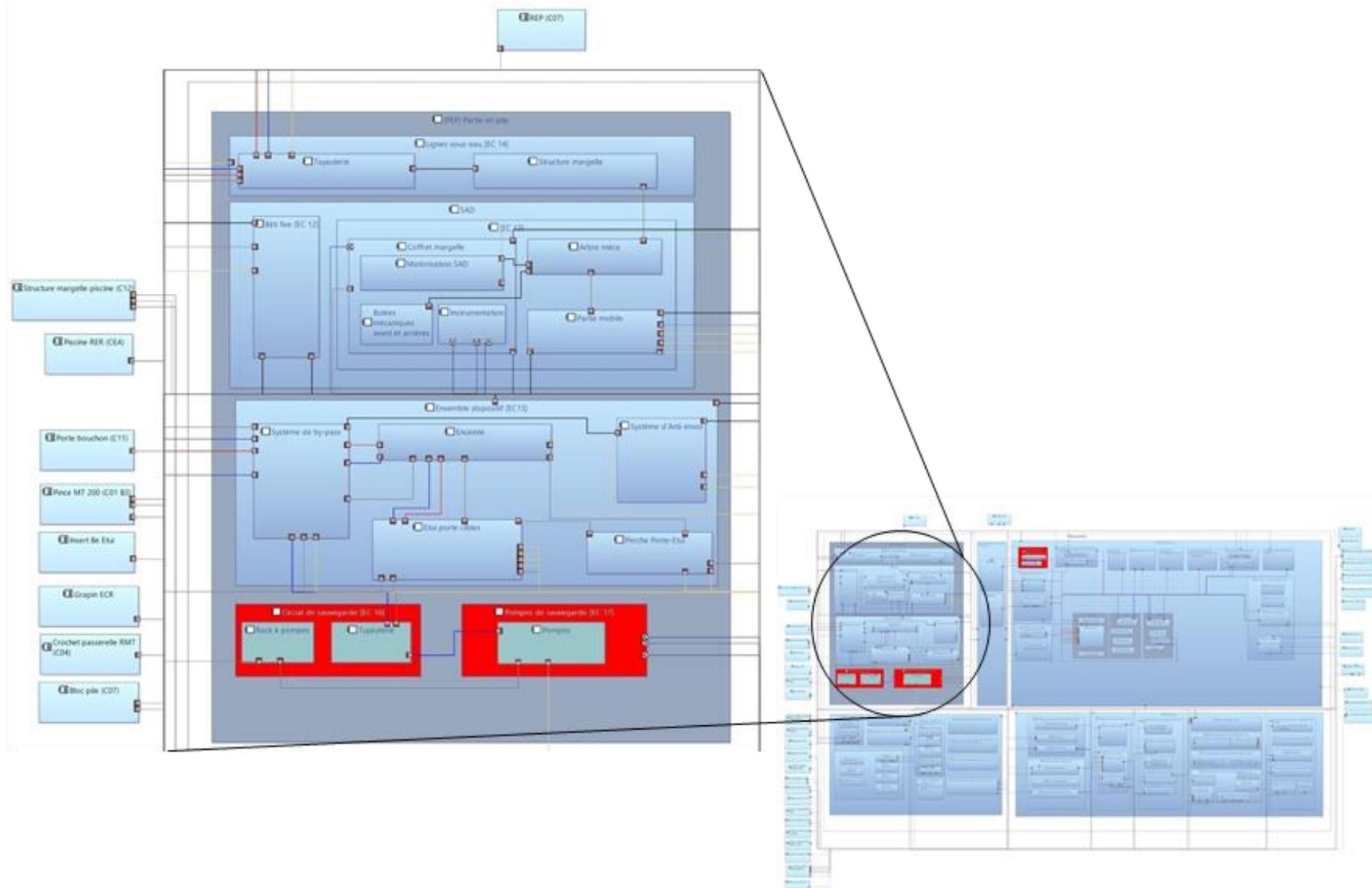


Figure 45 Interfaces du système d'intérêt [LAB]

Afin que l'étude des diagrammes ne s'avère pas fastidieuse, de nombreux diagrammes (diminuant la quantité d'informations au sein d'un seul diagramme) représentant l'architecture fonctionnelle de chacun des sous-systèmes du système MOLFI ont été réalisés. La figure ci-dessous présente uniquement le système outillage (OUT) du système MOLFI, on y retrouve donc l'architecture logique de ce sous système permettant la visualisation des composants et de leurs fonctions respectives.

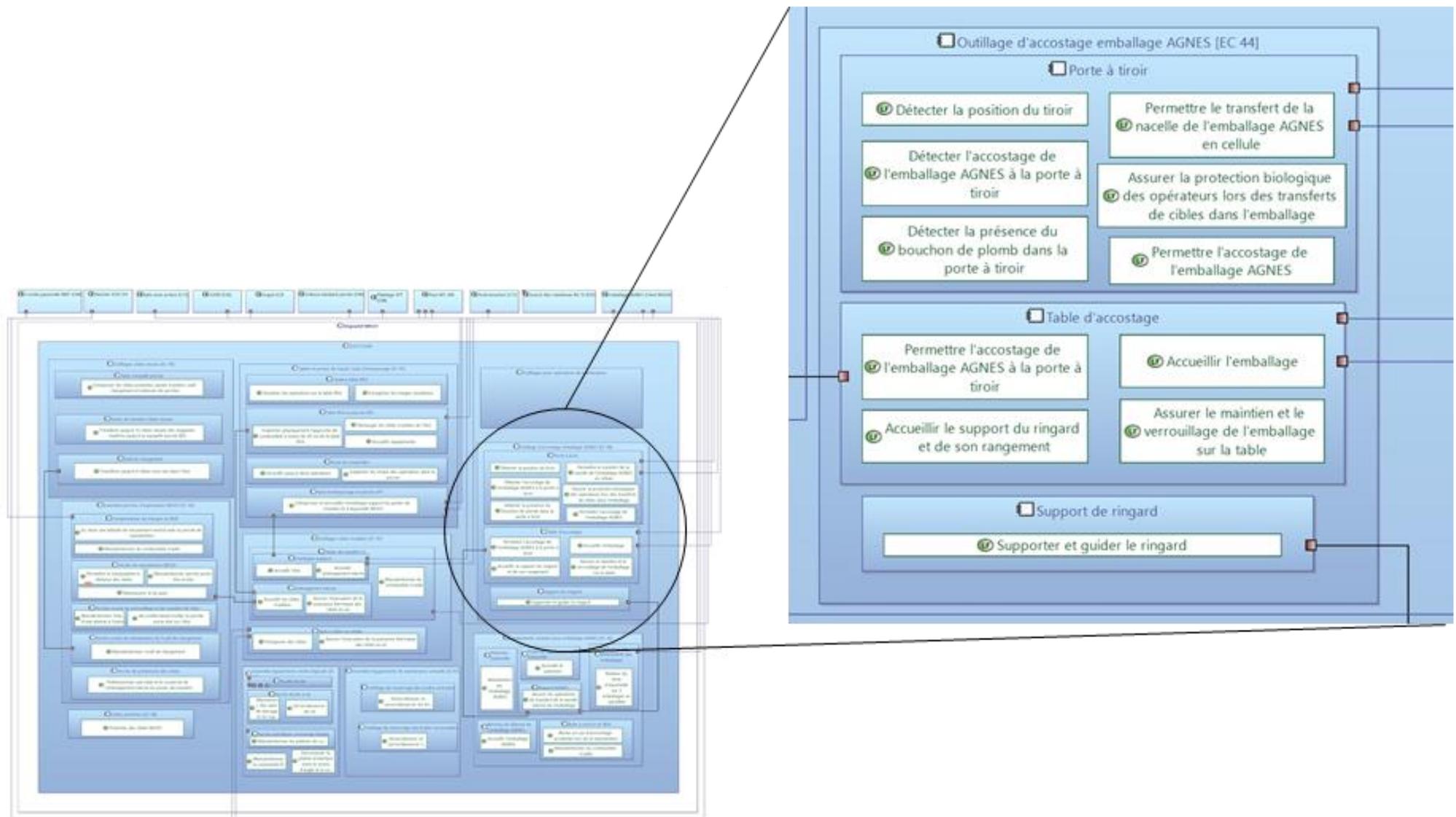


Figure 46: Allocations de fonctions aux composants de la partie outillage [LAB]

Une telle représentation du système permet donc d'identifier les fonctions qu'il faudra vérifier pour chacun des composants logiques. Ces fonctions sont ici représentées par les carrés blancs sur le diagramme et allouées directement au composant concerné.

Une fois élaborées ces activités (ie : vérification des fonctions), la réflexion s'est portée sur leur modélisation ainsi que sur leur séquencement. L'outil utilisé ici présente une première limitation, en effet Capella permet aisément la modélisation du système d'intérêt (ici MOLFI) mais ne permet pas la modélisation du système pour faire qui réalisera ce système (e.g. commissioning system). Les activités de vérification et de validation ont donc été modélisées ici à partir des concepts permettant la définition des fonctions (fonction, sous fonction, enchaînement séquentiel, etc.) classiquement utilisé pour décrire la conception du SOI. La modélisation de ces activités a été réalisée à l'aide de deux types de diagrammes, les diagrammes de scénario opérationnel (ES) et les diagrammes de chaînes fonctionnelles (LFCD). Ces activités de modélisation sont rendues possibles dans CoGuiNF par le **ProcessModellingDSML** que l'on retrouve au sein de la vue comportementale cela a donc permis de raffiner ce DSML.

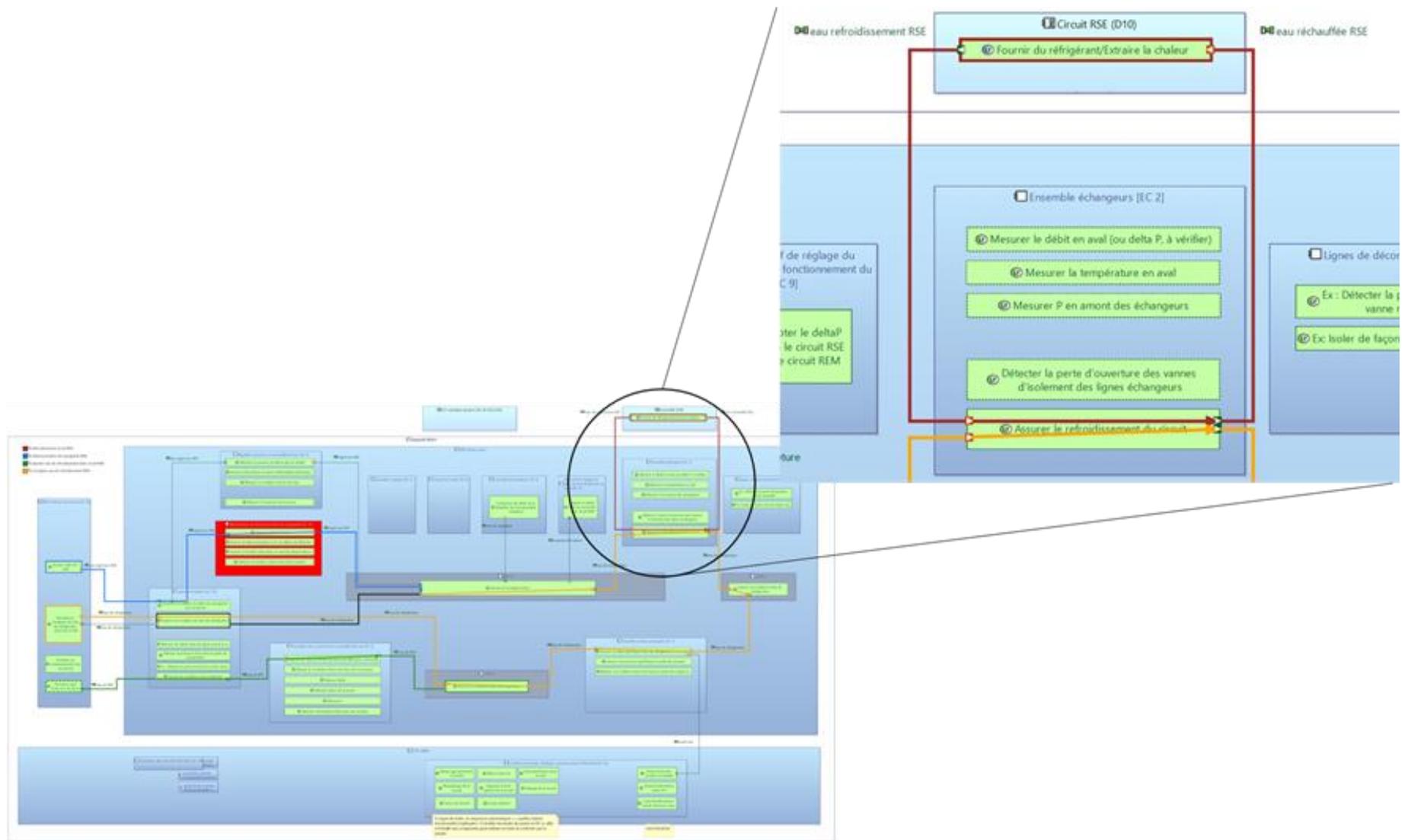


Figure 47: Représentation d'essais sous forme de chaînes fonctionnelles dans un LAB

Les chaînes fonctionnelles permettent comme on peut le voir de mettre en place les essais à réaliser, elles permettent d'identifier les composants et les fonctions associées à ces derniers qui seront impliqués dans l'essai. En effet, valider la performance d'un ensemble fonctionnel revient globalement à mettre en œuvre l'ensemble des fonctions nécessaires pour réaliser la fonction principale et ce, dans un contexte particulier. Sur la figure 5 quatre essais globaux sont représentés :

- Essai global associé à la fonction principale « Refroidissement du circuit »
- Essai global associé à la fonction principale « Dépressurisation de sauvegarde du circuit »
- Essai global associé à la fonction principale « Injection d'eau de refroidissement »
- Essai global associé à la fonction principale « Circulation d'eau de refroidissement »

Les essais peuvent également être représentés par le biais de diagrammes de scénarios opérationnels comme dans la Figure 48. Cela permet de représenter rigoureusement la séquence d'activation de l'essai (ordonnancement des activités à réaliser), n'excluant pas leurs représentations sous forme de chaînes fonctionnelles permettant la contextualisation géographique de l'essai (quels composants sont testés). Ces caractéristiques ont été identifiées comme pertinentes et retranscrites dans le **ProcessModellingDSML** qui permet de modéliser les activités en tenant compte de leur impact sur le système d'intérêt, des acteurs métiers concernés par l'activité et de leur séquençement.

