



HAL
open science

Cinquante ans d'ingénierie des exigences : un concept suffisamment mûr pour être revisité

Maximiliano Jeanneret Medina, Cédric Baudet, Pierre Bonnal

► To cite this version:

Maximiliano Jeanneret Medina, Cédric Baudet, Pierre Bonnal. Cinquante ans d'ingénierie des exigences : un concept suffisamment mûr pour être revisité. 4ème Conférence Internationale en Gestion de Projet, May 2019, Trois-Rivières, Canada. hal-02143260

HAL Id: hal-02143260

<https://univ-lyon3.hal.science/hal-02143260>

Submitted on 29 May 2019

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.

Cinquante ans d'ingénierie des exigences : un concept suffisamment mûr pour être revisité

Maximiliano Jeanneret Medina *, Cédric Baudet * **, Pierre Bonnal *** #

* HEG Arc, HES-SO // University of Applied Sciences Western Switzerland, Neuchâtel

** IAE, Université Jean Moulin Lyon 3, Magellan EA 3713, Lyon, France

*** CERN, département de l'ingénierie, Genève, Suisse # Geneva School of Economics and Management, Université de Genève, Suisse

***Abstract**—Le succès d'un projet se traduit par l'atteinte d'un objectif de coût, d'un objectif de délai et d'un objectif de performance. Sous la perspective des triples contraintes de Barnes, les outils pour maîtriser les sommets de coût et de délai sont assez clairs. La situation est on ne peut plus confuse quant à la maîtrise du troisième sommet relatif à l'objectif de performance. Pour ce faire, nous avons pris la direction de l'ingénierie des exigences pour rassembler des pratiques communément acceptées. En finalité, nous proposons un premier artefact permettant de fixer et atteindre l'objectif de performance. Cet artefact s'appuie sur un corpus d'ouvrages en ingénierie des exigences reconnus dont les composantes les plus valeureuses ont été regroupées.*

***Keywords**—requirements engineering, project management, solution proposal, best practices*

I. INTRODUCTION

À la fin des années 60, en proposant ce qui est devenu le « triangle d'or » ou le « triptyque » du management de projet, Martin Barnes (2007) ne se doutait peut-être pas de l'impact que ce concept aurait sur le management de projet. Il en est définitivement devenu un incontournable. Ce triptyque traduit le fait que trois objectifs intimement liés les uns aux autres concourent au succès d'un projet : l'atteinte d'un objectif de coût, d'un objectif de délai et d'un objectif de performance. Agir sur l'un de ces objectifs en le modifiant a nécessairement un impact sur les deux autres. Quant aux moyens offerts au chef de projet

pour maîtriser leur attente, pour les deux sommets coût et délai, la situation nous semble assez claire : le découpage budgétaire et le calendrier de réalisation sont des outils parfaits. Pour le troisième sommet, la situation est plus confuse.

Certains — dont Barnes lui-même — ont avancé que l'objectif de performance était en fait un objectif de qualité. D'autres se sont permis de remplacer cet objectif de performance par un objectif de réalisation du *scope* (Project Management Institute, 2017), c'est-à-dire de l'ensemble des activités de projet que les mandants entendent voir réaliser. Ce sont-là plusieurs visons ou interprétations, et le débat qu'elles suscitent appelle d'autres clarifications.

Un point fait l'unanimité néanmoins : un projet prend forme parce que des mandants ont un problème et souhaitent que celui-ci trouve solution dans des objectifs de coût et de délai ! Cette formulation en appelle une autre très voisine : un projet prend forme parce que des mandants ont des besoins et souhaitent que ceux-ci soient satisfaits dans des objectifs de coût et de délai. Ceci traduit bien le fait que le troisième sommet du triangle de Barnes fixe les objectifs de

résolution du problème ou de satisfaction des besoins des mandats. Ce n'est que lorsque le problème aura été résolu ou les besoins satisfaits, dans les objectifs de coût et de délai, que l'objectif de performance global sera atteint ! *Quid* de la maîtrise de cette troisième dimension ? Le registre des exigences est vraisemblablement l'outil naturel pour la maîtrise de cet « objectif de performance ». La notion d'exigence amène à faire le lien direct avec la discipline multidisciplinaire d'ingénierie des exigences, qui de ce fait, implique de multiples perspectives (Daneva, Damian, Marchetto, & Pastor, 2014; Nuseibeh & Easterbrook, 2000).

Dans ce contexte, il nous semble légitime de s'interroger sur comment fixer et atteindre l'objectif de performance d'un projet en s'appuyant sur les meilleures pratiques d'ingénierie des exigences ? Pour cela, nous proposons une communication en cinq sections. Dans une première section, nous présentons les fondements de l'ingénierie des exigences, ses activités principales et quelques représentations du processus les intégrant. De plus, nous nous penchons sur les bonnes pratiques et les outils logiciels supportant ces activités. La deuxième section présente la méthodologie adoptée pour répondre à notre question de recherche. Nous recensons, dans une troisième section, les meilleures pratiques, les techniques et les outils d'ingénierie des exigences présentés par des organismes et acteurs reconnus du domaine. En quatrième section, nous agrégeons les composantes les plus valeureuses à nos yeux de

cet arsenal méthodologique inventorié, pour proposer un artefact offrant une vue graphique revisitée. Nous discutons de cet artefact dans la cinquième section puis nous présentons les limites de notre étude ainsi que quelques pistes de recherche dignes d'intérêt.

II. ÉTAT DE L'ART

A. *Fondements*

Les exigences sont les fondations de tout projet (Hull, Jackson, & Dick, 2005), même des plus anciens. Ces exigences influencent le succès des projets, mais aussi la qualité d'un logiciel dans une vision réduite aux systèmes informatiques (Nuseibeh & Easterbrook, 2000). En raison de l'importance de ces dernières, une approche rigoureuse d'ingénierie est à privilégier (Nuseibeh & Easterbrook, 2000). Cela a donné lieu à un courant de recherche nommé le *Requirements Engineering* (RE), initié en 1992 lors d'une série de conférences sur le domaine (Daneva et al., 2014). En 1995, la discipline d'ingénierie des exigences était encore considérée comme immature, car elle n'avait pas fait l'objet d'une définition communément acceptée (Pohl, 1995). Depuis lors, cette discipline est bien établie avec une large palette d'approches, de techniques et d'outils, mais aussi des revues et conférences spécifiques au domaine (Daneva et al., 2014). À ce jour, de nombreuses définitions, plus ou moins proches, définissent cette discipline. Selon la dernière mouture du glossaire de l'*International Requirements Engineering Board* (IREB), l'ingénierie des exigences est l'approche systématique et disciplinée de la spécification et

de la gestion des exigences (Glinz, 2017, p. 18). Les objectifs visent à 1) connaître les exigences pertinentes, parvenir à un consensus entre les parties prenantes sur celles-ci, les documenter selon des normes données et les gérer systématiquement, 2) comprendre et documenter les désirs et les besoins des parties prenantes, et enfin de 3) spécifier et gérer les exigences afin de minimiser le risque de livrer un système ne répondant pas aux désirs et aux besoins des parties prenantes (*ibid.*, 2017).

Étant donné les formes hétérogènes des systèmes, l'ingénierie des exigences est pluridisciplinaire et déploie par conséquent une variété de techniques et d'outils à différents stades de développement et pour différents domaines d'application. Le produit principal résultant du processus d'ingénierie des exigences est la spécification des exigences énonçant ce qu'un système devrait faire, autrement dit le « *quoi* », et non pas le « *comment* » et les possibles implémentations du système (Pohl, 1995). En d'autres termes, il s'agit de la phase durant laquelle les idées informelles sont transformées en spécifications du système (*ibid.*). Ainsi, l'ingénierie des exigences impacte autant le domaine du problème que le domaine de la solution (Hull et al., 2005).

