

# Éléments méthodologiques d'un cadre holistique d'interopérabilité d'une plateforme de monitoring pour l'ingénierie des systèmes

Mots-clés : Ingénierie Système, Model-Based Systems Engineering, Modélisation d'Entreprise, Gestion de Projet, Plateforme numérique, Monitoring, Interopérabilité, Configuration, Espace de collaboration, Gestion des connaissances, Knowledge management, Aide à la décision, Decision management

## 1 CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE DU PROJET MAP-IS

Les projets d'ingénierie sont sujets à de nombreuses dérives : coûts, délais... Ces dérives sont issues d'abord du manque d'identification et de traçabilité des données importantes et pertinentes pour la conception et le suivi d'un projet/système, puis du manque de lien entre les données du projet/système et les indicateurs de suivi/performances de ce dernier.

Le projet MAP-IS, initié par l'entreprise AXONE, est une plateforme fédérative qui a pour finalité d'assister les acteurs de projets de déploiement de l'Ingénierie Système (IS) dans des entreprises clientes. Pour cela, il faut développer des mécanismes d'automatisation cognitive pour l'aide à l'ingénierie d'un système d'intérêt (produits et services), mais aussi du projet d'ingénierie lui-même. Le terme IS insiste sur le positionnement de MAP-IS qui suit un cadre systémique structurant et, plus précisément, les principes, concepts et processus de l'IS et du Model Based Systems Engineering (MBSE).

MAP-IS a donc pour missions :

- 1) De structurer les Données, Informations et Connaissances d'un projet (notées DIC dans la suite) dans un ou plusieurs référentiels appelés *espaces de collaboration*, ces espaces se présentant sous forme d'une ou plusieurs *configurations* qu'il faut construire, gérer dans le temps, partager, savoir réutiliser, etc.
- 2) D'implémenter des fonctions essentielles en utilisant alors ces référentiels de DIC.

Cela nécessite d'être en mesure, entre autres, d'arriver à fédérer et rendre interopérables :

- Des outils divers et variés utilisés par les acteurs (concepteurs, architectes, chefs de projet...) dans le cadre de leurs projets (selon leurs besoins du moment, habitudes, usages, savoir-faire...) : MAP-IS n'est pas un outil de conception mais une plateforme de fédération d'outils d'ingénierie ;
- Les *espaces de collaboration*, certains pouvant être liés à un outil donné ou à un groupe d'acteur(s). Cette interopérabilité est requise, afin justement d'arriver à partager les DIC en confiance et sans pertes, redondances, incohérences... à la fois sémantiquement (désambiguïsation, formalisation, preuve de cohérence...) et pragmatiquement (en tenant compte des usages et des réels besoins à un moment donné de ces acteurs). MAP-IS sort donc de la seule problématique d'interopérabilité technique (souvent syntaxique) des outils, qui est déjà largement étudiée, sans réelle solution fiable ;

## 2 VERROUS A LEVER

Une première analyse de l'état de l'art a permis l'identification de verrous/limitations relatifs à la réalisation du projet MAP-IS. On appellera « verrou » un manque perçu constaté *a priori* dans l'état de l'art, empêchant d'atteindre les objectifs de recherche.

Parmi ces verrous, les suivants ont été identifiés comme particulièrement intéressants dans le cadre de cette thèse :

- **Verrous conceptuels** : *configuration* et principes de gestion d'une *configuration*, interopérabilité sémantique et pragmatique des *espaces de collaboration* ;
- **Verrous méthodologiques** : construction, alimentation, partage et traçabilité des évolutions de ces DIC, dans chaque *espace de collaboration*, prises d'abord séparément, puis en tenant compte des règles de dépendance et d'influence entre *espaces de collaboration* différents ;
- **Verrous techniques** : variété, volume et vitesse des échanges de DIC pour aller vers une meilleure performance ; interopérabilité au sens de la plateforme MAP-IS ; architecture de l'ensemble et des techniques applicables (BD, stockage, ...) pour assurer performance, résilience et pertinence.

Il s'agira dans cette thèse de proposer des contributions pour lever une partie de ces verrous, en tenant compte de deux contraintes essentielles :

- Il faudra pouvoir s'assurer en permanence de la traçabilité des contributions à un cadre méthodologique vu comme un standard. Ce cadre, qu'il s'agira de spécifier en détail dans la thèse, regroupera un ensemble de connaissances normalisées issues de la systémique, de l'ingénierie de systèmes complexes dont le MBSE, de la modélisation d'entreprise, et de la gestion de projet ;
- L'ensemble des contributions, notamment la méthode et ses composantes présentées ci-après (concepts, langages, démarche, outils), seront testés et validés en interne par les collaborateurs d'AXONE eux-mêmes.