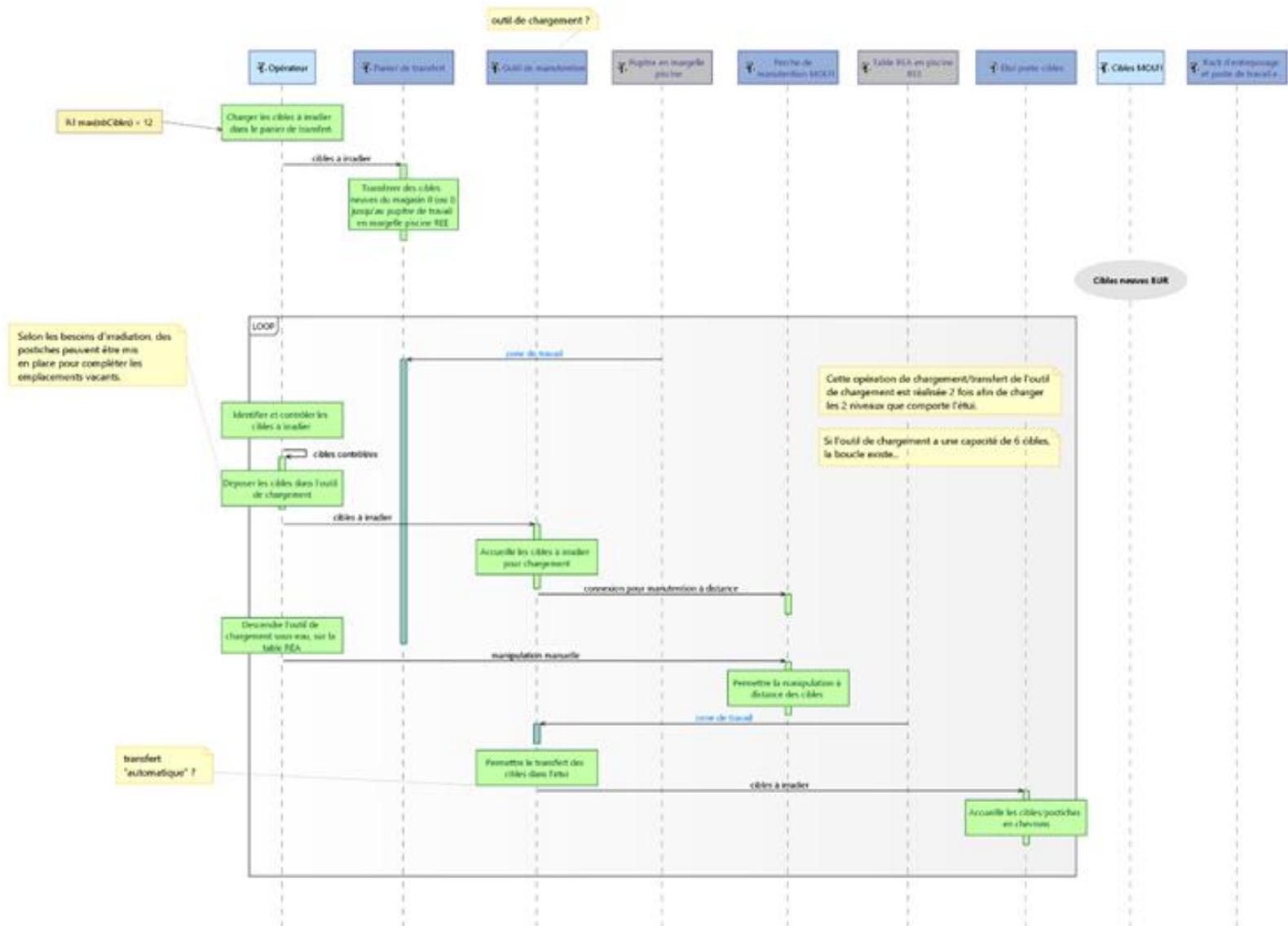


Figure 48 Représentation d'un essai de chargement de cibles sous forme de scénario opérationnel (le scénario se lit de haut en bas)

5e - II.4 Discussion et analyse des résultats

Rappel du périmètre de la méthode concernée :

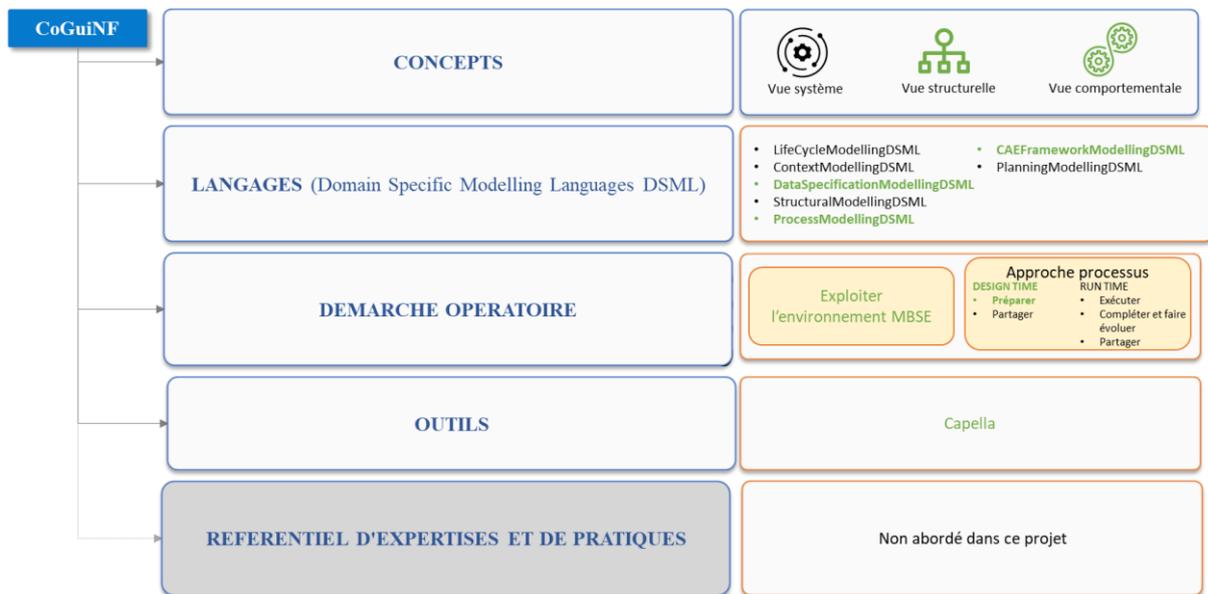


Figure 49: Figure récapitulative du périmètre de la méthode

Nous constatons avec cette application les avantages au déploiement de la méthode CoGuiNF, ces derniers sont présentés ci-dessous et classifiés selon les différents éléments de la méthode que l'on retrouve dans la Figure 49 :

- **Exploiter l'environnement MBSE**
 - La comparaison des PGE a montré la pertinence d'une approche basée modèles : 10 % des essais élaborés à l'aide de l'approche MBSE n'étaient pas pris en compte dans le PGE établi à partir de l'approche documentaire ou nécessitaient d'être spécifiés et rédigés à nouveau.
 - Chaque élément de modèle du système MOLFI pouvant être référencé vers un élément de modèle du commissioning, la définition des activités à mener pour vérifier l'ensemble de ces éléments (ex : interfaces) de manière exhaustive se voit grandement facilitée par la lecture et l'analyse des LAB. Ces liens d'allocations entre les éléments de modèles permettent en effet de vérifier l'exhaustivité des essais et d'assurer une meilleure traçabilité. Cela ne permet pas de remplacer le travail de conception du PGE dans son entièreté, mais cela permet d'estimer le nombre d'essais nécessaires pour la vérification des éléments concernés. L'utilisation des modèles diminue donc ici grandement les risques d'erreurs et la charge de travail des personnes en charge. La modélisation présente donc un avantage clair de soutien aux équipes, leur permettant de se focaliser sur la conception des activités.
 - La lecture et l'analyse de l'OEBD permet d'esquisser une première liste des parties prenantes du commissioning. Ces parties prenantes seraient modélisées au sein du Context Diagram (**ContextModellingDSML**) dans la vue système et il est important de rappeler ici que les parties prenantes que l'on retrouve au sein de l'OEBD ne seront pas toutes concernées par le commissioning, la liste à extraire ne serait donc pas exhaustive mais faciliterait toutefois la modélisation du Context Diagram.
- **Langages de modélisation**

- La représentation des essais à l'aide de Capella démontre l'intérêt des liens qui doivent exister entre le système conçu (MOLFI) et le commissioning, appartenant au SUTD, permettant de mettre en évidence l'impact du commissioning sur le système conçu (e.g. indiquer aux équipes en charge de la construction de l'indisponibilité d'un local ou d'un système qui serait concerné par un essai)
- La modélisation des essais à l'aide du **ProcessModellingDSML** permet d'assurer un suivi rigoureux de l'avancement des essais. En effet, les liens d'allocations existants entre les essais et les éléments de modèle du système d'intérêt permettent à l'aide d'indicateurs visuels de faire apparaître l'avancement des essais directement sur les modèles du système d'intérêt. Ces mêmes liens d'allocations permettent aussi d'extraire une première liste non exhaustive des essais à réaliser. Cette génération automatique nécessite un grand travail de conceptualisation qui est réalisé à l'aide des deux DSML **DataSpecificationModellingDSML** et **CAEFrameworkModellingDSML** qui permettent la définition rigoureuse de ces informations et des liens qui existent entre elles.
- La définition des critères d'acceptation et de leurs liens avec les nombreux concepts tels que les exigences à l'aide du **CAEFrameworkModellingDSML** permet de s'assurer de l'exhaustivité des essais.

Cette application a aussi permis de faire avancer les travaux de recherche. En particulier et essentiellement, de nombreux concepts manquants pour la définition des essais (ressources, etc.) ont été identifiés et rajoutés au méta modèle de CoGuiNF. Ce projet a donc permis de finaliser et de valider les concepts afférents à ces DSML afin d'avoir des langages de modélisation rigoureux au regard des concepts nécessaires au commissioning avec par exemple le concept de processeur comme élément central du **ProcessModellingDSML** qui permet de spécifier les entrées, les sorties, les ressources et les contraintes d'une activité de V&V.

5e - III. Projet HPC

5e - III.1 Contexte et hypothèses simplificatrices

Hinkley Point C (ici C signifie qu'il s'agit du troisième projet) (HPC) est un projet d'extension de la centrale existante à Hinkley Point par l'ajout de 2 nouveaux réacteurs de type EPR (Evolutionary Power Reactor). Le projet a été lancé en 2012. La collaboration entre Assystem et les équipes d'ingénierie du projet HPC consistait à mettre en lumière l'amélioration des méthodes et outils d'ingénierie utilisés sur des projets de conception d'infrastructures nucléaires complexes. Il s'agit notamment d'insister sur la nécessité impérieuse de faciliter le travail collaboratif entre les différents métiers, et pour cela de s'appuyer et de tester le déploiement de l'ingénierie système.

Le commissioning du projet HPC s'appuie sur un processus complexe permettant la définition des tests à réaliser, l'exécution de ceux-ci et la vérification des résultats obtenus. Assystem avait pour objectif d'assister à la digitalisation de ce processus. Cette mission consistait, pour l'essentiel, à spécifier les attentes métier auprès des équipes d'intégration du projet, puis à valider les solutions proposées. Les problèmes principaux identifiés relatifs à l'objet d'étude sont alors que :

- La place du commissioning au sein du projet n'est pas clairement définie ;
- La collaboration des différents métiers génère de nombreuses incompréhensions ;
- Le suivi des essais est une tâche chronophage.

Au regard de ces problèmes essentiels, des besoins méthodologiques et techniques ainsi que des perspectives de solutions peuvent être mis en lumière.

Besoins méthodologiques et techniques :

- Définir le commissioning comme un système qui interagit avec son environnement, afin d'améliorer l'appréciation de la place du commissioning dans le projet par les collaborateurs ;
- Encourager le travail collaboratif dans la conception et le suivi des essais ;
- Améliorer la réflexion autour de la conception et du suivi des essais en favorisant le travail collaboratif autour de l'analyse des modèles.

Perspectives de solutions :

- Travailler dans un environnement outillé qui permet la collaboration des parties prenantes dans la conception des essais et leur suivi ;
- Mettre en place une modélisation du commissioning system dans son environnement ;
- Définir un outil qui permette de suivre l'avancement des essais et de tracer leurs résultats.

Au regard de ces besoins et perspectives de solutions nous pouvons spécifier les objectifs de cette application vis-à-vis de CoGuiNF.

Objectifs du projet :

- Mettre en place une modélisation du commissioning et cartographier les échanges entre les équipes du commissioning et son environnement (en particulier le système d'information) ;
- Modéliser les activités à réaliser afin d'en assurer le suivi.

La modélisation a été réalisée ici à l'aide de deux outils, Capella et BOXARR qui respectivement ont permis la modélisation de l'architecture du commissioning system (ici appelé commissioning project pour des raisons d'harmonisation de langage avec le client) à l'aide du System Architecture Blank (SAB) et des activités à mener par ce dernier (BOXARR). Tout comme pour le projet précédent, il sera intéressant d'en étudier les limites en termes de modélisation mais aussi d'identifier les problématiques de modélisation rencontrées notamment au regard des concepts manquants qui ont de fait été ajoutés au méta modèle de CoGuiNF.