B. Principales activités du processus d'ingénierie des exigences

Pohl (1993) a identifié les dimensions de spécification, de représentation et d'accord comme étant les principales composantes du processus d'ingénierie des exigences. Partant

d'une entrée initiale, le but est d'obtenir une spécification complète du système, exprimée en langages formels, sur laquelle un accord entre les parties prenantes a été conclu. Quant au processus, il est synonyme du chemin navigant dans les trois dimensions précitées. Deux ans plus tard, Pohl (1995) propose l'élucidation, la négociation, la spécification et la documentation, puis la validation et la vérification comme étant les quatre tâches du processus d'ingénierie des exigences. Nuseibeh & Easterbrook (2000) proposent une séparation plus fine des activités centrales du processus en mentionnant : l'élucidation, la modélisation et l'analyse, la communication, l'accord, et enfin l'évolution des exigences. On voit ainsi apparaître la notion d'élucidation comme activité à part entière, mais aussi la nature dynamique des exigences à travers l'activité d'évolution. Sommerville (2005) présente l'élucidation, l'analyse, la validation et la négociation comme des activités successives du cycle de vie d'ingénierie des exigences, et la documentation et la gestion comme des activités centrales reliées à toutes les autres. Plus précise, la norme *ISO/IEC/29148 IEEE* mentionne que l'ingénierie des exigences est concernée par la découverte, l'élucidation, le développement, l'analyse, la vérification, la validation, la communication, la documentation et enfin la gestion des exigences (ISO, IEC, & IEEE, 2011). Pohl & Rupp (2015) réduisent ces activités principales au nombre de quatre, en mentionnant l'élucidation, la documentation, la validation et la gestion des exigences.

C. Représentation des activités par les modèles et leurs applications

Il existe un grand nombre de représentations du processus d'ingénierie des exigences, intégrant les activités principales (Batra & Bhatnagar, 2017). Pohl (1995) présente des activités successives et reliées entre elles. Certains modèles linéaires sont proposés comme par exemple celui de Kotonya & Sommerville (1998). Or, en pratique, les activités ne sont pas si séquentielles, mais bien plus itératives et parallèles (Hickey & Davis, 2004). Ainsi, certains modèles proposent une représentation en spirale, à l'image de Sommerville (2011, p. 99). D'autres ajoutent aux activités successives du processus, les notions de retour sur investissement et de risques pour intégrer la perspective coût-bénéfice (Batra & Bhatnagar, 2017).

Pour comprendre l'utilisation de ces modèles, Martin, Aurum, Jeffery, & Paech (2002) ont comparé les pratiques en ingénierie des exigences au sein d'entreprises aux modèles recensés dans la littérature. Ils soutiennent qu'aucun modèle, qu'il soit linéaire ou itératif, ne représente bien le processus d'ingénierie des exigences entier, mais que chaque modèle représente certains sous-processus mieux que d'autres. De plus, ils soulignent que le processus d'ingénierie des exigences dépend de la situation et du contexte du projet rendant ainsi la création d'un modèle unique difficile.

Par ailleurs, certains artefacts voués à une utilisation en pratique ne se concentrent pas essentiellement sur le séquençement des activités.

Pour soutenir l'approche de management de *Quality Function Deployment*, Hauser & Clausing (1988) proposent la « *house of quality* ». Cette carte conceptuelle fournit les moyens de communication et de planification entre le marketing, les ingénieurs et les *managers*. Cet outil a pour but d'établir des liens clairs entre la satisfaction du client et les caractéristiques techniques de fabrication afin d'en générer des objectifs précis. Ces derniers sont mesurés à partir des désirs du client, des coûts ainsi que de la difficulté de réalisation résultante.

À l'instar du fameux *Business Model Canvas*, le *Context-Canvas* de Stypa & Schlaus (2016) peut être appliqué à l'ingénierie des exigences. Cet outil comprend trois niveaux d'abstraction, à commencer par la correspondance entre le problème et la solution, suivie du contexte du système et terminée par un niveau comprenant des modèles contextualisés. Par son intelligibilité, il sert de support et d'outil de communication entre les parties prenantes pour prévenir les erreurs inhérentes. L'IIBA fournit le *Business Analysis Core Concept Model™* (BACCM™) dont quelques-uns de ses concepts peuvent être directement reliés aux activités d'ingénierie des exigences (International Institute of Business Analysis, 2015). Effectivement, les parties prenantes, les besoins, le contexte et la solution sont des notions détaillées dans les chapitres précédents.

D. Support intégré et informatisé des activités

Une gestion efficace et intégrée du processus d'ingénierie des exigences requiert des outils de

support automatisés (Nuseibeh & Easterbrook, 2000), connus sous les appellations de *Requirements Engineering Tool*, de *Requirements Engineering System*, ou encore de *Requirements Management Software*. Un nombre important de ces outils existent sur le marché (Carrillo de Gea et al., 2015). Certains sont génériques alors que d'autres s'appuient sur des méthodes particulières tels des scénarios ou une méthode de développement logiciel comme *eXtreme Programming (XP)*. Carrillo de Gea et al. (2011, 2012) se sont intéressés aux fonctionnalités nécessaires des outils d'ingénierie des exigences, mais aussi à leur apport comme support des activités principales du processus. Ces chercheurs ont effectué une étude comparative sur la base de six catégories (élucidation des exigences, analyse des exigences, spécification des exigences, vérification et validation des exigences, gestion des exigences et autres) découlant du guide des capacités des outils d'ingénierie des exigences (*ISO/IEC TR 24766:2009*). En raison de la nature dynamique d'une exigence, susceptible de changer tout au long du cycle de vie du projet, ils ont ajouté la traçabilité à ces catégories (Carrillo de Gea et al., 2012). Les processus sont bien couverts par les outils, avec une certaine marge d'amélioration, principalement en ce qui concerne la modélisation des exigences et les fonctions d'intégration. La plupart des outils sont livrés sous une licence propriétaire, rarement gratuite. Par la suite, ce même groupe de chercheurs a poursuivi ses recherches sur les niveaux de variation des fonctionnalités proposées par ces outils (Carrillo

de Gea et al., 2015). Ils ont alors intégré la collaboration et le développement global de logiciels comme nouvelle catégorie de comparaison. Ils obtiennent un haut degré de variabilité entre les fonctionnalités de ces outils. Le premier groupe de logiciels supporte les activités de manière relativement complète dans toutes les catégories sauf la collaboration. Le second groupe comprend des logiciels également complets, mais moins performants dans la plupart des activités, essentiellement pour la modélisation. Le troisième groupe est caractérisé par des outils ne supportant pas le processus entier d'ingénierie des exigences. Ils mettent en évidence la nécessité de supporter un format standard pour les informations liées aux exigences, soit ReqIf.

Dans un contexte aéronautique hautement compliqué, Gaspard-Boulin & Conversy (2017) ont étudié les tâches effectuées par les ingénieurs et le soutien apporté par les outils logiciels. Pour ce faire, ils ont combiné un *framework* d'utilisabilité et la norme *ISO 9241*. Ces chercheurs ont observé un changement significatif dans le temps de cinq aspects du processus d'ingénierie des exigences à savoir la traçabilité des exigences, la maturité des exigences, la collaboration, la représentation du comportement du système et la satisfaction des utilisateurs. Le processus d'ingénierie des exigences débute par une activité collaborative centrée sur la conception. Pour ce faire, les ingénieurs s'appuient sur des outils de bureautique flexibles et polyvalents (Visio, Excel,

PowerPoint, email), sans passer du temps à enregistrer les exigences à l'aide d'un outil spécialisé. Aux étapes ultérieures du processus, lorsque l'accent est mis sur l'affinage et la vérification des exigences, les ingénieurs doivent utiliser des outils spécifiques pour garantir la traçabilité. Toutefois, le manque d'utilisabilité de l'outil entraîne une perte de temps et une insatisfaction importantes.

III. MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

L'atteinte de l'objectif de performance d'un projet peut sans aucun doute être soutenue et facilitée par la discipline bien établie d'ingénierie des exigences (Hull et al., 2005; Nuseibeh & Easterbrook, 2000; Pohl & Rupp, 2015). Alors que les sciences naturelles se préoccupent de la façon dont les choses sont, les sciences de l'artificiel sont animées par le comment les choses devraient être, et par conséquent de la conception d'artefacts pour atteindre les objectifs souhaités (Simon, 1996, p. 114). Les nombreuses représentations artificielles façonnées par l'homme du processus d'ingénierie des exigences montrent la nécessité de comprendre sa complexité (*ibid.*, 1996).

Pour atteindre et fixer l'objectif de performance, prendre la direction de concevoir un artefact nous semble être le chemin adapté. Cette approche va dans le sens des méthodologies de *Design Science* qui prend racine dans la théorie de Simon (1996, cité par Hevner, March, Park, & Ram, 2004, p. 76), largement employée en ingénierie ainsi qu'en management des systèmes d'information.

Afin de répondre à la question de recherche énoncée dans notre introduction, nous proposons un artefact qui regroupe la connaissance d'ouvrages reconnus de la discipline d'ingénierie des exigences, et agence les plus valeureuses composantes en un modèle simple. La démarche méthodologique adoptée est la suivante :

1. Analyse d'un corpus de connaissance constitué d'ouvrages liés à l'ingénierie des exigences
2. Étude systématique des activités retenues pour les sous-processus d'ingénierie des exigences principaux
3. Proposition d'un artefact rassemblant les concepts, les techniques et les outils permettant de répondre à notre question de recherche.

A. Échantillon

Afin d'obtenir une vision assez exhaustive des outils de maîtrise des exigences, nous nous sommes appuyés sur plusieurs documents normatifs en ingénierie des exigences. Nous avons étudié les pratiques préconisées dans les divers guides de management de projet et d'ingénierie système. Nous avons encore consulté les démarches suggérées par quelques auteurs d'ouvrages spécialisés à la discipline d'ingénierie des exigences. Les articles de revue scientifique et les communications focalisées sur une seule phase ou un unique aspect du processus d'ingénierie des exigences ont été exclus. Aussi, les ouvrages appliquant une méthodologie de gestion de projet spécifique, tel *Scrum* n'ont pas

fait l'objet de cette étude. Bien qu'ils soient de plus en plus souvent employés par les praticiens, ces outils ont leurs propres pratiques et outils reliés à l'ingénierie des exigences. Nous présentons notre corpus de connaissance ci-après.

Ces documents peuvent être catégorisés en guides génériques, en guides spécifiques à un domaine particulier et en standards. L'importance accordée aux exigences dépend du type d'ouvrage. Les ouvrages d'ingénierie des systèmes présentent l'ingénierie des exigences comme une brique essentielle au cycle de vie d'un système. Les

ouvrages de *Business Analysis* (BA), englobe l'ingénierie des exigences, et de ce fait, couvrent les activités principales du processus. Concernant les guides en gestion de projet, les activités d'ingénierie des exigences sont à imbriquer dans une phase d'une méthode de gestion de projet particulière. La place laissée aux activités liées aux exigences est prévue dans les phases initiales du projet. Les guides donnent pour chaque sous-processus d'ingénierie des exigences, les entrées, le séquençement des activités et les résultats en sortie pour l'étape suivante.

<i>Dénomination</i>	<i>Description</i>	<i>Type</i>	<i>Référence</i>
ISO/IEC/IEEE 29148:2011	Standard en ingénierie des systèmes et des logiciels, des processus du cycle de vie et de l'ingénierie des exigences	Standard en ingénierie des exigences	(ISO et al., 2011)
Requirements Engineering Fundamentals	Guide en ingénierie des exigences pour la certification CPRE de l'IREB	Guide en ingénierie des exigences	(Pohl & Rupp, 2015)
INCOSE Systems Engineering Handbook	Manuel pour les processus et activités du cycle de vie des systèmes	Guide en ingénierie des systèmes	(INCOSE, 2015)
MITRE Systems Engineering Guide (SEG)	Guide de bonnes pratiques en ingénierie des systèmes	Guide en ingénierie des systèmes	(The MITRE Corporation, 2014)
HERMES 5.1	Manuel de référence d'HERMES 5.1	Guide en gestion de projet	(Confédération suisse, UPIC, & DFF, 2015)
Guide PMBOK	Guide du corpus des connaissances en management de projet	Guide en gestion de projet	(Project Management Institute, 2017)
Business Analysis for Practitioners: A Practice Guide	Guide en <i>Business Analysis</i> en complément au PMBOK	Guide en <i>Business Analysis</i>	(Project Management Institute, 2015)
Guide BABOK	Guide du corpus des connaissances en <i>Business Analysis</i>	Guide en <i>Business Analysis</i>	(International Institute of Business Analysis, 2015)
NASA SP-2016-6105 Rev2	Manuel d'ingénierie des systèmes de la NASA	Guide en ingénierie des systèmes	(NASA, 2016)
ECSS-E-ST-10C-Rev.1	Exigences générales en matière d'ingénierie système	Standard en ingénierie des systèmes	(European Cooperation For Space Standardization (ECSS), 2017)
ECSS-E-ST-10-06C	Spécification des exigences techniques pour l'ingénierie spatiale	Standard des exigences	(ECCS, 2009)

Tableau 1. Ouvrages d'ingénierie des exigences étudiées.

B. Méthode d'analyse

Une stratégie d'analyse mixte qui combine l'approche d'analyse de cas à celle des variables a été adoptée (Miles, Huberman, & Saldaña, 2014). Cette analyse a été menée en deux temps. Premièrement, le plan général de codage, conçu de manière inductive, correspond aux quatre activités principales du processus d'ingénierie des exigences. L'élucidation, la documentation, la validation et la négociation ainsi que la gestion des exigences selon les définitions de Pohl & Rupp (2015) ont été retenues. La vérification des exigences, souvent de pair avec la validation, a été ajoutée à leur décomposition initiale. Deuxièmement, les ouvrages ou cas ont été comparés à l'aide d'une analyse matricielle regroupant les catégories précitées. Dans cette étape, nous avons accordé une importance particulière à la représentation des activités principales du processus d'ingénierie des exigences, car la représentation du problème influence la conception de l'artefact (Simon, 1996). Troisièmement et une fois les cas étudiés, des codes supplémentaires ont été générés pour chaque activité dans le but de soutenir une comparaison systématique pour les composantes les plus souvent identifiées.

IV. ÉTUDE DES OUTILS DE MAÎTRISE DES EXIGENCES

Les ouvrages étudiés sont dans un premier temps comparés selon le séquençement des activités dans le processus d'ingénierie des exigences puis, dans un deuxième temps, en fonction des activités individuelles retenues.

A. Séquençement des activités du processus et perspectives des exigences

Les ouvrages offrent différentes représentations du séquençement des activités du processus d'ingénierie des exigences. Cependant, ils se rejoignent sur le fait que les activités sont récursives, itératives, incrémentielles et interdépendantes.

