

Prospectives S.MART Feuille de route 2018

1. Ingénierie système

1.1. Positionnement thématique, objectifs, verrous scientifiques et technologiques

Positionnement thématique

L'évolution des besoins de la société conduit à la création de systèmes et de services de plus en plus complexes et multifonctionnels, qui s'intègrent souvent dans des systèmes de systèmes [1], [2], [3].

Les systèmes sont complexes, car :

- ils sont le lieu de multiples interactions, internes (entre leurs éléments) et externes (avec leur environnement et notamment d'autres systèmes) ;
- leur maîtrise dépasse la connaissance du comportement des composants isolés ;
- leur taille et le nombre de technologies utilisées, la présence d'utilisateurs ou d'opérateurs humains rendent l'ensemble difficile à appréhender au travers d'une seule discipline ;
- leur développement se fait sur des périodes très longues, avec des budgets considérables ;
- leur développement implique de nombreux ingénieurs issus de différentes spécialités, distribués géographiquement, ce qui induit des problèmes de conduite collaborative de projet.

Ces systèmes sont plongés dans des environnements fortement contraints en termes de coûts, de sûreté, d'éco-efficacité (économie d'énergie et impact environnemental), de développement durable, ... en accord avec les attentes sociétales contemporaines. Les systèmes de transport, de télécommunication, de localisation en donnent des exemples. Nos objets courants deviennent eux-mêmes des produits multifonctionnels complexes. Notre voiture présente de multiples aides à la navigation, à la conduite, ou à la sécurité. Notre téléphone inter-opérant avec de multiples autres systèmes nous donne accès à une multitude de services.

La maîtrise de l'ingénierie et l'intégration de ces systèmes et produits complexes définit un métier, l'ingénierie système (ou ingénierie de systèmes), qu'entendent promouvoir l'INCOSE [4] et l'AFIS [5]. L'ingénierie système (IS) est une démarche méthodologique pour maîtriser la conception des systèmes complexes. Les pratiques de cette démarche sont aujourd'hui formalisées dans des normes, s'appuyant sur des méthodes et supportées par des modèles et des outils scientifiques. Elles peuvent s'appliquer d'une manière invariante par rapport à différents secteurs d'application.

Des études ont montré que des débouchés importants existent dans des secteurs high-tech, à forte valeur ajoutée en France. Une diffusion de l'IS au sein des PME est souhaitée. L'ingénierie et l'intégration de ces systèmes sont un défi stratégique dans de nombreuses entreprises françaises et requièrent des modèles, méthodes et outils spécifiques.

Il en résulte un besoin de personnels de haut niveau compétents en ingénierie système pour relever un défi stratégique national.

L'Ingénierie Système (IS) propose une démarche méthodologique coopérative et interdisciplinaire pour concevoir des systèmes complexes [3]. Elle fournit une vision unifiée du système d'intérêt et du système projet associé. En cela, elle apporte un certain nombre de réponses aux enjeux relatifs à l'avenir de la production de biens et de services [1], [2] :

- Elle favorise la maîtrise des systèmes complexes en prenant en compte la sécurité des personnes, des biens et de leurs environnements, en gérant les impacts des défaillances et en déployant systématiquement la modélisation et la simulation ;
- Elle propose des méthodes et outils supports garantissant la conformité aux spécifications, du système, de ses sous-systèmes et de ses composants, tout au long de leur cycle de vie ;
- Elle prend en compte des systèmes multi-physiques en mettant en synergie de nombreuses disciplines : mécanique, électrique, électronique, automatique, informatique, réseaux de communication, productique, ... mais aussi économie, marketing, relation clients, facteurs humains, développement durable.
- Elle préconise une gestion rigoureuse des processus d'ingénierie tout au long du cycle de vie du système ;
- Elle permet d'introduire très tôt des exigences liées au développement durable dans la conception ;
- Elle facilite le transfert technologique pour passer de l'innovation au produit ou service commercialisé.

Dans la suite, les principaux objectifs du déploiement de l'ingénierie système sont dégagés avant d'identifier les principaux verrous scientifiques et technologiques associés.