## 3 SUJET : « ÉLÉMENTS METHODOLOGIQUES D'UN CADRE HOLISTIQUE D'INTEROPERABILITE D'UNE PLATEFORME DE MONITORING POUR L'INGENIERIE DES SYSTEMES »

Les objectifs à 3 ans des travaux envisagés consistent à :

- Définir un cadre sémantique et dynamique du partage ;
- Dans ce cadre, expliciter notamment les mécanismes de gestion de *configurations* à appliquer ;
- Développer une preuve de concept (POC) qui sera basée sur les DIC d'un ou plusieurs projet(s) d'ingénierie, démontrant l'intérêt des travaux, de la méthode et de MAP-IS ainsi « enrichi ». À noter que ces cas d'application devront être implémentés de manière progressive en utilisant des sous-ensembles cohérents de fonctions de MAP-IS à définir, avant que la POC soit mise en œuvre sur un cas intégrant toutes les fonctionnalités.

Ces travaux de thèse visent à **développer une méthode de construction, de fédération, de partage et de traçabilité des *configurations* des DIC dans un *espace de collaboration* donné puis entre des *espaces de collaboration* connexes ou proches, en tenant compte de la problématique forte de l'interopérabilité évoquée plus haut.**

Toute méthode nécessite (voir Figure 1) :

- De définir sans ambiguïté conceptuelle, syntaxique, sémantique et pragmatique, un ensemble de **concepts** relevant du domaine dans lequel travaille l'entreprise. Les concepts visés doivent tenir compte :
  - des fonctionnalités souhaitées de MAP-IS ;
  - du domaine visant au déploiement de méthodes, d'outils et de projets utilisant ou basés sur les principes et processus, méthodes et outils de l'Ingénierie Système ;
  - des vocabulaires métier et techniques de l'entreprise AXONE ;
  - des vocabulaires métier des utilisateurs externes ;
- De promouvoir, d'enrichir ou d'utiliser lorsqu'ils existent des langages ou DSML (Domain Specific Modelling Language, en particulier dans le domaine du MBSE) permettant de manipuler ces concepts. Un DSML, est défini par :
  - Sa **Syntaxe Abstraite**, souvent formalisée sous forme d'un méta modèle (ensemble de concepts métier auxquels sont attribués des attributs typés, reliés par des relations contraintes et possédant éventuellement elles aussi des attributs typés).
  - Sa **Sémantique Métier** qui repose sur une définition unique et non ambiguë de chaque concept et relation du méta modèle spécifiant la Syntaxe Abstraite.
  - Une ou plusieurs **Syntaxes Concrètes Graphiques ou Textuelles** définies pour correspondre aux usages et préférences des utilisateurs des DSML, offrant ainsi un formalisme graphique ou textuel pouvant être paramétrable, et favorisant alors son usage et promouvant la confiance entre les utilisateurs puisque partageant des concepts identiques mais les manipulant sous un formalisme plus aisé et plus adapté pour eux.
  - Une (ou, en perspective, plusieurs) **Sémantique(s) Opérationnelles(s)** qui définissent le comportement du modèle établi avec ce DSML, ce qui permet alors d'exécuter tout modèle conforme à ce DSML et d'automatiser certaines vérifications de propriétés pour s'assurer que l'on progresse en confiance. Ces **propriétés** se décomposent en :
    - **Propriétés modèles** : les propriétés que doivent posséder et respecter les modèles. Elles permettent de vérifier que le modèle est bien construit ;
    - **Propriétés Système** : les propriétés qui traduisent certaines des exigences contenues dans le référentiel des exigences, exigences que les modèles doivent prendre en compte en fonction de leur nature (et de la vue à laquelle ils appartiennent, puisque chaque modèle est une description partielle d'un point de vue donné du Sol. Elles permettent d'avancer dans l'objectif de modélisation mais ne permettent en aucun cas de valider le modèle de manière exhaustive ;
    - **Propriétés axiomatiques** qui traduisent des faits ou règles avérés telles que lois de la physique, etc. mais aussi des **propriétés métiers**. Ces dernières, bien qu'évolutives selon les contextes ou les situations (état d'avancement d'un projet, type d'affaire, nature même du système d'intérêt ou encore degré de maturité de la conception), participent à la description de ces faits et règles, et permettent de guider ou contraindre la modélisation et supporter la validation partielle des modèles, avant leur partage avec d'autres utilisateurs d'*espaces de collaboration* connexes ou proches.
- De disposer et de déployer dans l'organisation qui va chercher à utiliser cette méthode, une **démarche opératoire** servant ici le déploiement méthodologique et technique qui est la raison d'être d'AXONE. Cette démarche met en avant des processus pour guider les acteurs métier tout au long de la modélisation, des analyses, des propositions, des décisions et des justifications qui leur incombent. Les processus de l'IS sont aujourd'hui standardisés en tenant compte des besoins de l'organisation, Grand Groupe ou PME [ISO 15288, ISO29110] et le MBSE s'inspire et irrigue en particulier les processus techniques et le processus support de l'IS ;
- De mettre en œuvre des **outillages** informatiques supports (de modélisation, de simulation, de découverte puis de structuration de référentiels de DIC dans chaque *espace de*

