

Préface

Lorsque mon collègue Jean-Yves Bron m'a demandé d'écrire la préface de son ouvrage, j'ai été très honoré qu'il m'associe à ce projet important dans sa carrière d'enseignant-chercheur. J'ai ressenti également de la joie, joie de voir un collègue, et surtout un ami, aboutir son projet. Cet ouvrage est le fruit d'un travail important que Jean-Yves a mené depuis 15 ans afin de contribuer au développement d'un enseignement d'ingénierie système de haut niveau dans le master en ingénierie de systèmes complexes de l'Université de Lorraine.

Cette aventure a débuté en 2005, lors de la structuration de l'enseignement supérieur sur le dispositif licence, master et doctorat. Répondant à un besoin industriel croissant visant à mieux maîtriser l'ingénierie des systèmes complexes et en précurseur au niveau national, nous avons bâti une formation en ingénierie système afin de regrouper et fédérer en un seul master ingénierie système en EEAPR plusieurs formations de DESS et de DEA dans les secteurs disciplinaires de l'électronique, l'électrotechnique, l'automatique, la productique et les réseaux de la faculté des Sciences et technologies de l'Université de Lorraine.

L'enseignement en ingénierie système avait pour vocation d'assurer le liant entre ces disciplines en proposant une vision interdisciplinaire de l'ingénierie collaborative. Un autre objectif consistait à doter nos étudiants d'une démarche structurée d'ingénierie de systèmes, telle que proposée par les standards d'IS comme l'ISO 15288 ou, plus tard, l'ISO 29110. Après cette première habilitation (2005-2009) est né le master en ingénierie de systèmes complexes, qui a vécu durant deux campagnes d'habilitation 2009-2013, puis 2013-2018 et qui s'est stabilisé aujourd'hui en master en ingénierie des systèmes complexes (2018-2022) tel que référencé dans la nouvelle nomenclature des formations de master du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche depuis 2015.

Depuis le début de cette aventure, nous avons été accompagnés par l'AFIS (Association française d'ingénierie système), dans laquelle l'équipe pédagogique du master ISC s'est fortement investi dans les structures, l'animation et la création d'évènements (vice-présidences académiques, membres du CA, coresponsabilités et participations à plusieurs comités techniques, organisation du forum AFIS Académie-Industrie en 2007 et 2018, organisation de journées techniques et d'écoles d'été, etc.).

Depuis 2005, tous les étudiants de nos différents masters ont été formés à l'ingénierie système et à l'ingénierie des exigences. Dans l'accréditation 2018-2022 du master en ingénierie des systèmes complexes, c'est 42 heures d'enseignements de tronc commun qui sont assurés dans les trois premiers semestres de M1 et de M2, soit 126 heures au total et mis en pratique sur des cas d'études et sur les projets industriels et d'alternance des étudiants en M1 et en M2. Dans ce dispositif pédagogique, Jean-Yves Bron occupe une place stratégique, puisqu'il assure les enseignements du premier module intitulé « Besoins et exigences » lors du 1^{er} semestre de M1, puis il accompagne les étudiants dans leurs projets de M1 et de M2 en formation initiale ou par alternance.

En effet, dès l'origine du master IS en EEAPR, Jean-Yves Bron s'est fortement investi dans les enseignements d'ingénierie système ; son expertise en management de la qualité l'a amené à s'intéresser tout particulièrement à la satisfaction des besoins et exigences des parties prenantes. Il a su renforcer et développer des compétences qu'il a mises au service de nos formations et de l'AFIS. Ainsi, de 2013 à 2014, il a été le maître d'œuvre d'un projet porté par l'AFIS, le réseau AIP-Priméca et l'Éducation nationale, pour créer au niveau national une formation des formateurs des enseignants de la filière STI2D à l'ingénierie système basée sur les modèles (*Model Based Systems Engineering*) à l'aide du langage de modélisation système SysML.

Dès 2013, Jean-Yves Bron a obtenu la certification professionnelle IREB (International Requirements Engineering Board) attestant de ses compétences en ingénierie des exigences, qu'il a transférées ensuite dans ses enseignements en proposant une préparation à la certification IREB à nos étudiants.