5e - III.2 Périmètre de la méthode

Les éléments de la méthode concernés par ce projet sont ici essentiellement le référentiel d'expertises et de pratiques ainsi que la définition du commissioning system dans son environnement afin d'en préciser sans ambiguïtés les différentes interfaces. Par la suite la modélisation des activités de commissioning a été réalisée. Les éléments de la méthode concernés par cette modélisation sont donc ici le Design Time du commissioning system son architecture et son contexte ainsi que le Design Time du système d'intérêt du commissioning et de ses activités, le Run Time est ici concerné par le suivi de ces activités. Les DSML nécessaires et qui ont donc là encore été vérifiés, validés et raffinés à l'aide de ce projet sont les suivants, vue par vue. Les diagrammes Capella utilisés, ou le recours à BOXARR le cas échéant sont spécifiés entre parenthèse :

- Mettre en place une modélisation du commissioning et cartographier les échanges entre les équipes du commissioning et son environnement (en particulier le système d'information).
 - Vue système
 - ContextModellingDSML (System Architecture Blank)
- Représenter les activités à réaliser afin d'en assurer le suivi.
 - Vue structurelle
 - DataSpecificationModellingDSML

- Vue comportementale
 - CAEFrameworkModellingDSML
 - ProcessModellingDSML (BOXARR)
 - PlanningModellingDSML (BOXARR)

La Figure 50 ci-dessous synthétise les éléments de la méthode concernés par ce cas d'application. Les éléments en verts sont les éléments concernés.

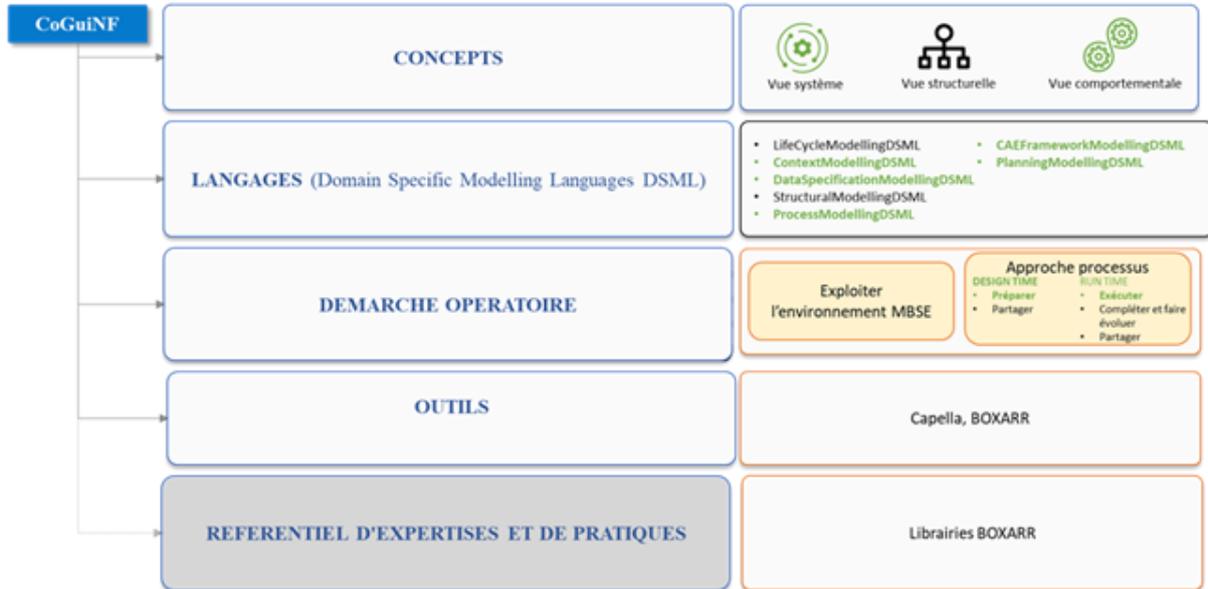


Figure 50: Figure récapitulative du périmètre de la méthode

5e - III.3 Résultats

La Figure 51 ci-dessous présente le commissioning system dans son contexte. Elle permet d'identifier l'environnement dans lequel il évoluera ainsi que ses interfaces.

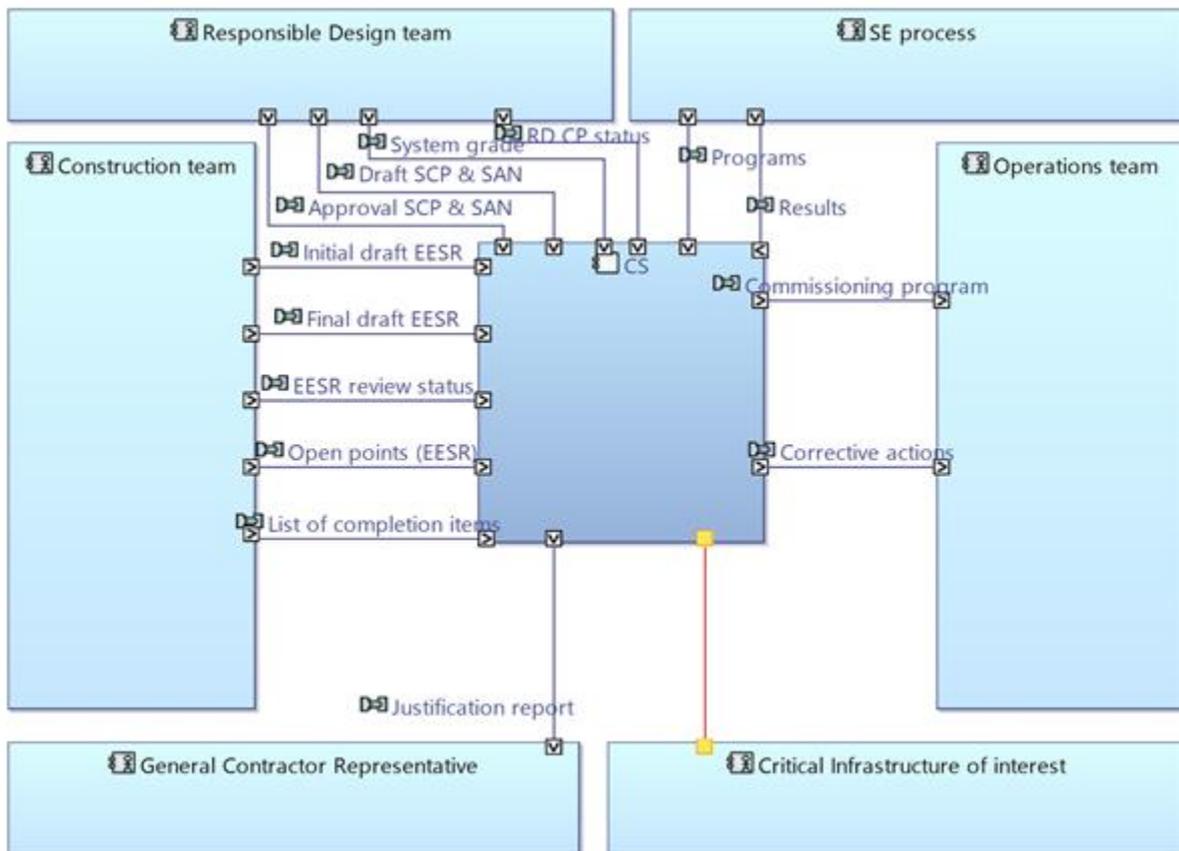


Figure 51: Diagramme de contexte du commissioning system (SAB du commissioning system)

Dans un second temps, il est important de spécifier les services qui seront rendus par le commissioning system et son environnement afin d'assurer le bon fonctionnement de ce dernier. Ces services permettent de spécifier les entrées/ sorties du commissioning system, ils sont alloués aux différentes interfaces que l'on a identifié au préalable. Ces services sont présentés dans la Figure 52.

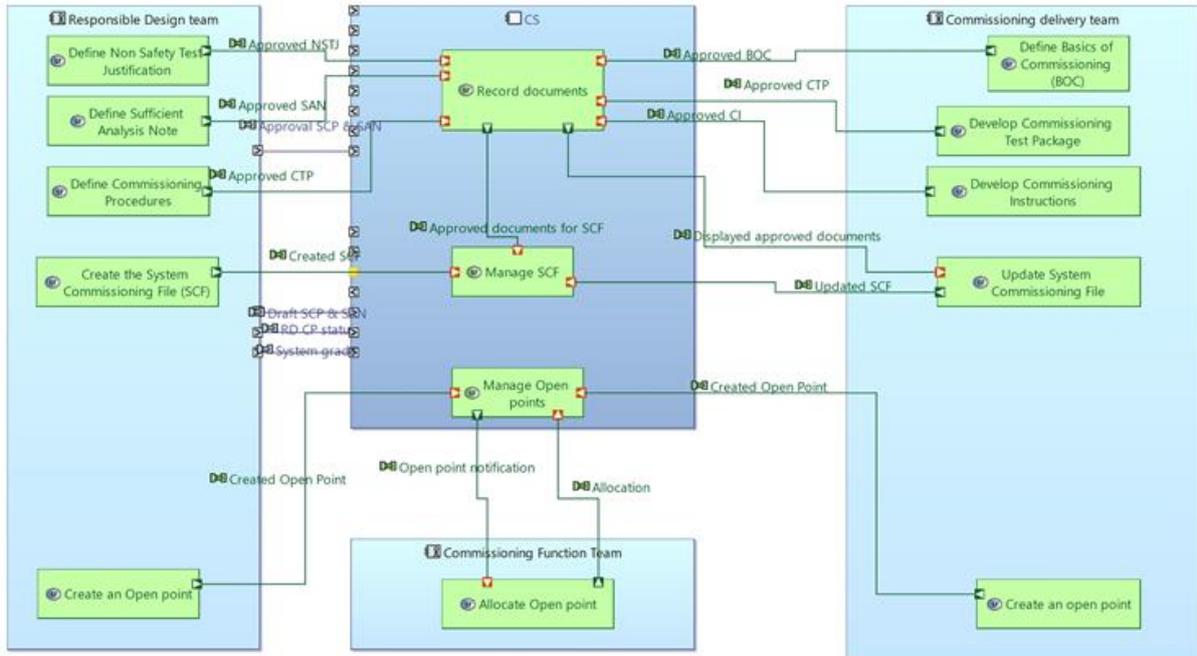


Figure 52: SAB du commissioning system

Tout comme précédemment au sein du projet MOLFI, ces diagrammes permettent aux équipes d’avoir une vision éclairée du commissioning system, de son environnement ainsi que d’identifier les services à rendre. Cette activité de modélisation (modélisation du contexte) est ainsi rendue possible dans CoGuiNF à l’aide du **ContextModellingDSML**. Ce DSML s’est de fait fortement inspiré du méta modèle qui permet la réalisation d’un tel diagramme sous Capella. En réalité, l’approche systémique préconisée par CoGuiNF ne pouvait que conduire à l’élaboration de certains DSML déjà existants au sein de cet outil, il y a en effet une part de recoupement entre les langages de Capella qui permettent la modélisation de systèmes complexes et ceux identifiés pour CoGuiNF.

Les activités de V&V sont détaillées et représentées via des diagrammes de processus réalisés ici à l’aide de l’outil BOXARR. Les différents artefacts de représentation manipulés dans ce cadre sont issus de la librairie de modélisation (dont un exemple est donné Figure 53) que contient cet outil et qui peut être personnalisée et réutilisée sur d’autres projets.

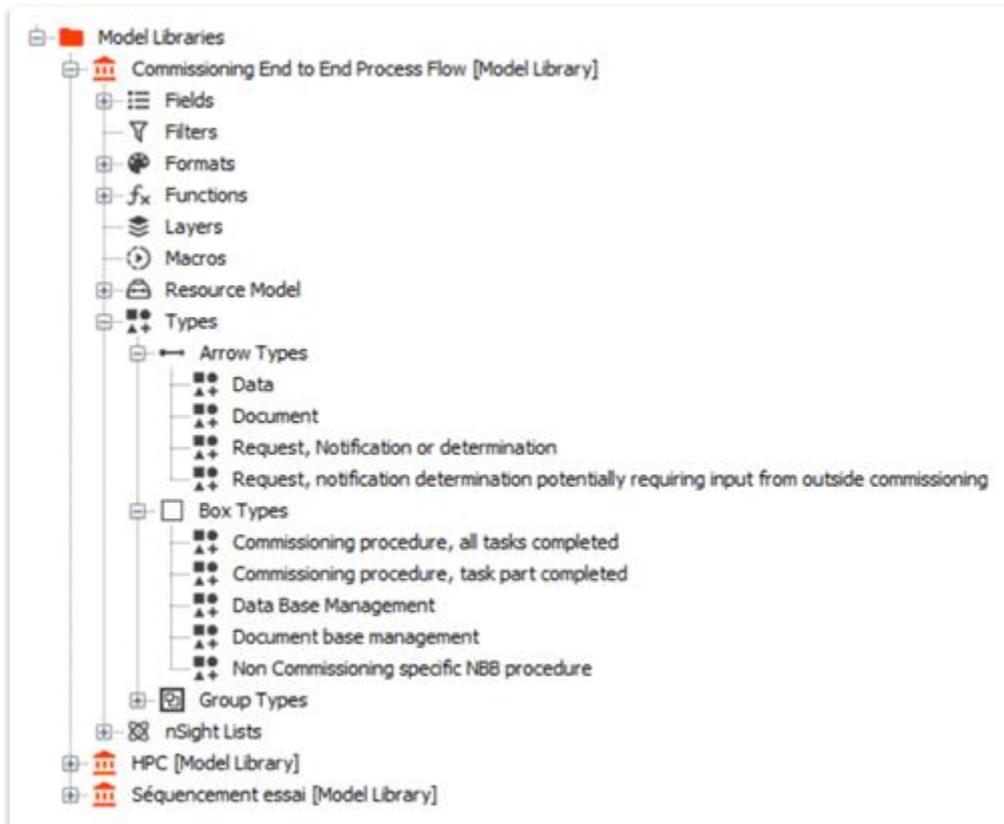


Figure 53 Exemple de librairie

On retrouve au sein de cette librairie les types de boîtes et de flèches qui sont manipulés, cela permet de modifier directement la palette et a donc un impact direct sur l'aspect visuel qu'aura le modèle. Sur ce projet et comme nous avons pu le voir au sein du projet MOLFI, c'est le concept de **Processeur** qui a permis de spécifier les entrées/sorties. Le déploiement sur ce projet à l'aide de l'outil BOXARR a donc permis de vérifier que ce concept permettait une modélisation rigoureuse des activités de V&V et que les informations retranscrites permettaient d'améliorer grandement la réflexion autour de la conception de ces activités. On retrouve ce concept dans CoGuiNF au niveau du **ProcessModellingDSML**.