*collaboration*, d'élaboration et de manipulation des règles de transformation, d'alignement, d'assistance à l'analyse ... des configurations des DIC. Ces contributions concourent toutes à la transformation numérique continue des entreprises clientes d'AXONE ;

- De capitaliser et valoriser un **référentiel d'expertises et de pratiques** e.g. des connaissances métiers de haut niveau et partageables hors du contexte d'un projet donné par exemple. Elles viennent de projets passés, de patrons de modélisation, de REX de clients ou encore de bonnes pratiques de modélisation que préconisent ces métiers.

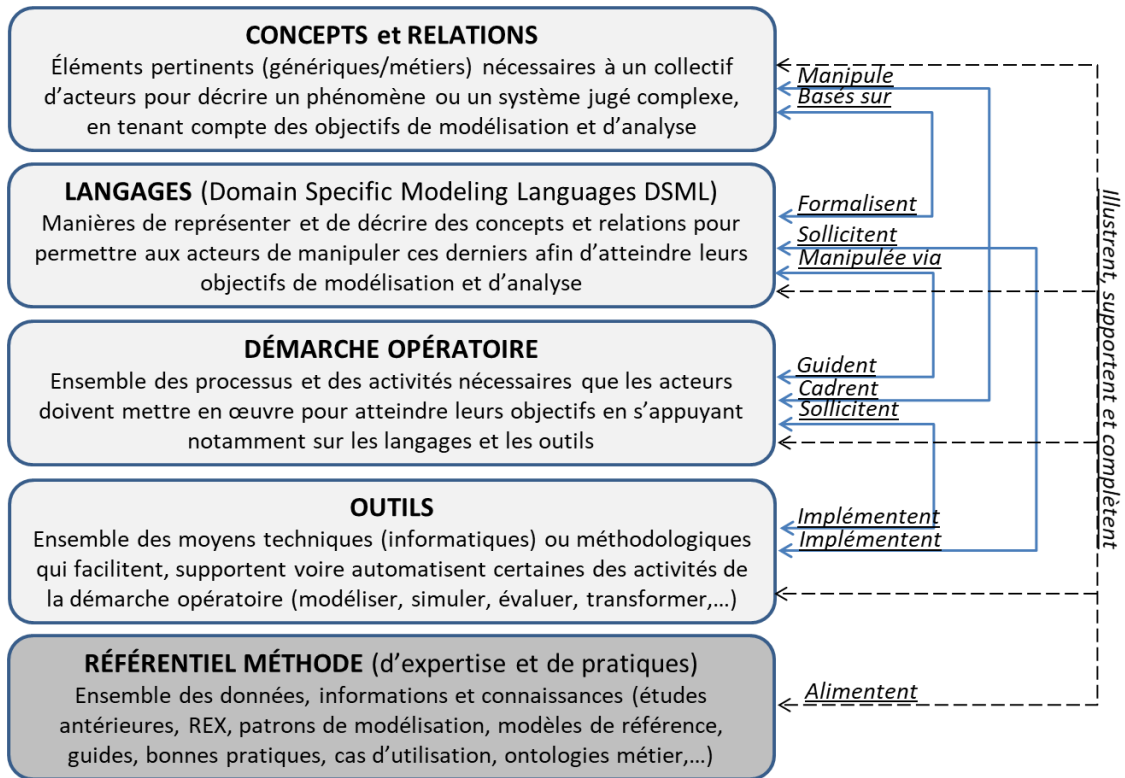


Figure 1: Constituants d'une méthode

## 4 CAS D'APPLICATION ET DEMONSTRATION

Un cas d'application retenu en première approche est un système intervenant dans un domaine à fort enjeu de performances (énergies renouvelables, spatial, aéronautique ou nucléaire), qui présente l'intérêt de devoir prendre en compte des disciplines transverses comme la sécurité, la disponibilité ou le coût global de possession. Il pourra s'agir par exemple d'un système de distribution électrique développé en collaboration avec un grand groupe de renom pour un réacteur nucléaire expérimental, un nouveau type de réacteur de puissance électrique, un système pour assurer la disponibilité énergétique dans le cadre de la transition énergétique (contribution à la construction d'un mix énergétique performant). Cette première approche pourra être remplacée ou renforcée par d'autres cadres opérationnels en rapport avec les activités d'AXONE.

Afin de démontrer l'apport technique et les gains opérationnels de MAP-IS, AXONE, en relation avec l'industriel et l'application retenue, pourra ainsi reproduire par exemple un cas de conception et réalisation d'un système courants forts, courants faibles, contrôle commande d'une installation nucléaire, déjà réalisé, pour démontrer les apports méthodologiques et outillés de la thèse. À ce cas d'application ont été en première analyse identifiés des parties prenantes, des outils logiciels impliqués pour la création et la gestion de données d'ingénierie, et des indicateurs de performances pour le monitoring du projet.

## 5 LIVRABLES DE LA THESE

**L0** : Rapport bibliographique, en versions semestrielles successives, dont la version préliminaire comporte :

- 1) Tableau des verrous identifiés et des verrous adressés ;
- 2) Hypothèses (cadres d'interopérabilité retenus, modèle de maturité et indicateurs retenus, etc.) ;