Depuis 2005, il a suivi plusieurs dizaines de projets de fin d'études ou industriels ainsi que des projets industriels d'alternants. Il a également dispensé son enseignement dans d'autres formations, telles que le master en génie civil ou encore dans le département GEII de l'INSA de Lyon.

C'est cette expertise que Jean-Yves Bron a décidé de mettre à disposition du plus grand nombre dans cet ouvrage, qui est à destination d'un public d'étudiants et d'industriels. Il a pour vocation de proposer une méthode d'ingénierie des exigences

que Jean-Yves Bron a développée, enseignée et appliquée dans le cadre de la formation du master en ingénierie des systèmes complexes de l'Université de Lorraine depuis 2009.

L'ingénierie des exigences est un des piliers de l'ingénierie système, elle est essentielle à la satisfaction des besoins de la maîtrise d'ouvrage, mais reste difficile à comprendre et à mettre en œuvre par nos étudiants et pour beaucoup d'industriels. Si les standards de l'ingénierie système décrivent les processus et les activités, le « quoi », ils ne disent pas le « comment » mettre en œuvre le processus d'ingénierie des exigences dans le cadre d'un projet particulier et comment le supporter par des modèles.

Cet ouvrage apporte sa contribution à cette question ; Jean-Yves Bron propose une méthode qu'il présente de façon très pédagogique et qu'il illustre sur plusieurs études de cas issus des concours RobAFIS afin de guider les lecteurs dans leur apprentissage. Cette méthode a été enseignée à plusieurs centaines d'étudiants, qui l'ont appliquée et éprouvée sur des études de cas et sur des projets industriels de M1 et M2, en formation initiale ou en alternance. Elle a montré sa pertinence et son efficacité, notamment au travers des retours positifs de nos partenaires industriels qui ont recruté nos étudiants.

Je souhaite beaucoup de succès à cet ouvrage, je ne doute pas qu'il sera utile pour ses lecteurs.

Éric LEVRAT
Professeur des universités
Responsable master Ingénierie des systèmes complexes
Université de Lorraine
Faculté des Sciences et technologies de Nancy
Centre de recherche en Automatique de Nancy (CRAN UMR CNRS 7039)

Avant-propos

Contexte

L'origine de cet ouvrage est née du besoin de mettre par écrit une pratique de plus de dix ans en ingénierie des exigences dans le contexte de l'ingénierie système (IS). Cette pratique a été initiée dans le cadre d'enseignements au sein du master en ingénierie des systèmes complexes¹ de l'Université de Lorraine. Cette partie de la formation se déroule essentiellement en début de cursus avec des étudiants peu, voire pas du tout, familiarisés avec les concepts de l'ingénierie système ou encore ceux de la modélisation système. Elle sert ensuite de base aux autres activités d'ingénierie, comme celles de conception des architectures, ou encore lors des projets et des stages industriels. Une des spécificités majeures du master ISC est de s'appuyer sur la modélisation système pour développer des compétences en Ingénierie système. Pour ce faire, l'utilisation du langage SysML est prédominante dans toutes les activités d'ingénierie.

Ce contexte a été favorisé par une forte implication dans un projet mené pour le ministère de l'Éducation nationale française dans une collaboration avec le réseau national AIP-Priméca et l'Association française d'ingénierie système. L'EN a fait le choix de l'utilisation du langage SysML dans certaines de ses filières comme le baccalauréat sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) ou encore dans les cours de sciences industrielles de l'ingénieur (STI) en classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE). Le projet avait pour objectif de mettre à disposition un référentiel de bonnes pratiques pour l'usage de SysML en rétro-ingénierie et ingénierie de système. Les principaux livrables du projet sont des

1. <http://fst.univ-lorraine.fr/formations/master-ingenierie-des-systemes-complexes>.

méthodes documentées pour l'ingénierie et la rétro-ingénierie ainsi que différentes études de cas. Plus de détails sont disponibles dans l'archive ouverte HAL².