Un autre concept pertinent et déployé sur ce projet est celui de **WBS**, il permet de regrouper et de représenter les activités et leur enchainement selon différents critères. On retrouve le concept de WBS dans CoGuiNF au niveau du **XBSModellingDSML**. Un exemple vous est présenté ci-dessous, les activités sont regroupées en fonction de l'entité responsable de l'activités (code couleur) à titre d'exemple mais ces groupes peuvent être instanciés selon d'autres critères.

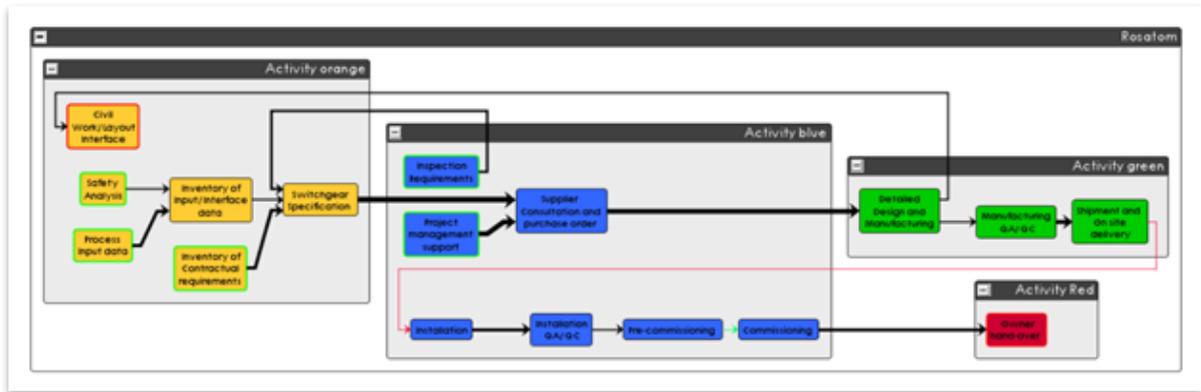


Figure 54: Exemple de WBS

5e - III.4 Discussion et analyse des résultats

Rappel du périmètre de la méthode :



Figure 55: Figure récapitulative du périmètre de la méthode

Nous constatons avec cette application les avantages au déploiement de la méthode CoGuiNF, ces derniers sont présentés ci-dessous et classifiés selon les différents éléments de la méthode que l'on retrouve dans la Figure 55 :

- **Langages de modélisation**

- Modéliser le commissioning system dans son environnement remplit parfaitement les objectifs de modélisation du **ContextModellingDSML**, les grands services devant être rendus par le commissioning system ont été identifiés et ont de fait servi de base pour la conception des activités à réaliser ;
- La modélisation des essais à l'aide du **ProcessModellingDSML** permet d'améliorer grandement l'élaboration du PGE mais aussi d'assurer un suivi rigoureux de l'avancement des essais ;
- La mise en place de filtres permettant l'étude des diagrammes sous différents angles permet d'améliorer grandement la compréhension des diagrammes par les équipes

en charge mais aussi d'adresser certains sujets (e.g. focaliser la réflexion sur les essais d'ensemble).

- **Référentiel d'expertises et de pratiques**

- La fonctionnalité des bibliothèques proposée par BOXARR s'apparente en effet à l'utilisation du Référentiel d'expertises et de pratiques qui permet de réutiliser des modèles propres à un projet dans le cas où ils seraient pertinents sur un nouveau projet. Cela conforte quant à l'importance de cet élément de méthode, cependant cette fonctionnalité de l'outil ne remplit pas complètement la mission du référentiel d'expertise et de pratiques qui est peuplé d'informations bien plus diverses. La modélisation de ces informations et des liens qui existent entre elles est rendue possible dans CoGuiNF par le **DataSpecificationModellingDSML** et le déploiement sur ce projet a donc permis de vérifier les concepts afférents à ce DSML.

Cette application a permis aussi de faire avancer les travaux de recherches notamment via :

- La vérification de la pertinence de l'utilisation du concept de processeur pour modéliser les activités de V&V, notamment afin d'assister à la transition entre le Context Diagram (CD) et le Process Diagram (PD).
- La vérification du concept de WBS a aussi été vérifié et son déploiement sur ce projet a permis d'identifier les différents critères pertinents sous lesquels les activités se doivent d'être regroupées (e.g. essai d'ensemble, essai unitaire etc.) ;
- L'utilisation d'un outil paramétrable comme BOXARR qui a permis de conforter que la méthode était déployable sur différents outils.
- L'identification de la pertinence de la génération d'un diagramme de Gantt à partir des modèles de processus établis. CoGuiNF et l'outil dédié devrait donc rendre possible la génération d'un Planning à l'aide du **PlanningModellingDSML** à partir des modèles générés par le **ProcessModellingDSML**.

5e - IV. Projet ITER

5e - IV.1 Contexte et hypothèses simplificatrices

Le projet ITER est l'un des projets les plus ambitieux au monde dans le domaine de l'énergie. Ce projet marque la transition entre les dispositifs de fusion expérimentaux actuels et les dispositifs industriels du futur. Le système (ITER) permettra aux scientifiques d'étudier les plasmas dans les conditions à l'échelle, c'est à dire dans le cadre réel d'une centrale de fusion électrogène et de tester des technologies telles que le chauffage, le contrôle, le diagnostic, la cryogénie et la télémaintenance. La complexité de ce système n'est plus à démontrer et l'hétérogénéité des parties prenantes venant de nombreux pays rend la gestion de ce projet des plus compliquée.

L'objectif ici était d'aider à la transition vers l'utilisation des modèles pour la conception et le suivi des essais. Les problématiques rencontrées et les perspectives de solutions sont donc sensiblement liées à celles identifiées sur MOLFI, cependant la méthode CoGuiNF se voulant générique, il est intéressant de vérifier que son déploiement sur un projet différent s'est bien déroulé. Ce projet a de plus été mené dans le but de détailler au maximum la démarche basée modèles mais aussi de la comparer méthodologiquement à la démarche basée documents. Cette application partielle sur le projet ITER de CoGuiNF a donc permis d'identifier au sein de l'entreprise les premiers leviers qui permettront la transition vers l'utilisation des modèles comme support d'informations pour les collaborateurs. Les systèmes concernés ici furent deux bâtiments de service dans lesquels nous sommes intéressés aux essais à mener pour vérifier et valider le système de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) ainsi que le système de détection incendie. La comparaison rigoureuse des deux

méthodes de travail a été réalisée sur un exemple simple de pompe à chaleur et c'est cette comparaison qui nous intéresse ici.

Les problèmes essentiels qui ont été identifiés sur ce projet sont listés ci-dessous :

- L'impact des essais sur le système qui est testé n'est pas clairement identifié ;
- La conception des essais est une tâche chronophage ;
- L'exhaustivité des caractéristiques vérifiées par les activités de V&V n'est pas traçable facilement.

Au regard de ces problèmes essentiels des besoins méthodologiques et techniques ainsi que des perspectives de solutions peuvent être mis en lumière.

Besoins méthodologiques et techniques :

- Avoir une vision claire de l'architecture du système d'intérêt ;
- Mettre en place des liens d'allocations entre les essais et le système d'intérêt ;
- Encourager le travail collaboratif autour de la conception des essais.

Perspectives de solutions :

- Travailler dans un environnement outillé qui permet la collaboration des parties prenantes dans la conception des essais ;
- Disposer des liens d'allocations qui permettent d'analyser l'impact des essais sur le système et de vérifier l'exhaustivité de ces derniers au regard des caractéristiques du système qui sont vérifiées.

Les objectifs de cette application ans le cadre du projet ITER sont de :

- Identifier les avantages que présente l'analyse et l'utilisation des modèles comme support d'information dans la conception des essais ;
- Modéliser les essais et mettre en évidence les caractéristiques du systèmes vérifiées par ces derniers.

5e - IV.2 Périmètre de la méthode

Les éléments de la méthode concernés ici sont donc une nouvelle fois les différents langages de modélisation qui permettent de modéliser les essais, il s'agit en effet ici de la conception des activités qui concerne donc le Design Time du SOI. Les éléments de la méthode qui rendent ces modélisations possibles et qui sont donc vérifiés, validés et raffinés à l'aide de ce projet sont donc les suivants, ils sont une nouvelle fois classifiés en fonction des objectifs et des vues concernées :

- Supporter la conception des essais à l'aide des modèles
 - Utilisation extensive des modèles
 - Mise en évidence des caractéristiques du système qui sont vérifiées à l'aide des « propriétés ».
 - Vue comportementale
 - DataSpecificationModellingDSML
 - CAEFrameworkDSML

L'outil utilisé ici pour mettre en place les modélisations requises au déploiement de la méthode est Capella. La Figure 56 synthétise les éléments de la méthode concernés par ce cas d'application, les éléments en verts sont les éléments concernés.

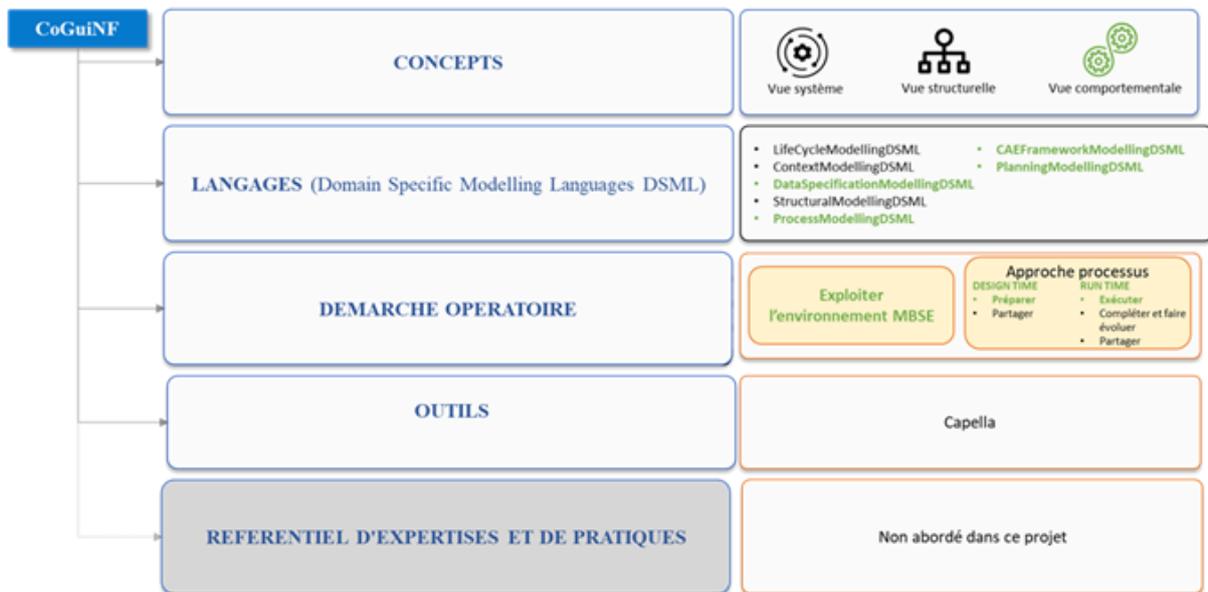


Figure 56: Figure récapitulative du périmètre de la méthode

5e - IV.3 Résultats

La Figure 57 ci-dessous représente l'architecture logique du système, on y retrouve les composants logiques et les grandes fonctions qui leur sont attribuées. Nous y avons identifié trois grandes fonctions représentées ici par les chaînes fonctionnelles bleu, verte et rouge. Ces chaînes fonctionnelles permettent d'établir les liens qui existent entre les grandes fonctions qui devront être testées et les composants concernés. La définition de propriétés aux différents éléments du modèle permet aussi de retranscrire les critères d'acceptations des essais et de fait de faciliter leur conception. L'architecture logique ne présente pas les composants physiques du système, il fut donc nécessaire de mettre en place une modélisation physique tout en gardant les liens d'allocation, nous avons donc modélisé l'architecture physique du système et alloué à chaque composant physique la réalisation du composant logique concerné.