Objectifs

- Maîtriser la complexité
 - o Prise en compte efficace de la multidisciplinarité, de l'hétérogénéité des systèmes, et des notions de sécurité, sûreté, disponibilité, ...
 - o Prise en compte de la dimension systèmes de systèmes en ayant recours aux modélisations et simulations de scénarios opérationnels nominaux et dégradés.
- Réussir les projets
 - o La maturité en IS favorise très largement la réussite des projets [6].
 - o En disposant d'une organisation de l'ingénierie efficace basée sur des processus.
 - o En simplifiant les processus en particulier ceux de conception et développement.
- Développer des systèmes performants
 - o En ayant une approche orientée services rendus à valeur ajoutée et en simplifiant l'usage.
 - o En favorisant des propriétés de cognition, d'autonomie, d'auto-reconfiguration, d'autodiagnostic, ...
 - o En développant la modélisation et la simulation, y compris du comportement humain.

- En assurant le management de l'information sur tout le cycle de vie du système : capitalisation et réutilisation, informations hétérogènes, longue durée de vie, évolution ou obsolescence des composants, ...
- Favoriser l'innovation
 - Par la mise en œuvre de processus, méthodes et outils accélérant la mise sur le marché des produits et services.

Verrous scientifiques et technologiques

- Développer des approches méthodologiques basées sur la modélisation pour traiter les systèmes complexes et les systèmes de systèmes.
- Fournir de méthodes de modélisation intégrées et robustes (Model-Based Systems Engineering).
- Fournir des méthodes et des outils pour créer la confiance dans les produits et services (gérer l'incertain, maîtriser les risques, ...), en utilisant tout particulièrement la simulation (multi-physique, multimodale, ...)
- Disposer d'outils intégrés (outils d'IS, CAO, PLM, simulateurs, ...).
- Prendre en compte lors de l'ingénierie les rôles humains impliqués tout au long du cycle de vie (par exemple : exigences d'interface, risques d'erreurs potentielles, opportunités de compensation et d'ajustement).
- Déployer des processus Lean et agiles.
- Adapter les méthodologies aux petits projets et aux PME.
- Développer des compétences en IS en formation initiale, en formation continue et en formation par la recherche.

1.2. Etat des lieux national et international versus des expertises du réseau

Référentiels

Des référentiels internationaux permettent de structurer l'ingénierie système :

- ISO 15288 « Ingénierie systèmes et du logiciel - Processus de cycle de vie du système » ;
- IEEE 1220 « Standard for application and management of the Systems Engineering Process » ;
- EIA 632 « Processes for Engineering a System » ;
- ISO 29110 « Ingénierie du logiciel - Profils de cycle de vie pour très petits organismes (TPO) ».

Implication du monde industriel

Au niveau international, l'INCOSE, une association d'ingénieurs et d'enseignants-chercheurs en Ingénierie Système, existe depuis 1990. En France, depuis 1998, l'INCOSE a un chapitre local, l'Association Française d'Ingénierie Système (AFIS), composé de grands groupes industriels, de PME et d'Etablissements de formation et de recherche (Ecoles, Universités).

Des pôles de compétitivité, comme Systematic [10] ou Aerospace Valley [11], ont mis l'Ingénierie Système dans leur axe stratégique. L'Ingénierie Système a été reconnue comme une technologie clé 2015 par le ministère de la technologie [13] : technologie 19, ingénierie de systèmes complexes et systèmes de systèmes. L'ingénierie système apparaît aussi dans la

technologie clé 69 : outils et méthodes de conception et de validation. Le pôle de compétitivité Mov'eo [12] a initié le projet Outils de Modélisation Mécatronique (O2M) avant d'être co-labellisé par le pôle System@tic. Il regroupe 33 partenaires (grands groupes, PME, académiques). Son ambition est le développement d'une nouvelle génération d'outils pour accompagner les processus de conception mécatronique en s'appuyant sur l'ingénierie système.