Les ouvrages présentent des exigences sous plusieurs perspectives et niveaux d'abstraction s'affinant au fil des étapes. Initialement représentées par la vision des parties prenantes découlant en partie de l'environnement, les exigences sont affinées en une vision du système ou parfois même en un sous-élément de celui-ci. Avec une idée similaire, mais en adoptant des perspectives différentes, le guide BABOK présente le cycle d'exigence et de conception comme un processus continu qui se poursuit jusqu'à ce que les exigences métiers, les exigences des parties prenantes, les exigences de solution et celles de transition soient satisfaites et alignées. L'ouvrage de l'INCOSE mentionne également l'affinage descendant des exigences avec un alignement entre le besoin et l'exigence.

Cette récursivité est aussi visible dans les ouvrages qui décomposent le cycle de vie du projet en phases. Dans la perspective du manuel d'HERMES 5.1 les exigences sont élaborées pour la première fois de manière sommaire comme partie de l'étude effectuée dans la phase d'initialisation. Les exigences sont complétées et concrétisées dans les phases suivantes selon le principe d'affinement progressif, notamment dans

la phase de conception. Nécessitant davantage de rigueur en raison des produits et systèmes spatiaux hautement compliqués, les communautés spatiales font apparaître les exigences dites techniques sous une forme préliminaire pour la NASA ou de haut niveau pour l'ECSS, dès la phase de préétude. De manière semblable à HERMES, ces exigences seront affinées et détaillées dans les phases ultérieures, pouvant même être figées comme mentionné dans le standard *ECSS-E-ST-10-06C*. Dans ces ouvrages, la notion d'exigence est souvent reliée à la notion de conception. En effet, le manuel *NASA SP-2016-6105 Rev2* détaille le processus d'ingénierie des exigences dans quatre processus de conception du système interdépendants, hautement itératifs et récursifs.

La communauté spatiale européenne caractérise le processus d'ingénierie des systèmes intégrant l'ingénierie des exigences, comme intrinsèquement itératif, en particulier dans les phases initiales. Le standard *ISO/IEC/IEEE 29148:2011* souligne que l'itération dans l'ingénierie des exigences n'est pas seulement appropriée, mais attendue, en s'appliquant au processus entier et à chaque sous-processus. En rejoignant ces avis, le guide MITRE mentionne l'itération dans ses bonnes pratiques, par exemple « *l'analyse des exigences est un processus itératif, alors planifiez en conséquence* ». Ce guide propose également un modèle d'exigence qui inclut à chaque étape la prise de décision, et en cas de non-complétude de l'activité, une réitération est indiquée.

Finalement, cette première comparaison rejoint les observations faites par les acteurs du monde scientifique de la discipline. L'ingénierie des exigences a été considérée comme la première phase du cycle de vie du logiciel (Pohl, 1995). L'ingénierie des exigences peut être intégrée dans les modèles de processus, en tant que phase autonome ou en tant que processus continu et collatéral. Les activités peuvent être exécutées selon un processus différent tout en étant représentées à différents niveaux d'abstraction (Pohl & Rupp, 2015).

B. Indications concernant les activités principales du processus

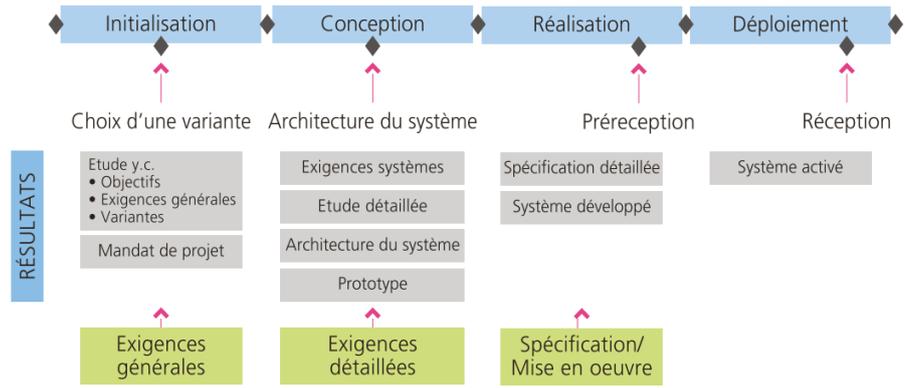
Maintenant que les ouvrages ont été présentés de manière générale, il est possible d'entrer en détail dans les indications qu'ils fournissent à propos des quatre activités du processus d'ingénierie des exigences retenues. Pour chaque activité, nous présentons les éléments les plus fréquemment recensés dans ces ouvrages.

1) Élucidation

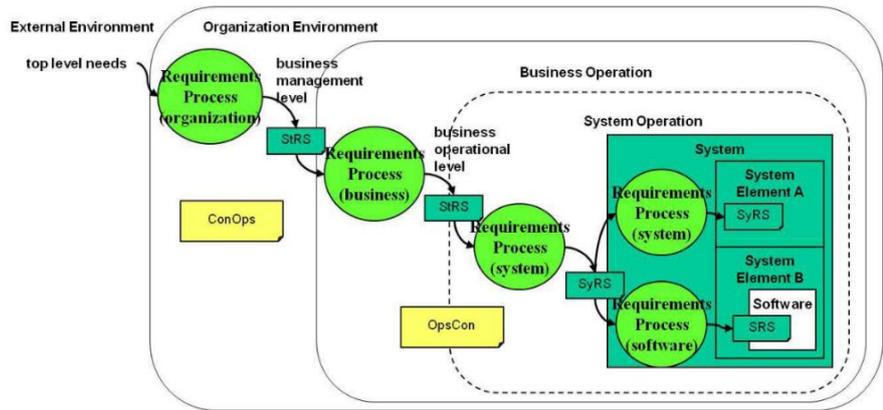
a) Préalable à l'élucidation

Il est important de connaître en premier lieu le contexte dans lequel le projet s'insère. De ce fait, l'activité d'élucidation doit s'appuyer sur des éléments contextuels notamment décrits dans le Concept of Operations (ConOps) (INCOSE, 2015; ISO et al., 2011; The MITRE Corporation, 2014). L'élucidation débute par la liste des parties prenantes (Pohl & Rupp, 2015). Le manuel d'HERMES 5.1 mentionne que cette liste, élaborée durant la phase initialisation du projet, est actualisée en permanence dans son déroulement.

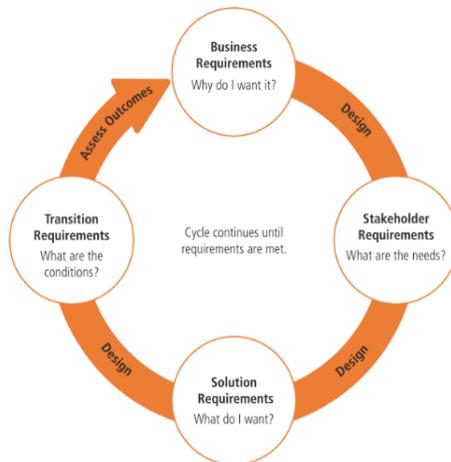
Représentation des exigences comme partie intégrante du cycle de vie d'un projet.



Représentation de la récursivité du processus d'ingénierie des exigences.



Représentation itérative, continue et récursive du processus d'ingénierie des exigences.



Représentation des entrées, des activités et des sorties d'un sous-processus d'ingénierie des exigences.

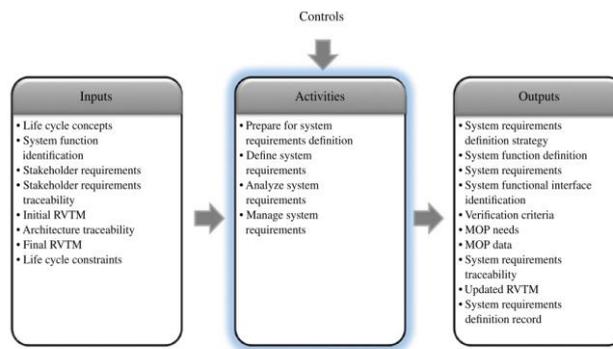


Figure 1. Représentations courantes des exigences dans les ouvrages étudiés.