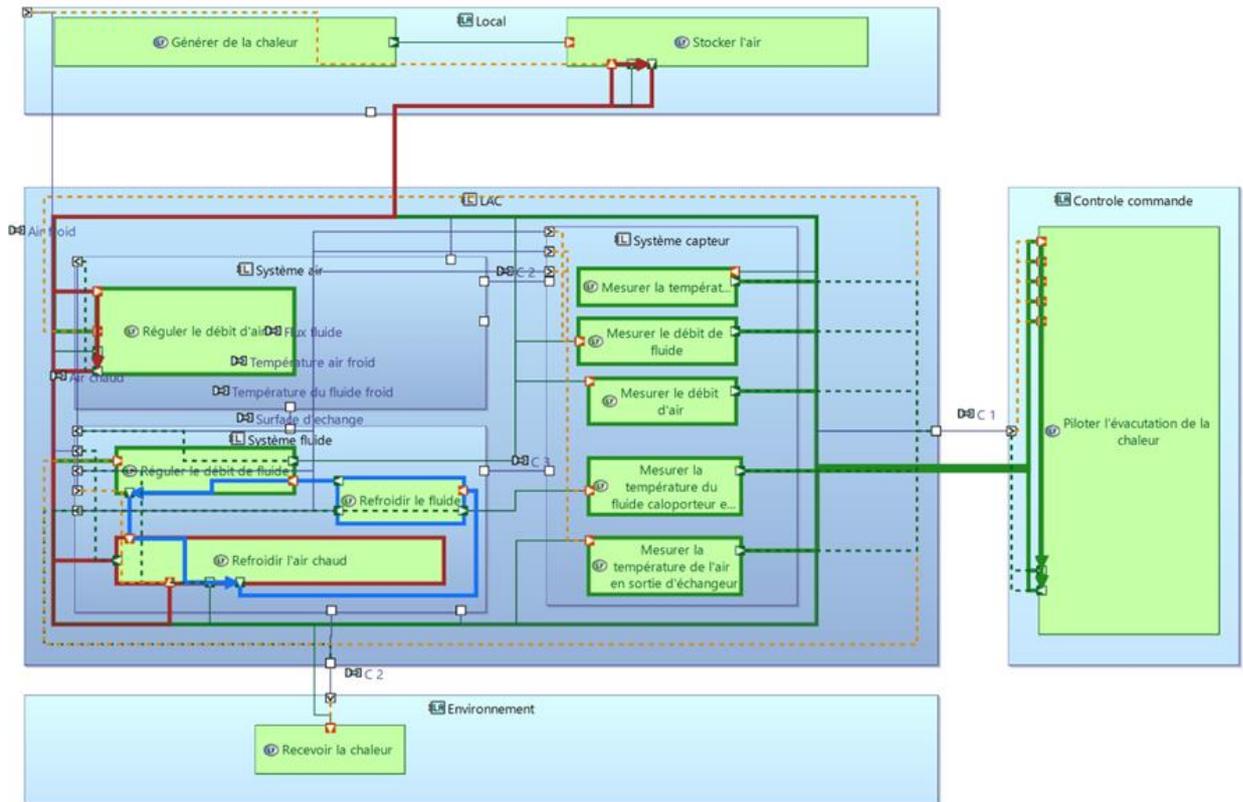


Figure 57 LAB du système LAC

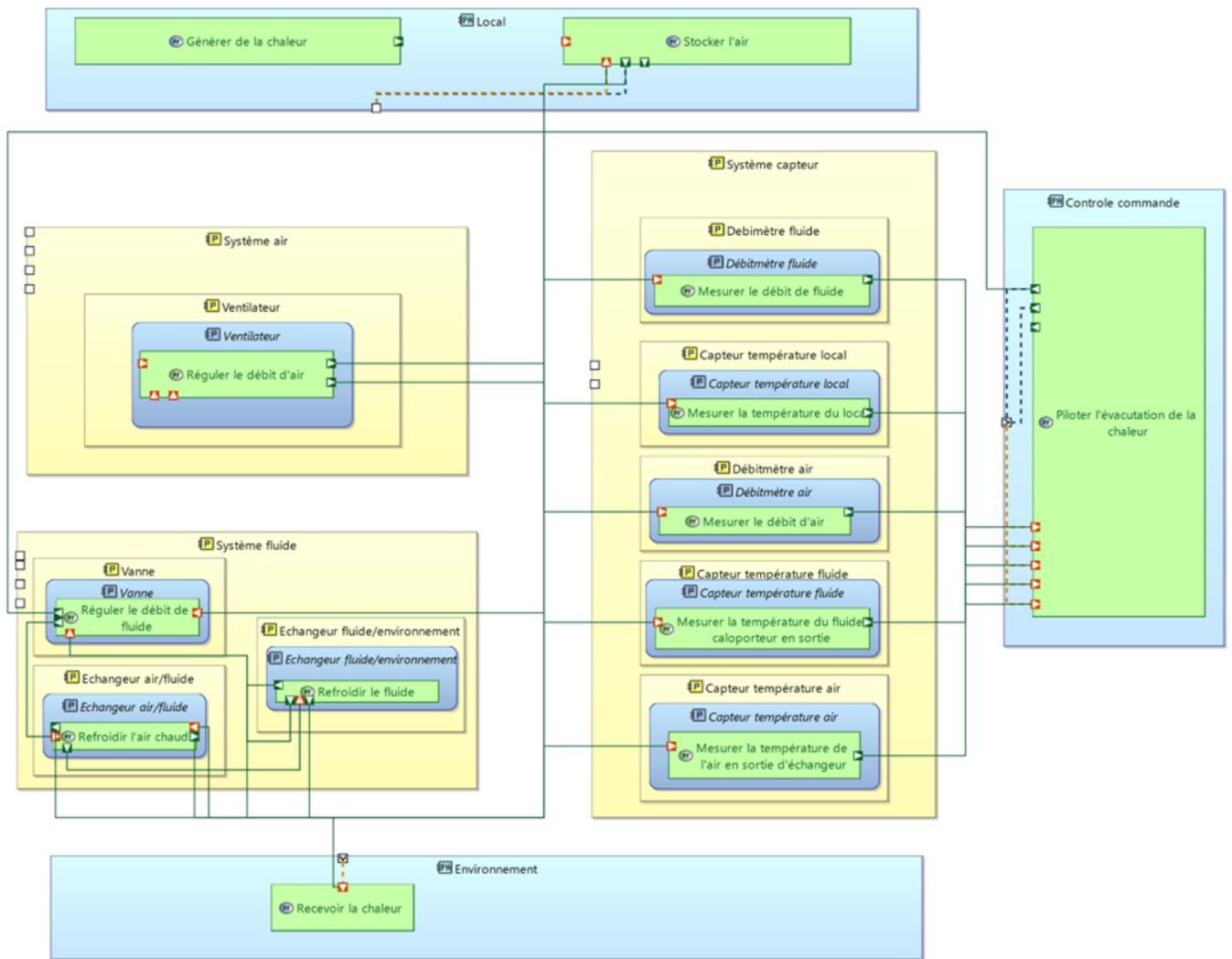


Figure 58 Physical architecture blank du système LAC

La Figure 58 permet d'apprécier cette allocation, on y retrouve en effet les composants physiques auquel sont allouées les fonctions qui permettent la réalisation des trois grandes chaînes fonctionnelles présentées plus haut. Ces allocations permettent d'identifier aisément les composants qui sont concernés par la réalisation d'un essai global, elles permettent aussi d'en un premier temps de connaître l'ensemble des équipements impliqués dans la réalisation de cette chaîne fonctionnelle et de fait de connaître les essais élémentaires à réaliser au préalable avant d'envisager la réalisation de l'essai global.

5e - IV.4 Discussion et analyse des résultats

Le Tableau 6 ci-dessous présente deux approches et les compare. Les colonnes vertes présentent les données d'entrées et de sorties ainsi que les activités (de modélisation, d'analyse, d'extraction de données) à mener pour une approche basée modèles. Les colonnes orange présentent les mêmes informations mais pour une approche basée documents. Les premières activités à mener consistent principalement à identifier les composants qu'il faudra vérifier. La méthode CoGuiNF n'est donc concernée ici que par l'encouragement à l'utilisation de modèles comme support d'information. On y retrouve notamment l'analyse des diagrammes logiques de Capella comme nous avons pu le voir sur le projet MOLFI. Les étapes suivantes (SAT 1 et 2) concernent directement la méthode CoGuiNF, en effet les essais à réaliser pour ces étapes sont des essais d'ensemble dont la représentation sous forme de séquençement de plusieurs activités est pertinente. Ils sont représentés ici à l'aide des scénarii opérationnel mais c'est le **ProcessModellingDSML** qui rendra cette modélisation possible dans l'outil dédié à CoGuiNF. Les liens d'allocations permettant d'assurer la traçabilité de l'information ainsi que de faciliter l'élaboration de ces essais sont eux permis à l'aide du **CAEFramework** et du **DataSpecificationModellingDSML**.

Tableau 6 Tableau comparatif d'une approche basée modèle et d'une approche basée document

Séquencement des essais	Données d'entrées		Activités		Sorties	
	Environnement MBSE	Environnement documents	Environnement MBSE	Environnement documents	Environnement MBSE	Environnement documents
SAT 0 (Site acceptance test) Vérifier la conformité mécanique du montage des composants	<ul style="list-style-type: none"> Logical Architecture Blank (LAB) Physical Architecture Blank (PAB) 	<ul style="list-style-type: none"> Normes 	<ul style="list-style-type: none"> Extraire la liste des capteurs et composants à tester par une fonction à l'aide des liens d'allocations 	<ul style="list-style-type: none"> Recouper les PID et PFD avec l'analyse fonctionnelle afin d'identifier les composants à tester 	<ul style="list-style-type: none"> Liste des composants Matrice de traçabilité (critère d'acceptation) Indicateur visuel d'avancement directement sur le modèle 	<ul style="list-style-type: none"> Compte rendu d'essais Non conformité
TOP (Turn Over Package) Identifier les frontières et interfaces du système et de ses sous systèmes		<ul style="list-style-type: none"> Analyse fonctionnelle Process and instrumentation diagram (PID) Process flow diagram (PFD) Note descriptive 	<ul style="list-style-type: none"> Analyser les diagrammes logique afin d'avoir une vision claire des frontières et interfaces pour chaque grande fonction du système Extraire la liste des composants à tester 	<ul style="list-style-type: none"> Recouper les PID et PFD avec l'analyse fonctionnelle afin d'identifier les interfaces et les composants à tester 		
SAT 1 Vérifier les composants de chacun des sous systèmes		<ul style="list-style-type: none"> Données constructeurs (critères d'acceptation) Entrées/sorties des composants PID PFD 	<ul style="list-style-type: none"> Réalisation de modèles des essais à réaliser sous forme de scénario opérationnel (ES) Mise en place des liens d'allocations à l'aide du CAE Framework et du DataSpecificationModellingDS ML 	<ul style="list-style-type: none"> Identifier les composants de chacun des sous systèmes à l'aide des documents d'analyse fonctionnelle 		
SAT 2 Vérifier le système LAC		<ul style="list-style-type: none"> Analyse fonctionnelle Référentiel d'exigences (critères d'acceptation) 		<ul style="list-style-type: none"> Identifier les caractéristiques et propriétés du système à vérifier 		

Chapitre 6e Conclusion

Pour rappel, les grands thèmes des problématiques adressées par ces travaux de recherche sont les suivants :

- Complexité ;
- Culture du commissioning et connaissances ;
- Collaboration, partage et confiance ;
- Modélisation et langages ;
- Adaptabilité.

La méthode CoGuiNF offre un cadre de réflexion et des langages de modélisation qui permettent de supporter les équipes en charge du commissioning d'INB notamment au regard de la complexité de ces installations. Le déploiement de la méthode et la sensibilisation des collaborateurs a pour objectif d'améliorer grandement la culture du commissioning au sein de l'entreprise, notamment à l'aide du cinquième élément de la méthode qu'est le référentiel d'expertises et de pratiques. Les différents langages de modélisation, spécialement élaborés au regard des différentes problématiques du commissioning, permettent aux différents collaborateurs de mieux s'impliquer dans des tâches de modélisation qui permettent d'améliorer grandement la collaboration et le partage des connaissances en toute confiance entre les collaborateurs. La spécification des rôles (spécifique au commissioning) et les langages de modélisation tels que le ProcessModellingDSML ou encore le Planning permettent au chef de projet d'allouer aux différents collaborateurs les activités qui les concernent. La méthode CoGuiNF facilite donc le travail des personnes en charges du commissioning, qu'il s'agisse du directeur de projet ou du technicien en charge de réaliser un essai, la modélisation permet en effet d'avoir une compréhension accrue et un dialogue efficient entre ces personnes. L'utilisation d'un outil numérique dans lequel les liens d'allocations entre les différents éléments d'informations ont été renseignés permet d'assurer une bien meilleure traçabilité.

Les différents thèmes ont donc tous été abordés par la contribution proposée qu'est la méthode CoGuiNF. La Figure 59 reprend les différentes contributions identifiées en fin du chapitre 3 dans le Tableau 2 et les alloue aux éléments de la méthode concernés. Un code couleur est aussi proposé permettant d'apprécier l'impact des travaux menés sur les contributions. Les limitations et les perspectives d'améliorations sont détaillés par la suite.

