

Ingénierie collaborative des systèmes complexes : SystemX dresse le bilan de son projet de recherche I(SC)²

Lancé en 2015, le projet Ingénierie Système Collaborative des Systèmes Complexes de l'IRT SystemX vient de s'achever. Son ambition : améliorer, en phase de préparation des programmes de Défense, les processus de collaboration pour l'ingénierie système basée sur les modèles (MBSE), dans le cadre de l'entreprise étendue constituée par la maîtrise d'ouvrage (MOA) et l'ensemble de ses partenaires industriels.

Palaiseau, le 18 mars 2021 – L'Institut de Recherche Technologique (IRT) [SystemX](#) annonce la clôture de son projet de R&D [Ingénierie Système Collaborative des Systèmes Complexes I\(SC\)²](#). D'une durée de 5 ans, ce projet a fédéré 5 partenaires institutionnels et industriels (ArianeGroup, Dassault Aviation, DGA, Naval Group et Thales) et 2 partenaires académiques (l'Ecole Polytechnique et Télécom Paris à travers la chaire Ingénierie des systèmes complexes, et le LIP6) autour de l'amélioration des solutions de collaboration Maîtrise d'Ouvrage (MOA) – Maîtrise d'Œuvre Industrielle (MOI), dans le contexte de l'Ingénierie Système dirigée par les modèles (MBSE) et en utilisant les techniques numériques de dernière génération. Ces nouvelles capacités d'ingénierie collaborative en entreprise étendue sont clés pour maintenir la compétitivité de l'industrie française des grands systèmes complexes, en particulier de défense, aéronautiques et navals.

« L'ambition du projet I(SC)² était de définir des processus collaboratifs d'ingénierie système basée sur les modèles, et de spécifier les services indispensables aux plateformes d'ingénierie collaborative en phase de préparation des programmes de défense ; autrement dit, faire en sorte que la DGA et ses partenaires industriels puissent interagir très étroitement tout au long du processus de conception amont. Le projet visait plus précisément l'objectif de faciliter la définition conjointe et collaborative d'architecture d'un système de systèmes et de maîtriser la complexité par la continuité numérique », explique Anouk Dubois, cheffe de projet I(SC)² chez SystemX.

Le projet s'est articulé autour de 3 principaux axes de recherche : l'évaluation et la comparaison des architectures systèmes, le développement et la maîtrise de processus de collaboration ainsi que leur outillage, et la cohérence des données dans ce contexte particulièrement hétérogène de l'entreprise étendue.

Evaluation et comparaison d'architectures systèmes

Le volet structurant et fil conducteur du projet a consisté à définir une méthode d'évaluation et de comparaison d'architectures de systèmes complexes. Cette méthode permet de définir, d'évaluer et de comparer des solutions d'architectures candidates. Elle repose sur l'identification de critères qui traduisent les préoccupations et priorités des parties-prenantes et sur le choix d'une méthode d'aide à la décision multicritères (MCDA), permettant de calculer un score pour chaque alternative d'architecture afin de les comparer et de les prioriser. Elle présente l'intérêt d'être générique et de pouvoir s'adapter à de très nombreuses problématiques. Elle s'inscrit dans différents processus de l'ISO 42020.

Dans ce volet, des travaux ont également permis de définir le processus de collaboration (acteurs, séquençage d'activité, etc.) intervenant dans le cadre de la méthode d'évaluation et de comparaison d'architectures systèmes. Ce macro-processus décrit la manière dont les macro-activités sont réparties entre les différentes parties-prenantes et qui en porte la responsabilité.