Dans l'ordre, les illustrations sont tirées du manuel d'HERMES 5.1, du standard ISO/IEC/IEEE 29148:2011, du guide BABOK et du SEG de l'INCOSE.

b) Distinguer les types d'exigences

Il est fréquent de voir une classification fine des exigences en une dizaine de catégories. Les ouvrages sont souvent calqués sur le standard *ISO/IEC/IEEE 29148:2011* qui propose la classification suivante : *functional requirement, performance requirement, interface requirement, design requirement constraints requirement, process requirements, non-functional requirement*. D'autres classifications, quelque peu similaires existent, à l'image du guide BABOK® : *business requirements, stakeholder requirements, solution requirements, functional requirements, non-functional requirements or quality of service requirements, transition requirements*.

c) Techniques d'élucidation variées

Les ouvrages de *Business Analysis* et le guide d'étude recommandé par l'IREB décrivent précisément comment mener l'activité d'élucidation. Par exemple, le guide BABOK fournit une marche à suivre pour planifier, préparer, conduire, documenter, et confirmer l'élucidation des exigences. Pour la conduite ils proposent près d'une vingtaine de techniques, telles le *brainstroming*, l'entretien, le *focus groups*, le *benchmarking* et l'analyse de marché, ou encore le prototypage pour en citer quelques-unes. Un grand nombre de ces techniques, groupées en catégories de plus haut niveau, sont comparées dans l'ouvrage qui regroupe les *fondamentaux de l'ingénierie des exigences* recommandé par l'IREB. Le guide BA du PMI fournit lui aussi des explications fournies

avec des indications détaillées notamment sur l'organisation de telles techniques.

2) Documentation

a) Spécification des exigences

La manière textuelle est la façon la plus commune de spécifier les exigences. Par ailleurs, le guide BABOK mentionne un grand nombre de techniques pour modéliser les exigences. Pohl & Rupp (2015) donnent de nombreux détails concernant le format de spécification d'une exigence, en proposant notamment un patron pour la rédaction d'une exigence en langage naturel, ou en s'appuyant sur des modèles et langages de modélisation. Pour aller encore plus en détail dans la façon de modéliser les exigences, l'IREB fournit un manuel pour les praticiens de niveau avancé (Cziharz et al., 2016).

b) Utiliser des documents et templates

Les documents à utiliser tout au long du processus suivent la logique d'affinement progressif ou de récursivité. D'après le standard *ISO/IEC/IEEE 29148:2011*, un document d'exigences doit être complet et cohérent. C'est aussi ce standard qui propose le plus haut de niveau de formalisme, dans une clause énonçant les éléments d'information requis : le *Stakeholder requirements specification document* (StRS), le *System requirements specification document* (SyRS), le *Software requirements specification document* (SRS) s'il s'agit d'un projet de développement logiciel, le *Concept of Operation* (ConOps) et le *System Operational Concept* (OpsCon). Le guide BABOK fait la différence entre le *business requirement specification* (BRS) et le StRS. Le SEG de l'INCOSE, conforme à

l'*ISO/IEC/IEEE 29148:2011*, accorde une haute importance à ces documents représentés explicitement dans les illustrations du processus d'exigences.

Les documents normatifs décrivant le « *quoi* » donnent des modèles ou *templates* de documents pour être conforme à leurs spécifications. Si le niveau de spécification nécessite davantage de précision, les exigences peuvent être divisées en plusieurs rapports. Pohl & Rupp (2015) donnent des indications au sujet des structures de document standardisées versus personnalisées.

C. Vérification et validation

Malgré les points de vue divergents sur cette activité, les ouvrages se rejoignent quant aux activités des processus de validation et de vérification, ainsi qu'aux outils et pratiques les soutenant.

a) Processus en deux phases avec une vérification et une validation des exigences niveau par niveau

Le standard *ISO/IEC/IEEE 29148:2011* mentionne, pour chaque activité, un processus de deux phases, commençant par la création d'un plan, puis de son exécution. L'INCOSE ajoute la gestion des résultats de la vérification ou de la validation à ces deux activités tandis que la NASA propose un découpage encore plus précis.

Concernant la planification, l'*ISO/IEC/IEEE 29148:2011* propose de tenir compte du qui, quand, où et comment l'activité de vérification sera effectuée. Pour obtenir la preuve objective que les exigences ont été respectées, il y a le choix entre quatre méthodes de vérification standard

(inspection, analyse ou simulation, démonstration et essai) communément admises. En plus de détailler ces méthodes, Pohl & Rupp (2015) mentionnent des combinaisons entre elles pour une validation plus robuste. Pour définir le qui, HERMES 5.1 indique les rôles de chef de projet et de responsable de test, comme les acteurs assignés aux tâches de vérification et de validation.

Les guides d'ingénierie système sont riches en détail pour ce qui est du comment. Comme les exigences d'un système correspondent à des niveaux d'abstraction différents, l'INCOSE propose une vérification ainsi qu'une validation niveau par niveau étroitement liée au processus d'intégration. Chaque élément du système est vérifié avant d'intégrer le système. Aussi, les guides d'ingénierie système traitent de la vérification et de la validation du système une fois implémenté. Pour représenter la vérification et la validation des exigences, de la conception du système et de l'implémentation résultante, le guide MITRE renvoie à la métaphore « *Quand le pneu rencontre la route* » en faisant le lien avec la notion de traçabilité.

b) Utiliser une matrice comme support à la traçabilité

Un aspect important de la gestion des exigences est d'assurer la traçabilité des exigences, tout au long du cycle de vie du système (Pohl & Rupp, 2015). La matrice de vérification *Requirements Verification Matrix* (RVM), parfois dénommée matrice de vérification et de traçabilité, *Requirements Verification and*

Traceability Matrix (RVTM) est prévue à cet effet. Cet outil est mentionné dans la plupart des ouvrages, quels que soient leurs types (ECCS, 2009; INCOSE, 2015; ISO, 2011; NASA, 2016; Project Management Institute, 2017). La traçabilité bidirectionnelle des exigences doit être garantie, tant du côté des objectifs organisationnels plus vastes que de celui des solutions applicables (The MITRE Corporation, 2014).

En complément à cet outil, il est possible d'utiliser une liste de contrôle et un procès-verbal pour la vérification et pour le test, comme proposé par le manuel d'HERMES 5.1. Le procès-verbal documente les constatations faites lors des vérifications, les décisions de mise en œuvre y relative ainsi que la décision concernant l'état du résultat.

a) Rédiger des exigences de qualité

L'IREB mentionne trois aspects de la qualité des exigences, à savoir la qualité du contenu, la qualité de la documentation et la qualité de l'accord des parties prenantes concernées. Le critère de qualité du contenu s'applique à la documentation des exigences, mais aussi à chaque exigence de manière individuelle (Pohl & Rupp, 2015). La qualité des exigences fait référence à la bonne formulation des exigences. Cette notion est souvent abordée dans l'activité de vérification et en partie moindre dans celle de spécification. L'ISO/IEC/IEEE 29148, le SEG de l'INCOSE, le guide du MITRE, le *NASA System Engineering Handbook SP-2016-6105 Rev2*, le guide BA du PMI, l'*ECSS-E-ST-10-06C*, et le guide BABOK

donnent des indications sur la formulation des exigences. Certains ouvrages vont encore plus loin en présentant la syntaxe et les termes à utiliser pour une bonne formulation (ECCS, 2009; ISO et al., 2011; Pohl & Rupp, 2015), et même avec des exemples à ne pas faire (Project Management Institute, 2015).