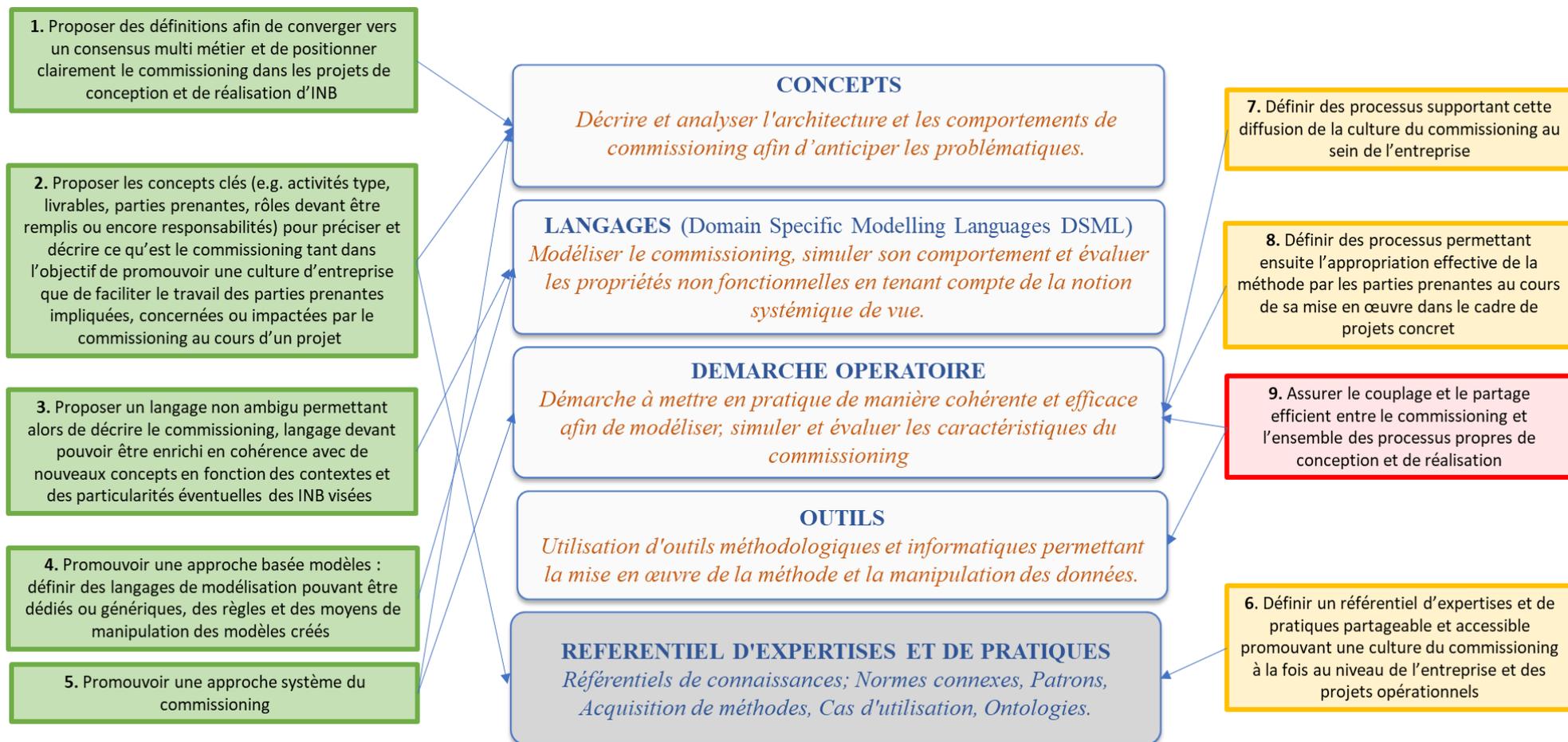


Figure 59 Figure récapitulative des contributions

Cependant, certaines limitations de cette méthode CoGuiNF ont été identifiées :

- **Conduite du changement** : Le déploiement de la méthode nécessite une conduite du changement conséquente au sein des entreprises. Dans la mesure où les pratiques sont bien établies, les changements drastiques préconisés par la méthode COGUINF se heurteront à des freins et des inquiétudes auxquels il sera nécessaire d'apporter des réponses
- **Budget** : Les aspects budgétaires ne sont pas abordés dans ce manuscrit. Il est en effet évident que le déploiement de la méthode CoGuiNF nécessitera la mise en œuvre d'efforts financiers dédiés lesquels ne sont pas estimés dans ces travaux.
- **Aspect international** : La méthode et les concepts qui lui sont propres ont été établis à partir de la culture dans le domaine du nucléaire en France, il est donc nécessaire dans le cas où la méthode serait déployée à l'étranger, de l'harmoniser par exemple par rapport aux aspects réglementaires (différents dans chaque pays).
- **Mise en œuvre opérationnelle** : la mise en œuvre de la méthode sur site nécessite l'accès aux données du projet et présente trois points particulièrement bloquant :
 - **Accès théorique aux données** : La disponibilité de ces données dépend en effet des acteurs impliqués et de leur capacité à extraire des données. Ces données, souvent générées par d'autres acteurs métier qui sont sur le site même de la construction de l'INB, peuvent en effet être soumises à une réglementation ne permettant pas leur diffusion (e.g. propriété intellectuelle)
 - **Accès physique aux données** : La récupération de ces données s'avère parfois être une tâche compliquée en termes d'installations requises pour mettre en place les instruments de mesures nécessaires cette récupération.
 - **Interopérabilité des outils** : Ces données sont pour la plupart issues de divers outils numériques et leur récupération nécessite donc la mise en place de démarche d'extraction rigoureuse en fonction de l'outil concerné. La multitude d'outils numériques impliqués aujourd'hui dans un projet de construction d'INB rend cette tâche conséquente en termes de charge de travail.

De fait, plusieurs perspectives de R&D peuvent d'ores et déjà s'envisager en vue d'améliorer la méthode face à ces limitations :

- Amélioration de la méthode
 - Simulation des processus : Afin de s'assurer de la faisabilité et de la pertinence des activités retenues pour un commissioning donné, notamment au regard de la disponibilité des ressources, il est intéressant d'envisager la simulation des processus et activités qui sont définis à l'aide du ProcessModellingDSML. Il faudrait pour ce faire définir une sémantique opérationnelle de ce langage permettant alors son interprétation directe et donc sa simulation sans passer par des transformations de modèles avec des avantages aujourd'hui reconnus. Il peut aussi s'avérer plus pertinent, pour des raisons techniques, d'étudier des environnements de simulation existants nécessitant alors de développer une transformation des modèles de processus vers le modèle exécutable compatible avec l'environnement de simulation sélectionné. D'autres modèles proposés dans CoGuiNF pourraient de même être dotés d'une sémantique opérationnelle ou faire l'objet de transformations afin de simuler l'ensemble du commissioning tel que spécifié en tant que système (en Design Time)

ou en cours d'exécution (en Run Time). On voit ici apparaître des notions de Maquettes Numériques (durant le Design Time) ou de Jumeaux Numériques (plus pertinents en Run Time) pour aider et supporter les acteurs du commissioning dans leurs choix et leurs décisions.

- Optimisation : A l'aide de l'analyse poussée rendue possible par la simulation abordée précédemment, il est envisageable d'optimiser les activités définies en termes de délais de coûts et de performance.
- Développement d'un outil pour opérationnaliser la méthode : La spécification d'un outil qui permet de supporter la méthode CoGuiNF a été réalisé pendant ces travaux. Il est donc pertinent d'identifier le développement de cet outil comme une amélioration. Le développement de cet outil devrait être réalisé dans les mois qui suivent la soumission de ce manuscrit.
- Déclinaison de la méthode sur des domaines plus ou moins spécifiques : La méthode a été ici pensée pour être déployée sur un projet de réalisation d'INB. Comme nous avons pu le voir dans le chapitre 3, le commissioning est une activité cruciale que l'on retrouve au sein de divers domaines (e.g. défense). Les concepts introduits dans la méthode CoGuiNF le sont à partir de classes abstraites qui structurent le méta modèle. Ces classes abstraites sont de nature générique et encapsulent des concepts que l'on retrouve dans tout projet d'ingénierie. En conséquence, une perspective d'amélioration est l'extension du périmètre d'application de la méthode à d'autres infrastructures critiques issues d'autres domaines, requérant l'adaptation subséquente du langage et l'ajustement éventuel des objectifs de modélisation
- La méthode proposée se base sur les concepts de SOI et de SUTD, ainsi que définis précédemment. Elle se focalise sur un sous-système du SUTD affectant notamment le système conçu (ici l'INB). Elle ne tient néanmoins pas compte à date de la modélisation de ce dernier. En conséquence, l'extension de la méthode et de son outillage pour englober la modélisation du système conçu permettrait d'instancier directement les liens entre eux au sein d'un même environnement méthodologique et technique et donc de réduire la complexité des procédures d'interopérabilité requises. Cette extension permettrait également un pilotage plus exhaustif du projet via les modèles via la capitalisation d'une partie des concepts de COGUINF qui sont aujourd'hui génériques.

Références Bibliographiques

- [1] Ouest France, « Quelle est la part du nucléaire dans le mix énergétique des principaux pays du monde ? » <https://www.ouest-france.fr/environnement/nucleaire/quelle-est-la-part-du-nucleaire-dans-le-mix-energetique-des-principaux-pays-du-monde-97ca60e6-2c23-11ec-8e7d-0373d7df7446> (consulté le 29 septembre 2022).
- [2] J.-L. R. Dominique Louis, *Energie nucléaire. Le vrai risque - Dominique Louis, Jean-Louis Ricaud*. Consulté le: 30 septembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.decitre.fr/livres/energie-nucleaire-9782213718149.html>
- [3] Q. M. Futura, « Coût du nucléaire en France : les chiffres de la Cour des comptes », *Futura*. <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/developpement-durable-cout-nucleaire-france-chiffres-cour-comptes-36447/> (consulté le 29 septembre 2022).
- [4] « Stuk: examen du rapport de sûreté pour Hanhikivi 1 », *Forum nucléaire suisse*, 5 juin 2014. <https://www.nuklearforum.ch/fr/nouvelles/stuk-examen-du-rapport-de-surete-pour-hanhikivi-1> (consulté le 30 septembre 2022).
- [5] E. Grauf, « 22 - Commissioning of nuclear power plants (NPPs) », in *Infrastructure and Methodologies for the Justification of Nuclear Power Programmes*, A. Alonso, Éd. Woodhead Publishing, 2012, p. 741-772. doi: 10.1533/9780857093776.3.741.
- [6] IAEA, *Commissioning Guidelines for Nuclear Power Plants*. IAEA, 2016. Consulté le: 30 mars 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.iaea.org/publications/10975/commissioning-guidelines-for-nuclear-power-plants>
- [7] « start [MBSE Wiki] ». <https://www.omgwiki.org/MBSE/doku.php> (consulté le 30 septembre 2022).
- [8] D. Desbois, « La transition numérique dans les entreprises, risques et opportunités pour les cadres », *Terminal. Technologie de l'information, culture & société*, n° 122, Art. n° 122, juin 2018, doi: 10.4000/terminal.2195.
- [9] P. GARRAUD, « POLITIQUE ÉLECTRO-NUCLÉAIRE ET MOBILISATION: La tentative de constitution d'un enjeu », *Revue française de science politique*, vol. 29, n° 3, p. 448-474, 1979.
- [10] T. Meyer, « Nucléaire et question climatique : construction et conséquences d'un discours géopolitique en France et en Suède », *Hérodote*, vol. 165, n° 2, p. 67-90, 2017, doi: 10.3917/her.165.0067.
- [11] « Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement », p. 90.
- [12] S. Russo, « L'incertitude et le droit de l'environnement. L'exemple du risque nucléaire. », p. 16.
- [13] OECD, *Public Attitudes to Nuclear Power*. OECD, 2010. doi: 10.1787/9789264097933-en.
- [14] M. Cordiez, Y. Maignac, et É. Fourreau, « Quelle place pour le nucléaire dans notre scénario énergétique ? », *DARD/DARD*, vol. 6, n° 2, p. 84-107, 2021, doi: 10.3917/dard.006.0084.
- [15] C. Midler, « Temps du produit, temps du projet, temps des métiers », *Social Science Information*, vol. 33, n° 1, p. 25-39, mars 1994, doi: 10.1177/053901894033001003.
- [16] J.-P. Pesola, H. Tanner, J. Eskeli, P. Parviainen, et D. Bendas, « Integrating Early V&V Support to a GSE Tool Integration Platform », in *2011 IEEE Sixth International Conference on Global Software Engineering Workshop*, août 2011, p. 95-101. doi: 10.1109/ICGSE-W.2011.32.
- [17] B. Zerger et M. Noël, « Nuclear power plant commissioning experience », *Progress in Nuclear Energy*, vol. 53, n° 6, Art. n° 6, août 2011, doi: 10.1016/j.pnucene.2011.04.010.
- [18] E. Morin, « L'INTELLIGENCE DE LA COMPLEXITÉ - Edgar Morin, Jean-Louis Le Moigne - livre, ebook, epub ». https://www.editions-harmattan.fr/index_harmattan.asp?navig=catalogue&obj=livre&razSqlClone=1&no=9175 (consulté le 30 septembre 2022).