Le projet I(SC)² en chiffres

Durée : 5 ans
ETP : 5 par an en moyenne
8 partenaires industriels et académiques
Secteur applicatif : Industrie du futur
Thématique : Entreprise étendue

Impacts et transferts :

- Processus de revue collaborative
- Définition d'un Framework d'évaluation d'architecture
- Modélisation Search and Rescue
- Méthode ATLaS d'élicitation automatique de liens de traçabilité
- Modèle de données de la collaboration MOA/MOI dans le contexte Défense
- Cockpit d'évaluation et comparaison des architectures systèmes
- 3 dépôts APP
- 4 publications scientifiques
- 1 thèse
- Participation à 9 événements

Une réflexion complémentaire a porté sur un aspect humain, avec l'analyse des méthodes permettant d'agrèger des jugements d'experts, pour prise en compte dans la note finale de l'évaluation d'architecture.

La notion d'incertitude autour des paramètres intervenant dans le calcul du score (tolérance, marge des paramètres) a également été étudiée, pour proposer une démarche d'évaluation permettant de mesurer le risque (ou l'incertitude) sur les scores et le classement final.

Une autre étape a consisté à prototyper, sur la plateforme d'aide à la décision [DCIDE](#) de l'IRT SystemX, une interface implémentant certains aspects de la méthode d'évaluation et comparaison d'architecture. Cette interface permet d'une part la visualisation des modèles de préférence, des calculs de score et la comparaison des résultats, et d'autre part, la visualisation de l'impact de l'incertitude dans la chaîne de calcul et l'analyse des résultats. Ce cockpit a vocation à aider les équipes d'architectures systèmes dans leur analyse de la meilleure architecture au regard des critères d'intérêt fixés.

Enfin, une étude a été menée sur l'exploration du champ des possibles en matière d'architectures, grâce aux langages de modélisation DEPS et Clafer/Choco. Le besoin d'un langage de synthèse d'architecture apparaissant nettement, ces travaux seront poursuivis dans le cadre d'un nouveau projet en cours de montage.

Processus de collaboration

Autre volet clé du projet, SystemX et ses partenaires se sont attachés à spécifier un processus outillé de revue collaborative à distance, adaptée à un contexte MBSE, et permettant la revue de modélisation d'une architecture système. L'objectif était que toutes les parties prenantes puissent, à partir d'une plateforme de revue collaborative, visualiser les mêmes données d'ingénierie et plus spécifiquement les modèles d'architecture candidats, et commenter, annoter ou interagir ensemble sans difficulté autour de ces modèles, dans le cadre d'une revue projet mais virtuelle. A noter entre autres spécifications apportées, la définition d'un chemin de lecture pour aider à l'ordre de revue des modèles et à la navigation entre les modèles. Dans le cadre de ces travaux, ces spécifications ont été implémentées sur la plateforme 3DExpérience de Dassault Systèmes et ont contribué à faire évoluer la plateforme SECollab de Sodiuz, notamment sur le volet chemin de lecture.

En termes de transfert industriel, ce processus de revue collaborative a été mis en œuvre, dans le cadre d'un programme FCAS (Futur Combat Air System) porté par la DGA, Dassault Aviation et Thales, sur la plateforme 3DExpérience.

Dans la continuité des travaux sur la revue collaborative, la réflexion a ensuite porté sur la notion de plateau collaboratif, l'objectif étant de proposer le processus et la chaîne outillée appropriée pour accompagner la tenue de plateau collaboratif chez nos partenaires : espace physique ou virtuel de définition collective d'une solution (consolidation de cahier des charges, définition conjointe d'architecture, ...). Cette réflexion s'est limitée dans le cadre d'I(SC)² à la formalisation d'un retour d'expérience de différents intervenants à des plateaux collaboratifs passés, afin d'identifier les verrous et les axes d'amélioration. Ces activités se poursuivront dans un nouveau projet en cours de montage.

Cohérence des données hétérogènes

Enfin, un troisième grand volet a été consacré à la question de la gestion de la cohérence des données d'ingénierie système. L'hétérogénéité des parties-prenantes, des métiers impliqués, des processus et outils utilisés génèrent des incohérences dans les données d'ingénierie. La recherche de cohérence dans les données est donc indispensable. Les résultats principaux obtenus ont été de trois ordres.