D. Gestion des exigences

L'un des points cruciaux de l'ingénierie des exigences, mentionné à juste titre par les ouvrages étudiés, est que les exigences sont rarement statiques (ISO et al., 2011), quand bien même le changement est inévitable (INCOSE, 2015). Il convient par conséquent de gérer ces modifications et leurs impacts.

a) Gestion du changement par la gestion de la configuration (configuration management)

Sous diverses appellations, les ouvrages étudiés proposent de gérer le changement par le maintien du contrôle des exigences, de la documentation et des artefacts créés tout au long du cycle de vie du système et de gérer l'impact du changement sur un projet (INCOSE, 2015). La gestion des modifications permet de garder le contrôle du développement du projet en cas de modifications quelconques (Confédération suisse et al., 2015). Le guide BABOK relie ses aspects à la gouvernance.

b) Gestion du changement par la gestion de l'information (information management)

Les projets ont des bases de référence (*baselines*) en constante évolution qui doivent être gérées de façon efficiente. Le but du processus de gestion de l'information est de fournir des renseignements pertinents, opportuns, complets,

valides et, au besoin, confidentiels aux parties désignées pendant le cycle de vie du système et, s'il y a lieu après.

La gestion d'une exigence passe par son identification précise et la connaissance de ces attributs. Pohl & Rupp (2015) mentionnent l'identifiant unique, le nom, la description, le responsable, la stabilité, le risque de l'exigence, etc. comme des attributs possibles.

V. PROPOSITION D'UN ARTEFACT

Les guides, standards et manuels étudiés donnent une vision riche et complète du processus d'ingénierie des exigences. Ils fournissent aussi un arsenal de méthodes, d'outils et de pratiques pour chaque activité. Cependant, aucun ouvrage ne regroupe ces deux niveaux d'abstraction, pour l'un général et pour l'autre détaillé, en un unique modèle simple d'utilisation. Pour fixer et atteindre convenablement l'objectif de performance d'un projet, le praticien faisant recours à l'un ou l'autre de ces ouvrages doit sélectionner des informations dispersées dans plusieurs chapitres. En outre, la plupart des guides demandent une formalisation trop élevée et contraignante pour des projets de petite envergure pour cause du grand nombre de documents à remplir. D'un autre côté, les artefacts recensés dans la littérature pouvant être utilisés dans la pratique présentent peu les liens entre les activités du processus d'ingénierie des exigences et ses caractéristiques itérative et réursive intimement reliées. Pour ces raisons, nous proposons de regrouper ces visions et pratiques en un unique artefact intelligible.

A. Composantes retenues

Pour résoudre les problèmes susmentionnés, voici les composantes que nous retenons.

1) *Vision intégrée des activités du processus supportant les itérations et la récursivité*

Les systèmes complexes nécessitent une décomposition hiérarchique en niveaux, où chaque niveau isolé contribue à la fonction globale (Simon, 1996). L'artefact proposé comprend les quatre activités principales du processus d'ingénierie des exigences, avec pour chacune d'entre elles les composantes minimales les plus valables à nos yeux. Ainsi, nous proposons un artefact pour faire le lien entre les *stakeholders* qui sont les teneurs d'enjeux exprimant leurs besoins, transformés en exigences documentées de façon précise, jusqu'à être validées. L'artefact proposé donne les indications minimales pour obtenir des exigences validées.

2) *Les parties prenantes comme point de départ*

Le périmètre d'un projet peut être vu comme la somme des exigences des parties prenantes. L'un des plus grands défis dans l'élaboration d'un système est l'identification de l'ensemble des parties prenantes dont les exigences seront élucidées (INCOSE, 2015). De plus, la différence entre le succès et l'échec d'un projet est influencée par la capacité du chef de projet à correctement identifier et mobiliser les parties prenantes de manière appropriée (Project Management Institute, 2017). Comme les ouvrages étudiés donnent peu d'indications sur l'identité des parties prenantes, nous sommes allés chercher des réponses dans la théorie des

parties prenantes (Freeman, Harrison, Wicks, Parmar, & de Colle, 2010). Cette théorie stipule que la création de valeur passe par l'inclusion de multiples parties prenantes, internes et externes à l'organisation. Par conséquent, nous proposons suggérons de suivre cette liste générique de parties prenantes afin de ne pas en oublier. Nous complétons cette liste avec les principaux acteurs du processus RE présentés par Pohl (1995). Cette liste peut s'appuyer sur les suggestions concernant les parties prenantes pertinentes faites par le management ou les experts de domaine (Pohl & Rupp, 2015).

3) *Documentation de qualité systématique*

Les ouvrages mentionnent les critères de qualité des exigences dans l'activité de vérification. Nous soutenons que si une exigence est correctement écrite dès sa première documentation, elle sera plus facilement vérifiée. Ainsi, nous proposons de rédiger une exigence de manière convenable dès le départ et de manière systématique, en suivant les recommandations de Pohl et Rupp (2015).

4) *Représentation graphique intelligible*

D'après Simon (1996, p. 132), la résolution d'un problème passe par une représentation rendant sa solution transparente. En d'autres mots, un problème compliqué modélisé en une représentation simple en facilite largement sa compréhension. C'est pourquoi, l'artefact proposé à la forme d'une cible. L'atteinte du centre permet une meilleure délimitation du périmètre du projet et par conséquent de sa compréhension. Effectivement, nous partons du principe qu'une fois les exigences élucidées puis

validées par les parties prenantes, les chances de réussite du projet sont plus grandes. Aussi, le produit résultant aura une meilleure qualité.

B. *Description de la cible des exigences*

Chaque cercle ou niveau correspond à une activité du processus d'ingénierie des exigences. Chaque tranche délimite la frontière d'une unique partie prenante. Chaque parcelle, délimitée par la tranche et le niveau comporte une règle et du contenu. Le contenu est de deux types, à savoir : une carte (contextuelle, de partie prenante, de besoin, d'exigence, de validation) et d'un tir (pion). Ce pion représente la progression dans le processus d'ingénierie des exigences.

Ce qui se trouve autour du cercle représente l'environnement. Des cartes contextuelles présentant par exemple le contexte dans lequel le projet s'insère sont à placer dans cette zone extérieure.

Dans le cercle de niveau « *Stakeholders* », la règle présente les parties prenantes et leur importance. Le second cercle « *Stakeholders needs* » doit être rempli par les besoins des parties prenantes élucidés. Une partie prenante peut avoir plusieurs besoins. Il est possible de prioriser les cartes de besoins à l'aide d'une notion d'ordre quelconque.

Le troisième cercle « *System requirements* » présente la spécification textuelle des exigences découlant des besoins des parties prenantes. Ce cercle regroupe le produit principal du processus d'ingénierie des exigences, indiquant ce que le système doit faire ou le « quoi » (Pohl, 1995).