- [19] C. Konrad, G. Jacobs, R. Rasor, R. Riedel, T. Katzwinkel, et J. Siebrecht, « Enabling complexity management through merging business process modeling with MBSE », *Procedia CIRP*, vol. 84, p. 451-456, janv. 2019, doi: 10.1016/j.procir.2019.04.267.
- [20] W. L. Gillis et E. A. Cudney, « A Standard for the Commissioning Process », *Front. Eng.*, vol. 2, n° 1, Art. n° 1, 2015, doi: 10.15302/J-FEM-2015006.
- [21] C. Cornu, V. Chapurlat, J.-M. Quiot, et F. Irigoien, « Customizable Interoperability Assessment Methodology to support technical processes deployment in large companies », *Annual Reviews in Control*, vol. 36, n° 2, Art. n° 2, déc. 2012, doi: 10.1016/j.arcontrol.2012.09.011.
- [22] « Control and Instrumentation Aspects of Nuclear Plant Commissioning », p. 9.
- [23] WANO, « Traits of a Healthy Nuclear Safety Culture », mai 2013.
- [24] « Regulatory Oversight of the Commissioning Phase for New Nuclear Reactors Workshop Proceedings », *Nuclear Energy Agency (NEA)*. https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_19832/regulatory-oversight-of-the-commissioning-phase-for-newnuclear-reactors-workshop-proceedings?details=true (consulté le 30 septembre 2022).
- [25] ISO, IEC, et IEEE, « ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems engineering—System life cycle processes ». 2008. Consulté le: 4 mai 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.iso.org/cms/render/live/fr/sites/isoorg/contents/data/standard/04/35/43564.html>
- [26] N. Albarello, « Application d'une approche MBSE pour l'intégration de processus de conception multidisciplinaire | Technical Papers », *Phoenix Integration*, 4 mai 2021. <https://www.phoenix-int.com/tech-papers/application-dune-approche-mbse-pour-lintegration-de-processus-de-conception-multidisciplinaire/> (consulté le 4 mai 2021).
- [27] S. Friedenthal, A. Moore, et R. Steiner, *A Practical Guide to SysML: The Systems Modeling Language*. Morgan Kaufmann, 2014.
- [28] S. Feldmann, K. Kernschmidt, et B. Vogel-Heuser, « Combining a SysML-based Modeling Approach and Semantic Technologies for Analyzing Change Influences in Manufacturing Plant Models », présenté à *Procedia CIRP*, déc. 2014, vol. 17. doi: 10.1016/j.procir.2014.01.140.
- [29] M. Matuleviciene et J. Stravinskiene, « How to develop key stakeholders trust in terms of corporate reputation », *Inžinerinė ekonomika*, vol. 27, n° 4, p. 472-478, 2016, doi: 10.5755/j01.ee.27.4.13987.
- [30] E. Gaillard, « Les systèmes informatiques fondés sur la confiance: un état de l'art. », p. 24.
- [31] M. Deutsch, « Cooperation and trust: Some theoretical notes », in *Nebraska Symposium on Motivation, 1962*, Oxford, England: Univer. Nebraska Press, 1962, p. 275-320.
- [32] N. Luhmann, *Trust and Power*. John Wiley & Sons, 2018.
- [33] D. Gambetta, « Can We Trust Trust? Diego Gambetta », août 2000.
- [34] F. Amarger, J.-P. Chanet, O. Haemmerlé, N. J. Hernandez, et C. Roussey, « Construction d'une ontologie par transformation de systèmes d'organisation des connaissances et évaluation de la confiance », *Revue des Sciences et Technologies de l'Information - Série ISI : Ingénierie des Systèmes d'Information*, vol. 20, n° n° 3, p. 37-61, 2015, doi: 10.3166/isi.20.3.37-61.
- [35] R. A. Falbo, G. Guizzardi, A. Gangemi, et V. Presutti, « Ontology Patterns: Clarifying Concepts and Terminology », p. 13.
- [36] C. Arora, M. Sabetzadeh, L. Briand, et F. Zimmer, « Requirement boilerplates: Transition from manually-enforced to automatically-verifiable natural language patterns », présenté à 2014 IEEE 4th International Workshop on Requirements Patterns, RePa 2014 - Proceedings, août 2014, p. 1-8. doi: 10.1109/RePa.2014.6894837.
- [37] I. T. 29110-1: 2016 ISO, « Systems and software engineering-Lifecycle profiles for Very Small Entities (VSEs)-Part 1: Overview », 2016.
- [38] M. Chinosi et A. Trombetta, « BPMN: An introduction to the standard », *Computer Standards & Interfaces*, vol. 34, n° 1, p. 124-134, janv. 2012, doi: 10.1016/j.csi.2011.06.002.
- [39] P. Roques, « MBSE with the ARCADIA Method and the Capella Tool », in *8th European Congress on Embedded Real Time Software and Systems (ERTS 2016)*, Toulouse, France, janv. 2016.

Consulté le: 4 mai 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01258014>

- [40] F. Pfister, V. Chapurlat, M. Huchard, C. Nebut, et J.-L. Wippler, « A proposed meta-model for formalizing systems engineering knowledge, based on functional architectural patterns », *Systems Engineering*, vol. 15, n° 3, Art. n° 3, 2012, doi: <https://doi.org/10.1002/sys.21204>.
- [41] G. O. Mueller, N. H. Mortensen, L. Hvam, A. Haug, et J. Johansen, « An approach for the development and implementation of commissioning service configurators in engineer-to-order companies », *Computers in Industry*, vol. 142, p. 103717, nov. 2022, doi: [10.1016/j.compind.2022.103717](https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103717).
- [42] J.-M. Folz, « La construction de l'EPR de Flamanville », p. 34.
- [43] A. SEBoK Editorial Board. 2021. The Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK), v. 2.4, R.J. Cloutier (Editor in Chief). Hoboken, NJ: The Trustees of the Stevens Institute of Technology. Accessed [DATE]. www.sebokwiki.org. BKCASE is managed and maintained by the Stevens Institute of Technology Systems Engineering Research Center, the International Council on Systems Engineering, and the Institute of Electrical and Electronics Engineers Systems Council., « SEBOK ».
- [44] Dominique Luzeaux, Jean-René Ruault, *Systems of systems*. 2010. Consulté le: 4 mai 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://halldulivre.com/livre/9781848211643-systems-of-systems-dominique-luzeaux-jean-rene-ruault/>
- [45] J. Bézivin, « On the Unification Power of Models », *Software and System Modeling*, vol. 4, p. 171-188, mai 2005, doi: [10.1007/s10270-005-0079-0](https://doi.org/10.1007/s10270-005-0079-0).
- [46] B. Nastov, C. Vincent, C. Dony, et F. Pfister, « Towards V&V suitable Domain Specific Modeling Languages for MBSE: A tooling approach », *INCOSE International Symposium*, vol. 26, p. 556-570, juill. 2016, doi: [10.1002/j.2334-5837.2016.00178.x](https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2016.00178.x).
- [47] R. Hilliard, « Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems », p. 28.
- [48] J.-L. Voirin, *Model-based System and Architecture Engineering with the Arcadia Method*. Elsevier, 2017.
- [49] « Business Process Model and Notation (BPMN), Version 2.0 », p. 538.
- [50] A. Aloui, K. Saadaoui, et M. W. Sleiman, « Le concept de parties prenantes : proposition d'une modélisation systémique par le modèle SAGACE », *Management & sciences sociales*, n° 19, p. 120-137, juill. 2015.
- [51] « What are data, information, and knowledge? », 28 novembre 2018. <https://internetofwater.org/valuing-data/what-are-data-information-and-knowledge/> (consulté le 22 septembre 2022).
- [52] « CAE FRAMEWORK », 18 août 2022. <https://claimsargumentsevidence.org/> (consulté le 18 août 2022).
- [53] « Dependability Assessment of Software for Safety Instrumentation and Control Systems at Nuclear Power Plants », 31 août 2017. <https://www.iaea.org/publications/12232/dependability-assessment-of-software-for-safety-instrumentation-and-control-systems-at-nuclear-power-plants> (consulté le 27 juin 2022).

Annexe : DSML de la méthode CoGuiNF

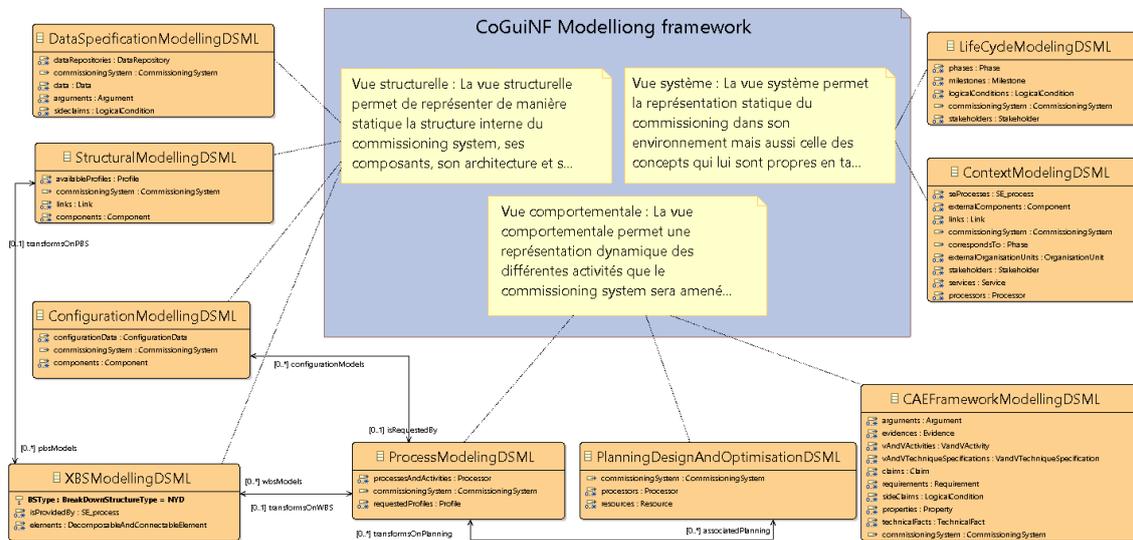


Figure 60: [VIEW] ALL views and associated DSML

ConfigurationModellingDSML	DSML de modélisation de configurations
ContextModellingDSML	DSML de description du contexte opérationnel du Commissioning system
ProcessModelingDSML	DSML pour représenter les processeurs (fonctions, activités et processus) qui décrivent le vision fonctionnelle d'un commissioning system
DataSpecificationModellingDSML	DSML de modélisation des données, informations et connaissances et de leur structuration
StructuralModellingDSML	DSML permettant de décrire l'architecture logique ou physique d'un commissioning system
CAEFrameworkModellingDSML	DSML pour la modélisation du Framework CAE
PlanningDesignAndOptimisationDSML	DSML permettant de représenter et de manipuler un planning dans le but de l'optimiser par exemple
LifeCycleModelingDSML	DSML permettant de modéliser le cycle de vie d'un commissioning system
XBSModellingDSML	DSML permettant de décrire une architecture fonctionnelle (FBS), logique ou physique (PBS) ou de travail (WBS) du commissioning system

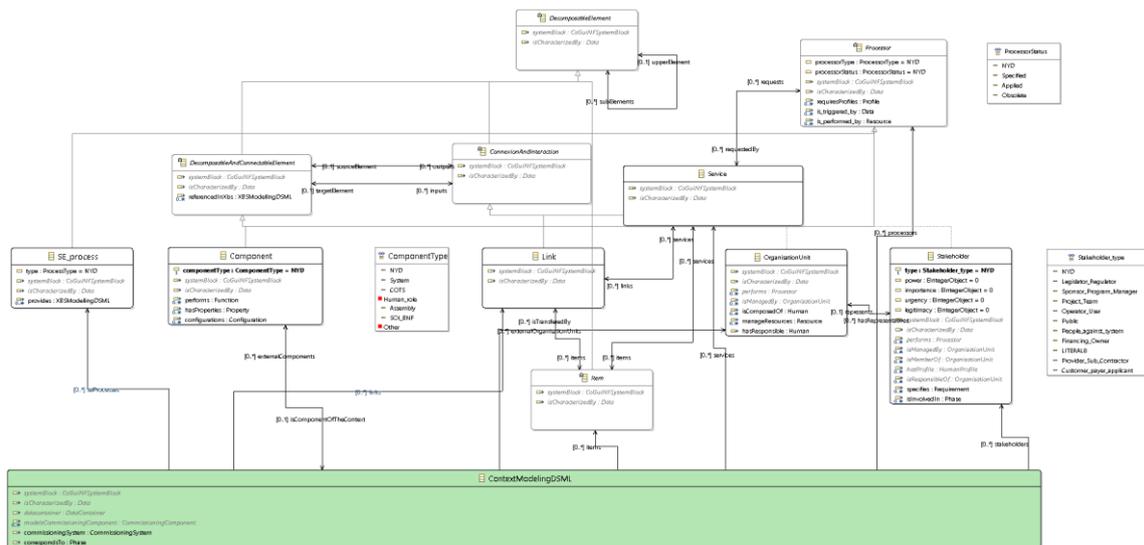


Figure 61: [ModelKind] Context modelling DSML

Link	Composant particulier qui permet le transport et l'échange d'Items entre des composants logiques ou physiques
Item	Flux d'objets de même type (Data, Energy, Material)
Stakeholder	individu ou organisation ayant un droit, une part, une revendication ou un intérêt dans un système
Service	Traduit la nécessaire capacité pour un composant à interagir avec d'autres composants pour réaliser sa mission (ensemble de Fonctions, d'Items et de Links dont le composant doit être muni)
DecomposableAndConnectableElement	Classe permettant de modéliser le commissioning system tel que défini
Processor	Classe abstraite permettant la modélisation de la transformation d'entrée en sorties par des ressources sous le contrôle de certaines contraintes
ContextModelingDSML	DSML de description du contexte opérationnel du Commissioning system
OrganisationUnit	Groupe de ressources humaines qui est sous la responsabilité d'une ressource humaine particulière (ex : entreprise, équipe, département etc.).
SE_process	Processus d'Ingénierie Système (e.g. Ingénierie des exigences, Ingénierie es Architectures, Vérification, Validation, Analyse système, ...)
ConnexionAndInteraction	Classe abstraite permettant de représenter les connexions et les interactions entre les différents composants
DecomposableElement	Classe permettant de modéliser le commissioning system tel que défini
Component	Entité architecturale d'un système qui permet de représenter un élément (système, sous système, composant, mécanisme ou segment)

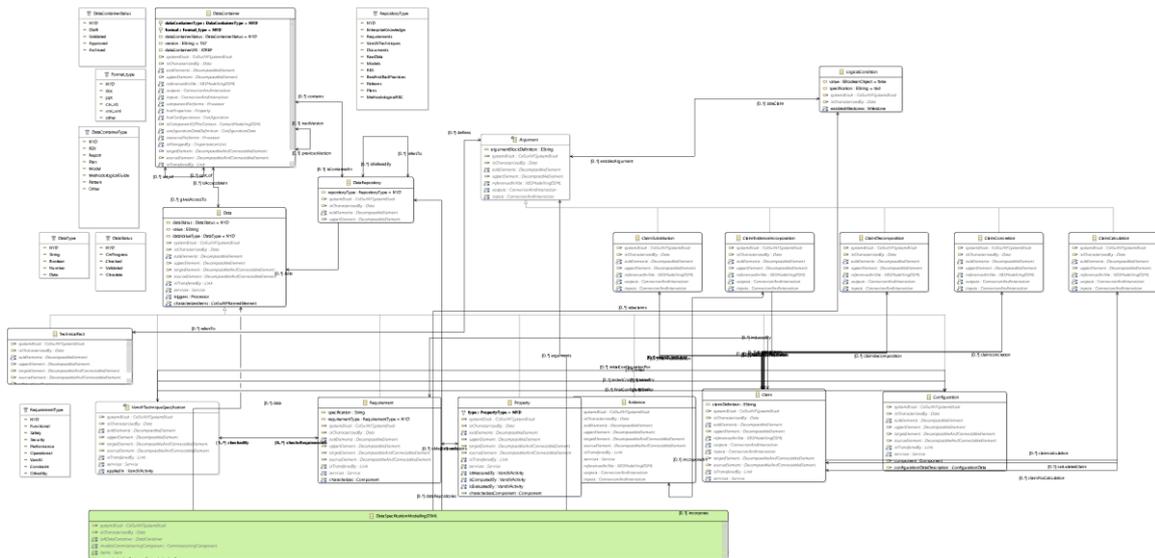


Figure 62: [ModelKind] Commissioning Data Specification (project informational model)