- 3) Intention de contributions ;
- 4) État de l'art justificatif des contributions.

**L1** : Cadre méthodologique de l'interopérabilité, comportant :

- 1) Note de concepts et relations ;
- 2) Liste de propriétés modèles et axiomatiques liées ou traduisant les besoins d'interopérabilité ;
- 3) Liste des propriétés métiers et système décrivant le système d'intérêt visé ;
- 4) Note et logigrammes de définition de la démarche opératoire intégrant contraintes d'interopérabilité, confiance des parties prenantes, et définissant un cadre pour les projets qui débuteraient et une feuille de route d'évolution possible en cours de projet ;
- 5) Cadre technique (cahier des charges de l'outil).

**L2** : Outil démonstrateur.

**L3** : Documentation relative au projet pilote, comportant :

- 1) Note d'identification des DIC importantes (quels KPIs, quels xBS) ;
- 2) DSML proposés et exemples de Modèles ;
- 3) Liste de propriétés Système (et éventuellement métiers) ;
- 4) Chroniques (analyses au sens large, décisions, justifications).

**L4** : Manuscrit de thèse

**L5** : Publications : la campagne de publication minimale est composée de deux conférences internationales soumises et acceptées dans la période des 36 mois de thèse et une revue soumise avant la soutenance de thèse.

## 6 ORGANISATION DES ACTIVITES

Le travail proposé consiste à mener à bien plusieurs activités synthétisées dans la suite, et devant être planifiées de manière à permettre une itération entre les aspects conceptuels, techniques et applicatifs pour converger vers la méthode attendue :

- Analyser les problématiques auxquelles MAP-IS s'adresse ;
- Réaliser un état de l'art afin d'identifier puis d'étayer les verrous empêchant aujourd'hui de répondre aux problématiques ;
- Proposer une intention de contribution en adressant la thèse à un ensemble de ces verrous ;
- Formaliser les espaces de collaboration et configuration
- Développer le cadre conceptuel de l'interopérabilité ;
- Analyser les impacts sur la confiance ;
- Formaliser les éléments de la méthode résultante ;
- Développer l'outil démonstrateur support de cette méthode ;
- Réaliser une boucle itérative d'expérimentation :
  - Réaliser une preuve de concept pour valider ;
  - Formaliser les éléments de retours d'expérience ;
  - Mettre à jour les éléments méthodologiques et planifier de nouveaux tests ;
  - Améliorer l'outil démonstrateur ;
- Publier les résultats.