Par ailleurs, pour conforter et valider mes compétences en ingénierie des exigences, j'ai pu suivre la formation et obtenir la certification *Certified Professional for Requirements Engineering – Foundation Level* de l'International Requirements Engineering Board [IRE 06].

Outre l'amélioration de mes pratiques avec les étudiants du master ISC ou d'autres cursus, j'ai bénéficié de nombreux retours lors de différentes formations d'enseignants-chercheurs, de professeurs de lycée ou encore d'industriels.

L'utilisation des normes dans le cadre de la mise en place de la certification ISO 9001 du pôle AIP-Priméca Lorraine³ de l'Université de Lorraine m'a aussi grandement facilité l'appropriation des normes de l'ingénierie système pour guider la méthode proposée.

Objectifs et structure du livre

J'espère que cet ouvrage contribuera à former à l'ingénierie des exigences, mais aussi au bon usage de la modélisation au service de l'ingénierie. La méthode développée reste une proposition qui peut largement être amendée et surtout contextualisée (secteur industriel, domaine de formation, etc.). On peut aussi la comparer ou l'intégrer à d'autres approches comme nous le montrons dans le chapitre 5.

Ainsi, ce livre s'adresse :

- aux élèves et étudiants de cursus intégrant des enseignements d'ingénierie système, du baccalauréat au master en passant par les BTS, IUT, licence, école d'ingénieurs, mais aussi à ceux qui s'intéressent à la définition de besoins et d'exigences de façon plus générale ;
- aux collègues enseignants ou enseignants-chercheurs intéressés par l'ingénierie des exigences et la modélisation système ;
- aux professionnels qui travaillent dans le domaine de l'ingénierie ou qui doivent spécifier des besoins ou des exigences pour des produits, voire même des services.

La première partie permet, dans le chapitre 1, de définir le contexte, les définitions et les principaux concepts de l'ingénierie des exigences ainsi que les activités associées.

2. hal.archives-ouvertes.fr/hal-01240005.

3. www.aip-primeca.univ-lorraine.fr.

Le chapitre 2 définit notre méthode composée de huit étapes. Pour chacune de ces étapes, le but recherché est précisé avant de décrire comment on peut l'atteindre en utilisant le langage SysML.

La deuxième partie illustre par l'exemple notre méthode. Le chapitre 3 montre comment définir les besoins des parties prenantes sur une étude de cas inspirée du concours RobAFISTM 2018⁴ avec une posture de maîtrise d'ouvrage. Le chapitre 4 reprend le même exemple pour analyser les exigences système en adoptant une posture de maîtrise d'œuvre. Pour compléter, le chapitre 5 montre comment notre méthode peut être exploitée avec les méthodes Harmony, Arcadia et CESAM.

Remerciements

Ce livre est le résultat d'un long travail, mené à l'Université de Lorraine dans le master en ingénierie des systèmes complexes et au sein du pôle AIP-Priméca Lorraine. Qu'il me soit permis de remercier ici tous ceux qui y ont contribué de près ou de loin :

- mes collègues du master ISC et du département Ingénierie des systèmes éco-techniques du Centre de recherche en automatique de Nancy (CRAN-ISET), et plus particulièrement ceux qui participent aux enseignements d'ingénierie système et de gestion de projet ;

- mes collègues du pôle AIP-Priméca Lorraine, qui nous permettent de bénéficier de conditions de travail enviées ;

- mes étudiants, et plus particulièrement ceux du master ISC, qui nous poussent à toujours améliorer nos enseignements ;

- tous les professionnels, professeurs ou industriels, que j'ai pu côtoyer dans des projets, des associations ou lors de formations.

Je tiens aussi à remercier chaleureusement mes relecteurs et collègues Éric Bonjour, Éric Levrat et Pascale Marangé pour leurs précieux conseils.

Enfin, je ne peux oublier de remercier ma femme, d'autant qu'elle a eu la (mal)chance d'en faire la première relecture, ainsi que mes enfants, leurs conjoints et mes petits-enfants pour leur soutien et tout le bonheur qu'ils m'apportent.

4. www.robafis.fr.