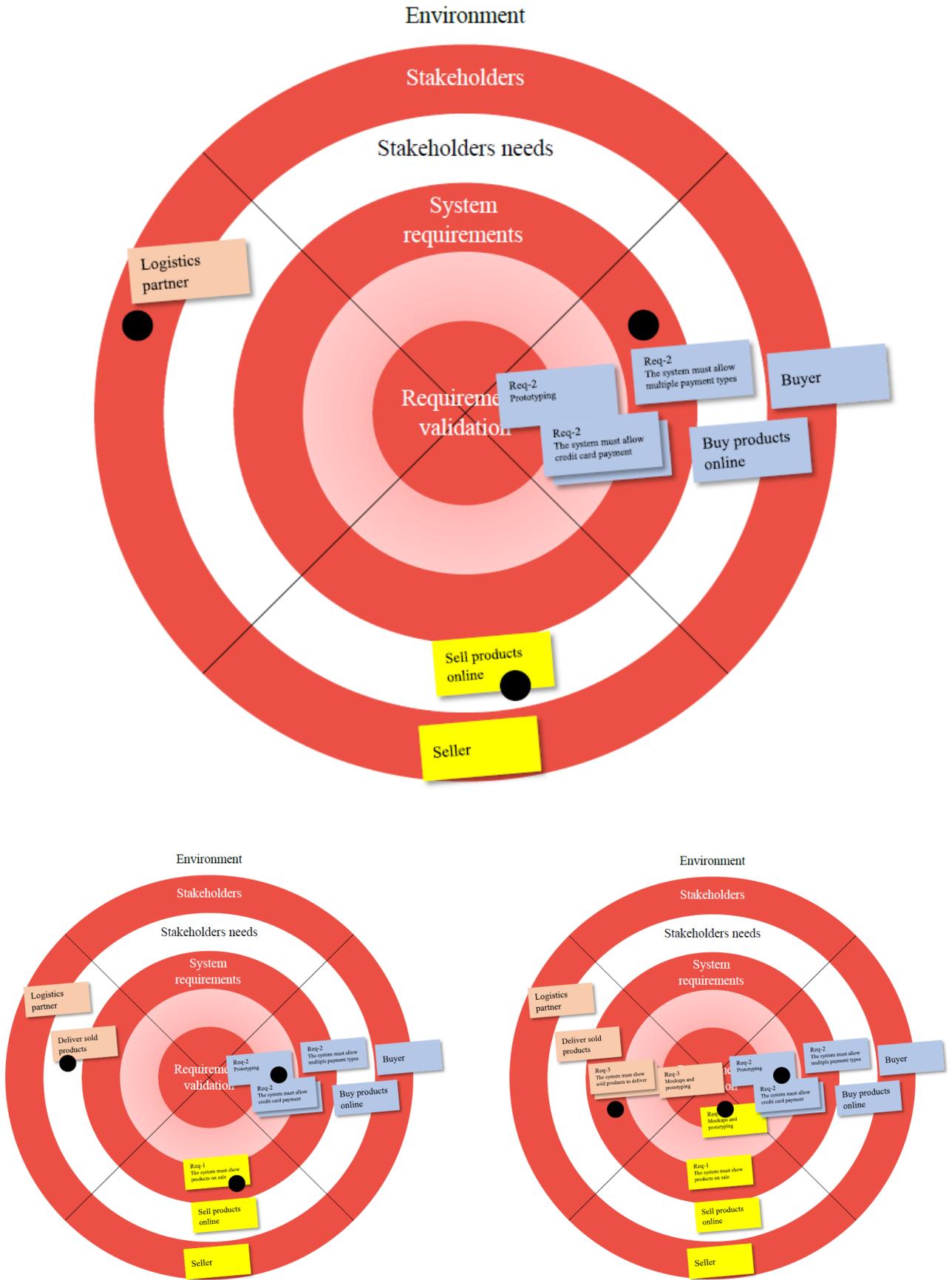


Figure 2. Cible des exigences complétées avec des cartes pour créer un site e-commerce.

Une exigence comporte au minimum un identifiant, un titre, une description brève. À cela peuvent s'ajouter les notions de risque et de priorité. Il est possible d'intégrer à une carte d'exigence, un modèle ou une référence vers un document. La règle mentionne la manière de formuler les exigences individuelles.

Le dernier cercle de « *Requirements validation* », correspondant au centre de la cible, comprend les cartes de validation qui définissent le comment, le qui, le où et le quand de l'activité de validation des exigences. Il peut exister plusieurs moyens de valider une même exigence. Si des conflits entre les parties prenantes sont constatés, il est important de documenter cela au dos de la carte. La gestion des exigences apparaît de manière transparente et transversale. La traçabilité dans un même niveau est caractérisée par un empilement de cartes de versions différentes. Le visuel apporté par la cible, et les tirs qui représentent la progression en favorise la gestion des exigences. En un coup d'œil, il est possible de distinguer si le projet est ciblé ou non. Si les exigences doivent être affinées, il est possible de réitérer sur le niveau. Il est également possible de mesurer l'impact du changement. Lors de la modification d'une exigence, il est possible de replacer les tirs (pions), dans les cases précédentes et ainsi évaluer l'impact global sur le projet.

C. Utilisation

Cet artefact peut être employé comme document d'exigence pour répertorier les exigences d'un projet. Étant donné que les

premières activités du cycle d'ingénierie des exigences nécessitent une forte collaboration entre les parties prenantes, l'artefact peut être utilisé comme support à un *brainstorming*. Cet artefact sert aussi d'outil de communication au sein de l'équipe chargée de réaliser les tâches reliées aux exigences.

Vu que la matrice de traçabilité est reconnue par la communauté d'ingénieurs système et d'ingénieurs des exigences, nous proposons de l'employer de manière complémentaire à cet artefact.

VI. CONCLUSION ET DISCUSSION

L'ingénierie des exigences est une discipline multidisciplinaire. Afin de proposer un artefact, non spécifique à un domaine particulier, nous avons alors étudié diverses perspectives quant aux exigences. En analysant scientifiquement un corpus de connaissance constitué d'ouvrages d'ingénierie système génériques et certains spécifiques au domaine spatial, d'ouvrages en BA et d'ouvrages de gestion de projet, nous avons pu en extraire les tendances, les outils, les techniques et les pratiques les plus largement acceptés. Pour faire le lien avec le standard *ISO/IEC/IEEE 29148:2011*, l'artefact est complet, car il prend en compte les activités principales du processus d'ingénierie des exigences. Il est cohérent, car il relie les activités entre elles ainsi que les propriétés itérative et récursive du processus entier. Par sa forme de cible, il est lisible et sa structure est claire. Enfin, il fournit une portée raisonnable et une traçabilité des exigences. Pour conclure, nous supposons que l'artefact proposé,

qui rassemble des pratiques disparates, permet de fixer et d'atteindre l'objectif de performance d'un projet.

Cependant, cette étude souffre de plusieurs limites. D'abord, il peut être difficile de comparer de manière détaillée des ouvrages hétérogènes, qui servent des publics et des objectifs différents. Les standards mentionnent le « *quoi* » tandis que les guides détaillent le « *comment* », et sont par conséquent inégaux sur certains points de vue. Nous avons alors préféré extraire quelques composantes et non pas en retenir tous les détails.

L'artefact conçu suit la logique de conception indiquée par Simon (1996). Toutefois, il s'appuie uniquement sur la littérature spécialisée au domaine. Bien souvent, un artefact conçu après une seule itération ne permet pas de répondre totalement au problème initial. Alors nous souhaitons poursuivre ce travail en suivant l'approche de *Design Science* (Hevner et al., 2004). Cette approche soutient que le processus de création d'un artefact fonctionne par des va-et-vient et itérations dans un cycle de conception et d'évaluation.

Ces cycles permettront d'abord de faire évoluer l'artefact proposé, ou encore d'affirmer la complémentarité avec la matrice de traçabilité. Les évaluations devront être effectuées sur le terrain et en situation réelle. Ainsi, nous suggérons d'évaluer cet artefact par des praticiens lorsque ces derniers doivent fixer l'objectif de performance. C'est à ce moment que sera évaluée la pertinence de l'artefact, comme recommandé par Wieringa, Maiden, Mead, & Rolland (2005).