## 7 ENCADREMENT ET FINANCEMENT

L'Ecole Doctorale de rattachement est l'ED I2S de l'Université Montpellier (ED n°166).

La thèse se déroulera au sein de l'entreprise **AXONE**, au Château de la Saurine, 1985, Route de Martina, 13590 MEYREUIL (<https://www.axonegroup.com>), et selon les besoins à l'**IMT Mines Alès**, 7 rue Jules Renard, 30319 ALÈS Cedex (<http://mines-ales.fr/>), dans le cadre d'une convention CIFRE.

L'encadrement sera le suivant :

- Directeur de thèse : Vincent CHAPURLAT, [vincent.chapurlat@mines-ales.fr](mailto:vincent.chapurlat@mines-ales.fr), 04 34 24 62 87
- Co-encadrant : Joseph ARACIC, [j.aracic@axonegroup.com](mailto:j.aracic@axonegroup.com), 06 03 80 83 49
- Co-encadrant : Maxence LAFON, [m.lafon@axonegroup.com](mailto:m.lafon@axonegroup.com), 06 08 70 77 50

La durée du CDD est de 36 mois avec une rémunération brute annuelle de 27 000 € sous convention CIFRE. La transformation en CDI pourra être discutée dès le démarrage de la thèse.

**AXONE** est un acteur important dans la maîtrise des risques liés aux systèmes complexes. Au travers des projets qu'elle conduit pour ses clients, la société AXONE a su acquérir, mettre en application et développer des compétences stratégiques dans plusieurs secteurs d'activité et a choisi d'orienter son expertise dans la maîtrise des systèmes complexes, à travers plusieurs domaines de compétences que sont l'Ingénierie Système, la Sûreté Nucléaire, la Sûreté de Fonctionnement et le Soutien Logistique Intégré. Sur le plan méthodologique, et au travers d'une démarche systémique, AXONE accompagne toujours ses prestations d'un regard critique sur ses propres méthodes de travail, afin que le projet ou le produit accomplisse sa mission principale sous l'impérieuse nécessité de prévenir et gérer les risques en cherchant constamment à diminuer leur impact potentiel. Cette attitude permet dans de nombreux cas d'apporter une plus-value financière par la baisse du coût de l'impact d'un risque, ou par la diminution des contraintes induites par l'apparition d'un risque.

L'équipe **ISOAR** (Ingénierie de Systèmes pour les Activités à Risques) de l'**IMT Mines Alès** travaille sur le développement des aspects conceptuels, méthodologiques et techniques pour soutenir des activités d'ingénierie d'un système complexe, qui visent à produire et réaliser un artefact jugé satisfaisant pour répondre à l'ensemble des besoins, contraintes et usages des parties prenantes impliquées ou concernées par ces activités d'ingénierie. L'objectif est de leur permettre de comprendre, exprimer des besoins, modéliser, comparer des solutions et progresser en confiance (V&V et évaluation). 5 thèses ont été soutenues récemment (Amokrane, 2016), (Nastov, 2017), (Lemazurier, 2018), (Lafon, 2019) et (Moradi 2019) ; 2 thèses ont démarré au 1<sup>er</sup> Novembre 2019 dans le cadre de la Chaire Industrielle MBSE-CI (Model Based Systems Engineering for Critical Infrastructures (Bourdon, Gaignebet)) ; enfin, 1 thèse CIFRE et une thèse CRE ont aussi démarré au 1<sup>er</sup> Novembre 2019 (Roumilly sur la démonstration de sûreté nucléaire, et Bou-Slihim sur la modélisation et l'optimisation de parcours patients dans un système territorial de santé).

## 8 PROFIL RECHERCHE

Le(la) candidat(e) doit être titulaire d'un diplôme de Master 2 ou d'Ingénieur, mettant en avant notamment des compétences dans les domaines du Génie Industriel et du Génie Logiciel. Plus particulièrement, des connaissances et des expériences dans les domaines suivants seront particulièrement appréciées :

- Systémique et pensée Système,
- Développements informatiques pour outiller et développer la POC,
- Ingénierie Système et MBSE,
- Gestion de projet.

Le(la) candidat(e) doit faire preuve de qualités d'organisation, de rigueur et doit être force de proposition. De plus, le sujet étant appelé à être pluridisciplinaire, une grande curiosité intellectuelle et des capacités relationnelles et d'adaptation à un secteur complexe sont également exigées.

**Date limite de candidature : 30/04/2020**