Enseignement

L'un des projets majeurs de l'INCOSE et de l'AFIS est sans aucun doute le projet « Body of Knowledge and Curriculum to Advance Systems Engineering (BKCase) » [7] qui a fourni deux livrables clés pour alimenter et structurer les formations en IS :

- Un corpus de connaissances en IS : « System Engineering Body of Knowledge (SEBoK) » ;
- Un référentiel pour les formations à l'IS : « Graduate Reference Curriculum for Systems Engineering GRCSE ».

Un autre aspect de leur action est la mise en place de certification des professionnels en Ingénierie Système : « Systems Engineering Professional Certification » suivant trois niveaux « Entry, Foundation, Senior » [4].

L'International Requirements Engineering Board (IREB) [8] a créé un programme de formation à l'ingénierie des exigences appelé "Syllabus - Professionnel Certifié en Ingénierie des Exigences" (CPRE en anglais) et un schéma de certification associé. Ce dernier est disponible en langue française [9].

De nombreux enseignants-chercheurs ont acquis une expertise en IS en France, à la fois par leur recherche et par leurs enseignements. Des formations dans différentes Universités (par exemple : Nancy, Toulouse, Nîmes, Paris, Clermont-Ferrand, ...) ont été réalisées par l'AFIS et par des experts en IS.

Le réseau AIP-Priméca, membre administrateur de l'AFIS, joue un rôle actif pour la diffusion de l'IS dans la communauté enseignante en productique.

L'AFIS apporte son soutien à la pratique de l'IS aux Etablissements d'enseignement par l'organisation de nombreuses journées techniques visant le partage d'expériences en IS et l'organisation d'une compétition nationale en IS, RobAFIS, à laquelle participent chaque année 8 à 12 équipes d'étudiants de niveau master.

Depuis 2012, les programmes de Baccalauréat STI2D ont évolué et sont maintenant structurés sur les types de flux en présence dans un système : matière, énergie, information. Ils intègrent des enseignements sur des modèles permettant de comprendre le fonctionnement d'un système. Des éléments de formation à SysML, langage de modélisation des systèmes, sont introduits et fournissent une sensibilisation à l'ingénierie de systèmes complexes au sein des lycées. En septembre 2013, les programmes des Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles (CPGE) vont aussi évoluer en intégrant des modèles SysML de systèmes.

En janvier 2013, l'AFIS, le réseau S.MART et l'Inspection Générale de l'Education Nationale ont lancé un projet commun visant à fournir un dispositif pédagogique et à assurer, en janvier 2014, deux jours de formation à l'IS et SysML, pour des référents académiques, professeurs de lycée. Le pôle S.MART Lorraine joue un rôle prépondérant dans son pilotage.

Recherche

Des recherches sont menées en IS et sont valorisées par des participations à des congrès internationaux en IS ou dans des revues internationales.

Parmi les congrès clés, nous pouvons citer :

- CSD&M International conference on Complex Systems Design & Management (Paris 2012, 2013) ;
- Annual INCOSE International Symposium (Rome 2012, Philadelphia 2013) ;
- INCOSE International Workshop (Jacksonville 2012, 2013) ;
- ICSSEA International Conference on Software & Systems Engineering and their Applications (Paris 2012, 2013).

La revue de référence en IS, éditée par l'INCOSE, est « Journal of Systems Engineering » (Wiley ; IF-JCR = 0,42 en 2011). Une autre revue est « Journal of Systems Science and Systems Engineering » (Springer ; IF-JCR=0,43 en 2011). De nombreux travaux sont publiés dans d'autres revues spécialisées comme « Reliability Engineering & System Safety » (Elsevier ; IF-JCR = 1,7), « Annual Reviews in Control » (Elsevier ; IF-JCR=1,3), ... Une collection « Systems Engineering » vient d'être créée par WILEY pour la diffusion d'ouvrages scientifiques dans ce domaine.

Des sessions spéciales centrées sur l'IS sont organisées dans divers congrès comme le congrès INCOM-IFAC ou le Congrès International de Génie Industriel.