Si une itération supplémentaire du cycle de rigueur s'avère nécessaire, nous suggérons les pistes suivantes. Pour extraire une connaissance plus détaillée, des ouvrages spécifiques à une activité du processus d'ingénierie des exigences peuvent être étudiés en profondeur. Sans pour autant avoir étudié des ouvrages connexes à la méthodologie agile, l'usage de carte s'apparente quelque peu aux *User Stories* disposées sur les *Backlogs* de Scrum. Pour disposer de recommandations à ce niveau, il serait souhaitable de s'intéresser à la littérature à l'intersection de l'agilité et l'ingénierie des exigences (Inayat, Salim, Marczak, Daneva, & Shamshirband, 2015).

Le support informatique de l'artefact proposé est à envisager. Ce futur artefact informatisé aura pour unique but de supporter la cible d'exigence. Il n'aura pas la vocation de soutenir toutes les activités mentionnées par le standard *ISO/IEC TR 24766:2009*, tant les outils sur le marché sont riches (Carrillo de Gea et al., 2015, 2011, 2012). Prendre la direction d'une voie informatisée nécessite le support de la collaboration entre les parties prenantes, mais aussi d'un format standard pour les informations reliées aux exigences afin de favoriser l'interopérabilité entre logiciels (Carrillo de Gea et al., 2015).

REFERENCES

- Barnes, M. (2007). Some Origins of Modern Project Management: A Personal History. *PM World Today*, II(XI), 1–2.
- Batra, M., & Bhatnagar, A. (2017). A Comparative Study of Requirements Engineering Process Model. *International Journal of Advanced Research in Computer*

Science, 8(3), 740–745.

- Carrillo de Gea, J. M., Nicolás, J., Fernández-Alemán, J. L., Toval, A., Ebert, C., & Vizcaíno, A. (2015). Commonalities and differences between requirements engineering tools: A quantitative approach. *Computer Science and Information Systems*, 12(1), 257–288. <https://doi.org/10.2298/CSIS131201001C>
- Carrillo de Gea, J. M., Nicolás, J., Fernández-Alemán, J., Toval, A., Ebert, C., & Vizcaíno, A. (2011). Requirements Engineering Tools. *IEEE Software*, 28(4), 86–91.
- Carrillo de Gea, J. M., Nicolás, J., Fernández-Alemán, J., Toval, A., Ebert, C., & Vizcaíno, A. (2012). Requirements engineering tools : Capabilities , survey and assessment. *Information and Software Technology*, 54(10), 1142–1157. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2012.04.005>
- Confédération suisse, UPIC, & DFF. (2015). *Hermes 5.1*. Retrieved from www.hermes.admin.ch
- Cziharz, T., Hruschka, P., Queins, S., Weyer, T., Van Akkeren, E., Baumann, L., ... Zandhuis, J. (2016). Handbook of Requirements Modeling According to the IREB Standard Education and Training for IREB Certified Professional for Requirements Engineering Advanced Level “Requirements Modeling,” (August).
- Daneva, M., Damian, D., Marchetto, A., & Pastor, O. (2014). Empirical research methodologies and studies in Requirements Engineering: How far did we come? *Journal of Systems and Software*, 95, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.06.035>
- ECCS. (2009). *ECSS-E-ST-10-06C Space engineering Technical requirements specification*.
- European Cooperation For Space Standardization (ECSS). (2017). *ECSS-E-ST-10C-Rev.1 - Space engineering: system engineering general requirements*. https://doi.org/10.1142/9781860944574_0014
- Freeman, R. E., Harrison, J. S., Wicks, A. C., Parmar, B., & de Colle, S. (2010). *Stakeholder Theory: The State of the Art*. (C. U. Press, Ed.). Cambridge University Press.
- Gaspard-Boulinç, H., & Conversy, S. (2017). Usability Insights for Requirements Engineering Tools: A User Study with Practitioners in Aeronautics. In *RE 2017 IEEE 25th International Requirements Engineering Conference* (pp. 223–232).
- Glinz, M. (2017). *A Glossary of Requirements Engineering Terminology*.
- Hauser, J. R., & Clausing, D. (1988). The house of quality. *Harvard Business Review*, 66(3), 63–73. <https://doi.org/10.2307/1341164>
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). DESIGN SCIENCE IN INFORMATION SYSTEMS RESEARCH. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105. <https://doi.org/10.2307/25148869>
- Hickey, A. M., & Davis, A. M. (2004). A Unified Model of Requirements Elicitation. *Journal of Management Information Systems*, 20(4), 65–84. <https://doi.org/10.1007/s10869-007-9037-x>
- Hull, E., Jackson, K., & Dick, J. (2005). *Requirements Engineering* (2nd ed.).
- Inayat, I., Salim, S. S., Marczak, S., Daneva, M., & Shamshirband, S. (2015). A systematic literature review on agile requirements engineering practices and challenges. *Computers in Human Behavior*, 51, 915–929. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.10.046>
- INCOSE. (2015). *Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities* (Fourth ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- International Institute of Business Analysis. (2015). *BABOK: A GUIDE TO THE BUSINESS ANALYSIS BODY OF KNOWLEDGE®*.
- ISO. (2011). ISO/IEC/ IEEE 29148. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2015.7106438>
- ISO, IEC, & IEEE. (2011). Systems and software engineering — Life cycle processes —

- Requirements engineering : ISO/IEC/IEEE 29148.
<https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2011.6146379>
- Kotonya, G., & Sommerville, I. (1998). *Requirements Engineering: Processes and Techniques* (1st ed.). Wiley.
- Martin, S., Aurum, A., Jeffery, R., & Paech, B. (2002). Requirements Engineering Process Models in Practice. *Requirements Engineering*, 141–155.
- Miles, M. B., Huberman, M. A., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook* (3rd editio). SAGE.
- NASA. (2016). *NASA System Engineering Handbook SP-2016-6105 Rev2*.
- Nuseibeh, B., & Easterbrook, S. (2000). Requirements Engineering: A Roadmap. In *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering* (pp. 35–46). <https://doi.org/10.1145/336512.336523>
- Pohl, K. (1993). The three dimensions of requirements engineering, *6353*, 275–292. https://doi.org/10.1007/3-540-56777-1_15
- Pohl, K. (1995). Requirements Engineering: An Overview. *Encyclopedia of Computer Science and Technology, Marcel Dekker Inc.*, 36, 1–40. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.67.1394&rep=rep1&type=pdf>
- Pohl, K., & Rupp, C. (2015). *Requirements Engineering Fundamentals: A Study Guide for the Certified Professional for Requirements Engineering Exam, foundation level, IREB compliant* (2nd ed.).
- Project Management Institute. (2015). *Business Analysis for Practitioners: A Practice Guide*.
- Project Management Institute. (2017). *Guide du CORPUS DES CONNAISSANCES EN MANAGEMENT DE PROJET (GUIDE PMBOK®)* (Sixième éd).
- Simon, H. A. (1996). *The Sciences of the Artificial* (3rd ed.). MIT Press.
- Sommerville, I. (2005). Integrated Requirements Engineering: A Tutorial. *IEEE Software, January/Fe*, 1–8. Retrieved from <papers3://publication/uuid/1e2a2851-cd3b-4b4d-8df1-97db69389372>
- Sommerville, I. (2011). *Software engineering* (9th ed.).
- Stypa, O., & Schlaus, S. (2016). The Context-Canvas: A new approach to accelerate the RE-process! Retrieved from <https://re-magazine.ireb.org/articles/the-context-canvas>
- The MITRE Corporation. (2014). *Systems Engineering Guide*. Retrieved from www.mitre.org
- Wieringa, R., Maiden, N., Mead, N., & Rolland, C. (2005). Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: A proposal and a discussion. *Requirements Engineering*, 11(1), 102–107. <https://doi.org/10.1007/s00766-005-0021-6>