Tout d'abord, l'établissement de bonnes pratiques pour limiter les incohérences entre les données d'ingénierie systèmes. L'étude a porté sur la nature des données échangées tout au long du cycle de vie d'un programme de défense, l'évaluation des risques d'incohérence au niveau des échanges, les recommandations pour les limiter ainsi que la faisabilité pour appliquer ces recommandations.

Une thèse* a également été consacrée à la réalisation d'une méthode d'élicitation automatique des liens de traçabilité entre différents objets d'ingénierie (modèles, exigences). Ces travaux ont conduit à proposer une méthode ATLaS, basée sur des techniques avancées de Traitement du Langage Naturel (NLP) pour établir ces corrélations. La réflexion s'est poursuivie avec la considération d'autres approches permettant de mieux prendre en compte les spécificités du contexte MBSE.

Pour finir, la réalisation d'un modèle de données de la collaboration MOA/MOI dans le contexte Défense, afin d'aligner les compréhensions de toutes les parties prenantes sur des concepts de haut niveau manipulés dans le

cadre des programmes de défense. Ce modèle central, exprimé dans un langage neutre et universel, dispose de liens de correspondance avec les concepts équivalents des standards ou référentiels utilisés en interne par chacun des acteurs.

L'ensemble des tâches menées dans le projet I(SC)² a suscité des spécifications-clés visant à enrichir les plateformes d'ingénierie collaborative du marché, en termes de fonctionnalités de collaboration, d'évaluation des architectures et de gestion de la cohérence.

Le projet I(SC)² a donné lieu à de nombreux actifs (processus de revue collaborative, Framework d'évaluation d'architecture, modélisation Search and Rescue (SAR), méthode ATLaS d'élicitation automatique des liens de traçabilité, méthode de données de la collaboration MOA/MOI du contexte défense, Cockpit d'évaluation et comparaison d'architectures système) et fait l'objet de 3 dépôts APP : Algorithme ATLaS, Modélisation NAF du SAR et Cockpit d'évaluation et de comparaison d'architectures système.

Ces travaux se poursuivront en 2021 dans le cadre d'un nouveau projet qui adressera d'autres types de verrous scientifiques et technologiques pour de nouvelles solutions de collaboration.

*« Apports des techniques d'apprentissage semi-supervisées dans l'établissement de liens entre des exigences et artefacts d'ingénierie systèmes », Emma Effa Bella, IRT SystemX/LIP6

À propos de l'IRT SystemX

SystemX est un institut de recherche technologique (IRT) expert en analyse, modélisation, simulation et aide à la décision appliqués aux systèmes complexes. Seul IRT dédié à l'ingénierie numérique des systèmes, il coordonne des projets de recherche partenariale, réunissant académiques et industriels dans une perspective multi-filière. Ensemble, ils s'appliquent à lever des verrous scientifiques et technologiques majeurs de 4 secteurs applicatifs prioritaires : Mobilité et Transport autonome, Industrie du futur, Défense et Sécurité, Environnement et Développement durable. Au travers de projets orientés cas d'usage, les ingénieurs-chercheurs de SystemX répondent aux grands enjeux de notre temps, sociétaux et technologiques, et contribuent ainsi à l'accélération de la transformation numérique des industries, des services et des territoires. Basé sur le plateau de Paris-Saclay, Lyon et Singapour, SystemX a lancé depuis sa création en 2012, 53 projets de recherche (dont 29 en cours), impliquant plus de 100 partenaires industriels et 55 laboratoires académiques, et compte actuellement 197 collaborateurs en équivalent temps plein (ETP) dont 134 ressources propres.

Pour en savoir plus : www.irt-systemx.fr | [@IRTSytemX](#) | [LinkedIn](#) | [YouTube](#)

Contacts presse

Marion Molina – Claire Flin

Tél. 06 29 11 52 08 / 06 95 41 95 90

marionmolinapro@gmail.com / claireflin@gmail.com