DataRepository	Contenant logique des DataContainer
Argument	Classe abstraite permettant la définition de règles qui font le lien entre ce que nous savons ou supposons (sous-entendus, preuves) et la Claim concernée. L'argument utilisé dépend du type, de la fiabilité et de l'étendue des Evidence disponibles et de la nature de la Claim.
ClaimCalculation	utilisé lorsqu'une certaine valeur de la Claim peut être calculée ou prouvée
ClaimDecomposition	Classe de relation permettant de décomposer une Claim
DataSpecificationModellingDSML	DSML de modélisation des données, informations et connaissances et de leur structuration
ClaimConcretion	Classe de relation qui donne une définition plus précise de certains aspects de la Claim.
ClaimSubstitution	Classe de relation qui permet de raffiner une Claim sur un objet en une autre Claim sur un objet équivalent.
Data	Donnée, information ou connaissance.
LogicalCondition	Condition validée par un événement et qui autorise le franchissement de Milestone
Property	Propriété non fonctionnelle que l'on cherche à démontrer, vérifier ou valider à l'aide d'une activité de VandV
VandVTechniqueSpecification	Spécification de la méthode avec laquelle sont vérifiées les exigences
DataContainer	Contenant logique des données
Claim	déclaration vraie ou fausse concernant une propriété d'un objet particulier, ce que l'on peut considérer comme étant l'usage courant du terme : une idée dont quelqu'un essaie de convaincre quelqu'un d'autre qu'elle est vraie. Un exemple d'affirmation pourrait être : "Le système est sûr".
Evidence	Une evidence est un artefact qui établit des faits auxquels on peut se fier et qui mènent directement à une Claim
TechnicalFact	Fait technique qui appuie un ou des Arguments
ClaimEvidenceIncorporation	Classe de relation qui permet d'incorporer des preuves qui soutiennent directement l'affirmation.
Configuration	Liste d'éléments ou d'agrégats de matériel, de logiciel, ou les deux, traité comme une entité unique dans le processus de gestion de configurations.
Requirement	déclaration qui traduit ou exprime un besoin et les contraintes et conditions qui y sont associées

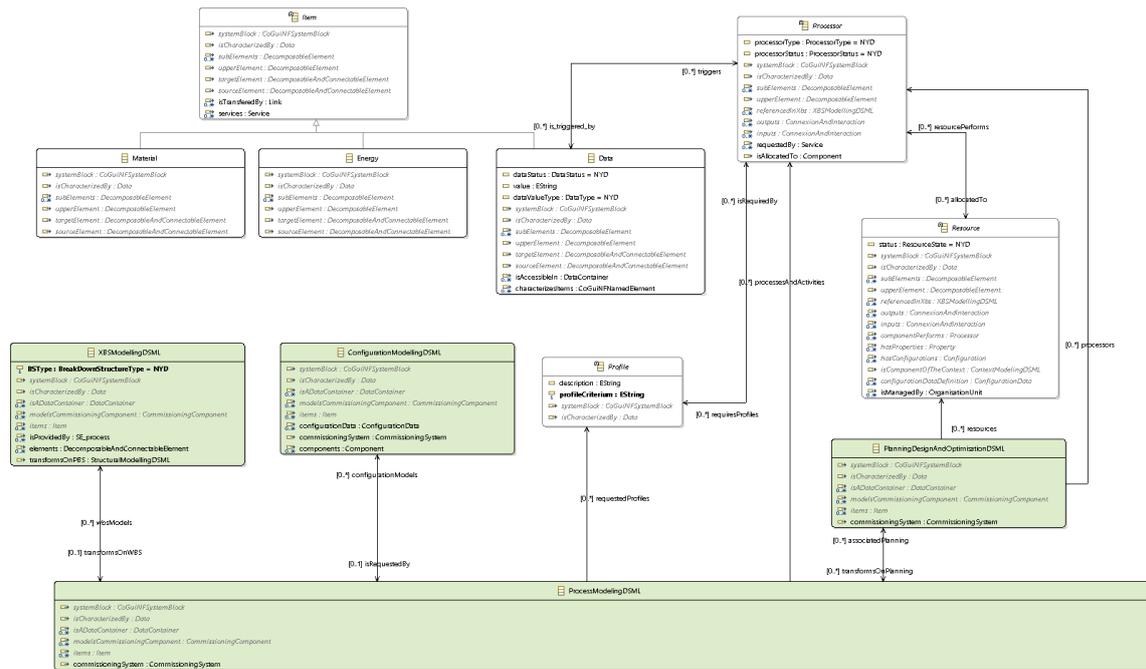


Figure 63: [ModelKind] Functional (Process/Activities/Tasks/Operations)

ConfigurationModellingDSML	DSML de modélisation de configurations
Profile	Classe abstraite : Ensemble des capacités, compétences et aptitudes d'une ressource
Energy	Item d'énergie (electrique, hydraulique, etc.) devant être processées ou resultante de l'activité d'un ou plusieurs processeurs
ProcessModellingDSML	DSML pour représenter les processeurs (fonctions, activités et processus) qui décrivent le vision fonctionnelle d'un commissioning system
Item	Flux d'objets de même type (Data, Energy, Material)
Processor	Classe abstraite permettant la modélisation de la transformation d'entrée en sorties par des ressources sous le contrôle de certaines contraintes
Material	Item de type matière (liquide, solide, gazeuse, etc.)
PlanningDesignAndOptimisationDSML	DSML permettant de représenter et de manipuler un planning dans le but de l'optimiser par exemple
Data	Donnée, information ou connaissance.
Resource	Classe abstraite permettant la définition des actifs utilisés ou consommés pendant l'exécution d'un processor
XBSModellingDSML	DSML permettant de décrire une architecture fonctionnelle (FBS), logique ou physique (PBS) ou de travail (WBS) du commissioning system

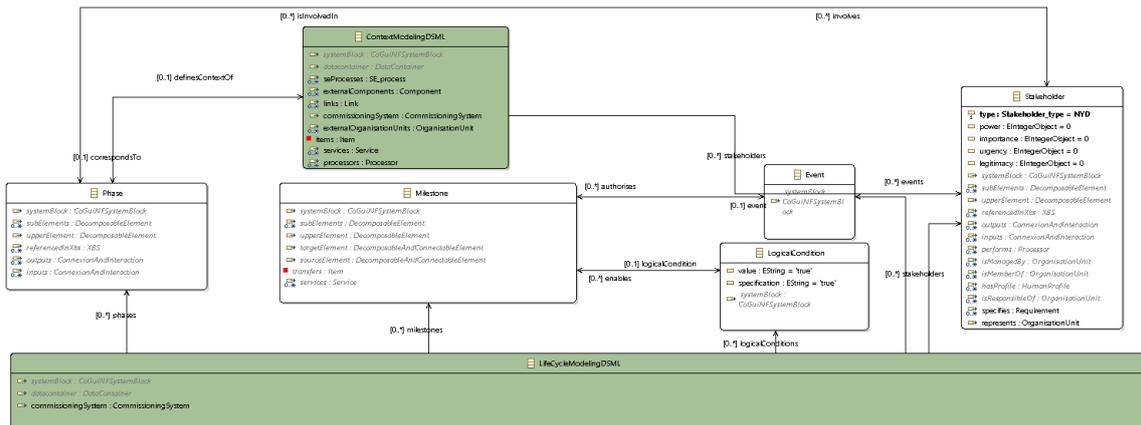


Figure 65: [ModelKind] Life Cycle

Phase	Etape du cycle de vie
LogicalCondition	Condition validée par un événement et qui autorise le franchissement de Milestone
Stakeholder	individu ou organisation ayant un droit, une part, une revendication ou un intérêt dans un système
Milestone	Condition qui autorise le passage d'une phase à une autre du cycle de vie
ContextModelingDSML	DSML de description du contexte opérationnel du Commissioning system
LifeCycleModelingDSML	DSML permettant de modéliser le cycle de vie d'un commissioning system
Event	Quelque chose qui arrive et dont l'occurrence valide des conditions logiques.

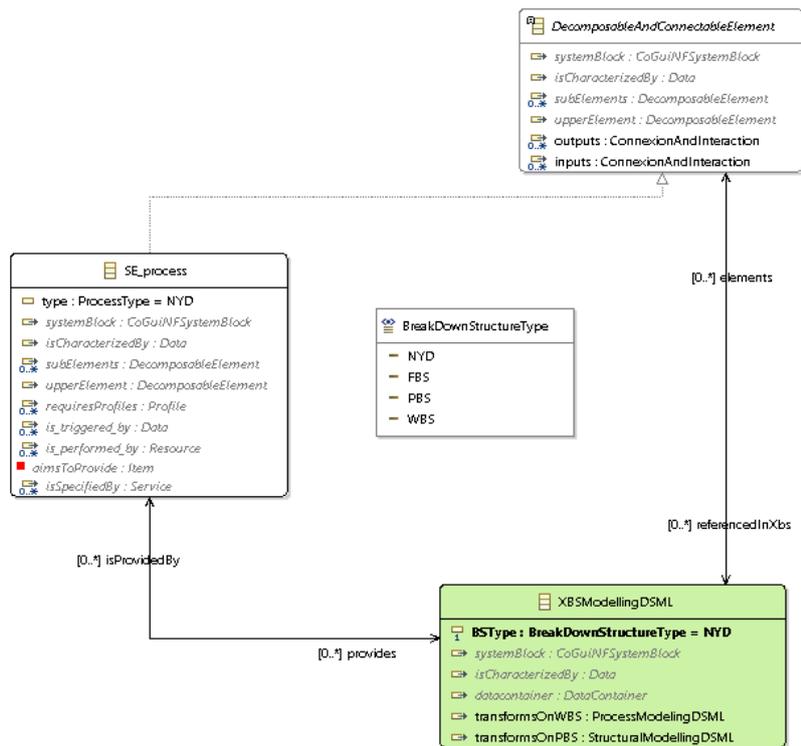


Figure 66: [ModelKind] Break Down Structure

SE_process	Processus d'Ingénierie Système (e.g. Ingénierie des exigences, Ingénierie es Architectures, Vérification, Validation, Analyse système, ...)
DecomposableAndConnectableElement	Classe permettant de modéliser le commissioning system tel que défini
XBSModellingDSML	DSML permettant de décrire une architecture fonctionnelle (FBS), logique ou physique (PBS) ou de travail (WBS) du commissioning system

Component	Entité architecturale d'un système qui permet de représenter un élément (système, sous système, composant, mécanisme ou segment)
Data	Donnée, information ou connaissance.

Résumé / Abstract

Résumé : Le commissioning est une phase particulière dans le cycle de vie d'un système qui a pour objet de vérifier, tester et valider le système tel que construit en termes de performances, sûreté et sécurité avant de permettre sa livraison en toute confiance, sûreté et sécurité au futur opérateur du système. Dans le domaine nucléaire, les facteurs de complexité sont nombreux : parties prenantes et réglementaires nombreuses et hétérogènes, grand nombre de données, d'informations et de connaissances à gérer, projets longs, complexité de l'installation nucléaire visée elle-même du point de technique et technologique, ou des impacts sociétaux, financiers et environnementaux que sa construction puis sa mise en exploitation suscitent, etc. Cette étape de commissioning reste de fait difficile, coûteuse et risquée. Les travaux de recherche présentés dans ce manuscrit visent à développer une méthode baptisée CoGuiNF (Commissioning Guideline for Nuclear Facilities) pour spécifier, valider au plus tôt, optimiser puis piloter le commissioning d'une Installation Nucléaire de Base (INB). Cette méthode s'inspire de l'approche d'Ingénierie Système Basée Modèles (MBSE) et se positionne en étroite interaction avec les processus de conception et de réalisation que promeut l'Ingénierie Système. D'une part, elle fournit les éléments permettant aux acteurs impliqués dans des projets de proposer, préparer, conduire et clôturer les activités liées au commissioning en assurant la traçabilité des opérations. Elle fournit d'autre part aux managers de l'entreprise, les moyens de déployer cette méthode au sein de l'entreprise pour améliorer la culture, le partage d'expériences et l'acculturation et la prise en compte du commissioning dans les futurs projets.

Summary: Commissioning is a particular phase in the life cycle of a system that aims to verify, test and validate the as-built system in terms of performance, safety and security before allowing its confident, safe and secure delivery to the future system operator. In the nuclear field, there are many factors of complexity: numerous and heterogeneous stakeholders and regulations, a large number of data, information and knowledge to be managed, long projects, the technical and technological complexity of the nuclear installation in question, or the societal, financial and environmental impacts of its construction and subsequent operation, etc. This commissioning stage remains difficult, costly and risky. The research work presented in this manuscript aims to develop a method called CoGuiNF (Commissioning Guideline for Nuclear Facilities) to specify, validate as early as possible, optimise and then manage the commissioning of a Basic Nuclear Facility (BNI). This method is inspired by the Model-Based System Engineering (MBSE) approach and is positioned in close interaction with the design and implementation processes promoted by Systems Engineering. On the one hand, it provides the elements that allow the actors involved in projects to propose, prepare, conduct and close the activities related to commissioning by ensuring the traceability of operations. On the other hand, it provides company managers with the means to deploy this method within the company in order to improve the culture, the sharing of experiences and the acculturation and consideration of commissioning in future projects.