Citons, sans être exhaustif, des Etablissements d'enseignement supérieur français dans lesquels des enseignants-chercheurs travaillent dans le domaine de l'IS et participent aux activités de l'AFIS :

- En tant que membre du CA de l'AFIS : Arts & Métiers ParisTech, Ecole Polytechnique, ENAC Toulouse, ENS Mines d'Alès, ENSTA ParisTech, ISAE Toulouse, Université de Lorraine, UTC Compiègne;
- A titre individuel : IFMA Clermont-Ferrand, INP Grenoble, INSA Lyon, Université de Bordeaux, Université Paris 5, Université Paris Sorbonne, UTBM, ...

De nombreux industriels à l'AFIS participent à, ou pilotent, des projets de recherche, (projet ANR, contrat CIFRE, ...) citons, sans être exhaustif : EDF, DGA, Thales, Dassault Systèmes, EADS, Eurocopter, ...

Enfin, parmi les projets de recherche centrés sur l'IS, nous pouvons mentionner :

- le projet PLACIS (PLAte-forme Collaborative d'Ingénierie Systèmes) porté par Supméca, qui a été sélectionné dans le cadre des IDEFI (Initiatives D'Excellence en Formation Innovante). La dotation attribuée par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche s'élève à 4,3 Millions d'Euros ;
- Le projet CONNEXION (piloté par EDF) : CONtrôle Commande Nucléaire Numérique pour l'EXport et la rénOVATION, qui porte sur la conception, la réalisation et la validation des systèmes de contrôle-commande des centrales nucléaires.

1.3. Analyse SWOT sur la thématique concernée

Cette analyse s'effectue sur l'expertise actuelle et future du réseau S.MART en Ingénierie Système.

Points forts

- Les référentiels de l'Ingénierie Système (ISO, AFIS, INCOSE, ...) sont pratiqués voire maîtrisés ;
- Le réseau est impliqué au sein de l'AFIS et dans les chapitres locaux de l'AFIS ;
- Les pôles régionaux soutiennent le développement de la thématique Ingénierie Système dans les formations qu'ils accueillent : licence, master, école d'ingénieur, de l'initiation à la spécialité ;
- Les formations et les laboratoires de recherche développent des compétences fortes et reconnues en modélisation disciplinaire (modèles, virtualisation, prototypage rapide, ...) ;
- Le réseau en tant que membre de l'AFIS pilote le projet IS & SysML en lien avec l'Inspection Générale de l'Education Nationale.

Points faibles

- L'Ingénierie Système est vue comme transversale, mais trop peu développée au niveau des domaines applicatifs (Automobile, Aéronautique, Energie, ...) et au niveau des champs disciplinaires (Automatique, Electronique embarquée, ...) par manque de référentiels communs et partagés (méthodes, outils, ...) ;
- L'implication des équipes pédagogiques reste très concentrée, des individus moteurs mais manque d'adhésion collective ;
- Manque de cursus et de visibilité au niveau des formations (un libellé spécifique de master a été sollicité auprès du Ministère de l'Enseignement Supérieur !) ;
- Les recherches transversales sont difficiles à valoriser par section CNU (thématique) ;
- L'ingénierie système n'est pas une discipline reconnue dans le système Universitaire Français.

Opportunités

- L'Ingénierie Système est citée dans deux des technologies clés identifiées par le ministère de l'industrie. Il est donc stratégique d'être présent dans un secteur qui nous touche directement en conception de système à forte valeur ajoutée et de produits technologiques multifonctionnels ;
- Des besoins croissants en personnels qualifiés ont été mis en évidence au niveau des grands groupes industriels et des PME, y compris en formation tout au long de la carrière ;
- La formation d'étudiants formés à l'IS s'inscrit dans une démarche globale du baccalauréat au doctorat ;
- Permettre la reconnaissance des compétences en IS par des certifications professionnelles des personnes et des formations ;
- Fédérer des recherches et l'innovation par l'IS en adaptant les méthodologies : Model-Based Systems Engineering, modélisation multi-physique, prise en compte de la dimension Développement Durable, ...

Menaces

- Manque de coordination face à une problématique nationale voire internationale ;
- Thématique portée en dehors du réseau ;
- Formations par des enseignants individuellement, par des consultants, à l'étranger, ...
- Recherches menées par des enseignants-chercheurs individuellement dans leur section CNU et donc sans synergie ;
- Recherches pilotées par le privé.

1.4. Synthèse et conclusion

Le développement de la thématique Ingénierie Système au sein du réseau AIP-Priméca se justifie:

- Par le besoin industriel de personnels de haut niveau compétents en Ingénierie Système pour relever un défi stratégique national (point de vue des entreprises et de l'AFIS) ;
- Par l'opportunité de visibilité nationale et internationale d'une formation à l'Ingénierie Système, grâce à l'existence de référentiels internationaux reconnus (des normes comme l'ISO/IEC 15288 ; un corpus de connaissances, SEBok ; un référentiel pour les formations à l'IS, GRCSE) et à une certification possible des étudiants (point de vue des étudiants) ;
- Par la volonté de d'affirmer l'expertise des enseignants-chercheurs en Ingénierie Système (point de vue des équipes pédagogiques) ;
- Par la maturité acquise dans la formation en Ingénierie Système au niveau Master, confortée et adossée à une recherche active en Ingénierie Système (point de vue des enseignants-chercheurs qui ont acquis une expertise en IS) ;
- Par l'opportunité que représente l'Ingénierie Système pour fédérer les expertises disciplinaires reconnues sur le territoire et au-delà (point de vue des enseignants-chercheurs) ;
- Par la compréhension de l'intitulé « Ingénierie Système » par les élèves des lycées et futurs étudiants au sein du réseau (point de vue des lycéens et des étudiants en classes préparatoires ou en licence).

Fort de ses compétences, de son implication et des actions déjà lancées, le réseau AIP-Priméca ne peut pas ne pas s'impliquer pleinement dans le développement et le rayonnement de l'Ingénierie Système.

1.5. Liste des contributeurs et remerciement aux acteurs mobilisés

- Contributeurs principaux
 - o Eric Bonjour – Pr. Université de Lorraine – S.MART Lorraine – AFIS VP ER
 - o Jean-Yves Bron – MC Université de Lorraine – S.MART Lorraine – AFIS
- Remerciements
 - o Dominique Luzeaux – DGA – AFIS Président
 - o Eric Levrat – MC Université de Lorraine – Master ISC – S.MART Lorraine – AFIS
 - o Rédacteurs « Ingénierie système : La vision AFIS pour les années 2020-2025 »

1.6. Bibliographie et références

- [1] Perspectives Sciences et Techniques de la Production de biens et de services – GDR MACS – Novembre 2012 – www.univ-valenciennes.fr/gdr-macs
- [2] Atelier de Réflexion Prospectif (ARP) FuturProd – 2011-2013 – www.cluster-gospi.fr/Atelier-de-reflexion-prospectif
- [3] Ingénierie système : La vision AFIS pour les années 2020-2025 – AFIS – ISBN 978.2.36493.004.9
- [4] INCOSE International Council on Systems Engineering – www.incose.org
- [5] AFIS Association Française d'Ingénierie Système – www.afis.fr
- [6] A survey of systems engineering effectiveness – SEI and National Defense Industrial Association – Décembre 2008 – repository.cmu.edu/sei
- [7] BKCase – www.bkcase.org
- [8] IREB - www.certified-re.de
- [9] Société pour la Promotion Et la Certification de l'Ingénierie des Exigences en langue Française SPECIEF – www.specief.org
- [10] Pôle de compétitivité Systematic – www.systematic-paris-region.org
- [11] Pôle de compétitivité Aerospace Valley – www.aerospace-valley.com
- [12] Pôle de compétitivité Mov'eo – www.pole-moveo.org
- [13] Technologies clés 2015 – www.dgcis.redressement-productif.gouv.fr/politique-et-enjeux/technologies-cles-2015