



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEEN

THÈSE

Présentée à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

DOCTORAT

Spécialité : Informatique

Par :

Mme KARA TERKI Hadjira

Sur le thème

Un modèle de processus d'élicitation des exigences à base de confiance, de collaboration et de transformation des connaissances

Soutenue publiquement le/07/2026. à Tlemcen devant le jury composé de :

BENAMAR Abdelkrim	Professeur	Université de Tlemcen	Président
CHIKH Azeddine	Professeur	Université de Tlemcen	Directeur de thèse
MALKI Mimoun	Professeur	Ecole supérieure en informatique, Sidi bel Abbas	Examineur
BENSLIMANE Sidi-Mohamed	Professeur	Ecole supérieure en informatique, Sidi bel Abbas	Examineur
BENMAMMAR Badr Eddine	Professeur	Université de Tlemcen	Examineur

*Laboratoire de Recherche en Informatique de Tlemcen
(LRIT) BP 119, 13000 Tlemcen - Algérie*

*À la mémoire de mes chers parents,
qui m'ont transmis le goût de l'effort et la force de persévérer.*

*À la mémoire de mon mari,
dont l'absence reste une présence silencieuse dans tout ce que j'accomplis.*

*À mes frères et sœurs,
pour leur soutien indéfectible, leurs encouragements constants
et la chaleur de leur présence à mes côtés.*

*À tous mes proches,
qui ont cru en moi même dans les moments de doute.*

*C'est à vous tous, présents ou partis,
que je dédie ce travail.*

- Hadjira

Remerciements

Je tiens avant tout à exprimer ma gratitude envers ALLAH le tout puissant pour m'avoir doté du courage, de la patience, de la force et de la détermination nécessaire pour mener à bien ce travail.

Mes remerciements les plus sincères et ma profonde gratitude vont en premier lieu à mon directeur de thèse, **Pr. Azeddine CHIKH**, pour la confiance qu'il m'a témoignée en acceptant de diriger ce travail. Sa rigueur scientifique, sa grande disponibilité, ses conseils avisés et ses encouragements constants ont été pour moi un soutien précieux tout au long de ce parcours doctoral. Les échanges enrichissants que nous avons partagés, sa clairvoyance et sa passion pour la recherche m'ont permis d'évoluer et de mener ce projet à son terme. Je lui témoigne ici toute ma reconnaissance pour l'investissement dont il a fait preuve à mon égard.

C'est avec un profond respect que j'adresse mes vifs remerciements aux éminents membres du jury qui ont bien voulu consacrer de leur temps précieux à l'évaluation de ce travail :

- **Pr. Abdelkrim BENAMAR**, Professeur à l'Université de Tlemcen, à qui je suis particulièrement reconnaissant d'avoir accepté de présider ce jury, conférant ainsi à cette soutenance un honneur supplémentaire.
- **Pr. Mimoun MALKI**, Professeur à l'École Supérieure en Informatique de Sidi Bel-Abbès, pour l'intérêt bienveillant qu'il a manifesté envers ce travail en acceptant d'en être l'examineur.
 - **Pr. Sidi-Mohamed BENSLIMANE**, Professeur à l'École Supérieure en Informatique de Sidi Bel-Abbès, pour l'attention qu'il a portée à la lecture de cette thèse et pour la pertinence de ses observations en qualité d'examineur.
- **Pr. Badr Eddine BENMAMMAR**, Professeur à l'Université de Tlemcen, pour sa bienveillance et sa disponibilité en acceptant d'examiner et d'évaluer ce travail.

Leurs remarques éclairées et leur regard critique ont indéniablement contribué à enrichir et à améliorer la qualité de ce manuscrit.

Enfin, je tiens à exprimer ma sincère gratitude à l'ensemble des **enseignants et collègues** qui ont, de près ou de loin, contribué à l'aboutissement de ce travail. Leurs conseils, leur soutien et leur enthousiasme ont été d'un apport considérable. Je leur adresse mes vœux les plus chaleureux de réussite et d'épanouissement dans leurs propres travaux.

Résumé

L'élicitation des exigences est une phase critique et complexe du cycle de développement d'un système, souvent mal gérée et reconnue comme source d'erreurs. Le processus d'élicitation des exigences (REP) étant de nature informelle, un ensemble d'exigences peut s'avérer incorrect, incomplet et incohérent pour toutes les parties prenantes. Il est donc souvent difficile d'extraire les exigences avec précision. Comprendre le processus socio-émotionnel associé au REP est essentiel pour améliorer les performances de l'équipe et, par conséquent, la qualité des exigences. En effet, nous émettons l'hypothèse qu'un faible niveau de confiance dans la structure organisationnelle peut avoir un impact négatif sur la qualité des exigences. De plus, la littérature récente affirme qu'il n'existe pas suffisamment d'études axées sur la confiance et la qualité des exigences. Ce travail de recherche vise à examiner l'impact de la confiance verticale et horizontale sur la création de connaissances pendant le REP, qui est basé sur le modèle S.E.C.I. de socialisation, d'externalisation, de combinaison et d'internalisation. Il s'appuie sur une étude de cas qui analyse les manifestations de la confiance interpersonnelle et organisationnelle pendant les conversations REP menées dans le cadre du projet de formation en ligne Mooc Computer Science

Mots clés : *Requirements, Elicitation, Trust, Knowledge, S.E.C.I, Collaboration.*

Abstract

Requirements elicitation is a critical and complex phase in the system development cycle that is often mistreated and often recognized as error-prone. As the requirements elicitation process (REP) is informal by nature, a set of requirements may be incorrect, incomplete, and inconsistent for all stakeholders. Therefore, it is often difficult to accurately extract requirements. Understanding the socio-emotional process associated with REP is key to increasing team performance and, consequently the requirements quality. Indeed, we hypothesize that low levels of trust in the organizational structure can negatively impact requirements quality. Furthermore, recent literature claims that there are not enough studies focusing on trust and requirements quality. This research work aims to examine the impact of vertical and horizontal trust on knowledge creation during REP, which is based on the S.E.C.I. model of socialization, externalization, combination, and internalization. It is supported by a case study that analyzes the manifestations of interpersonal and organizational trust during REP conversations conducted in the context of the Mooc Computer Science online training project.

Keywords : *Requirements, Elicitation, Trust, Knowledge, S.E.C.I, Collaboration.*

ملخص

يعد استخلاص المتطلبات مرحلة حاسمة ومعقدة في دورة تطوير النظام، وغالبًا ما يتم التعامل معها بشكل خاطئ وغالبًا ما يُنظر إليها على أنها عرضة للأخطاء. نظرًا لأن غير رسمية بطبيعتها، فقد تكون مجموعة (REP) عملية استخلاص المتطلبات غير صحيحة أو غير كاملة أو غير متسقة بالنسبة لجميع أصحاب المصلحة. لذلك، غالبًا ما يكون من الصعب استخراج المتطلبات بدقة. إن فهم هو المفتاح لزيادة أداء الفريق، REP العملية الاجتماعية والعاطفية المرتبطة بـ وبالتالي جودة المتطلبات. في الواقع، نفترض أن انخفاض مستويات الثقة في الهيكل التنظيمي يمكن أن يؤثر سلبًا على جودة المتطلبات. علاوة على ذلك، تشير الأدبيات الحديثة إلى عدم وجود دراسات كافية تركز على الثقة وجودة المتطلبات. يهدف هذا ، استنادًا REP البحث إلى دراسة تأثير الثقة الرأسية والأفقية على إنشاء المعرفة أثناء للتنشئة الاجتماعية والتعبير الخارجي والدمج والاستيعاب. S.E.C.I. إلى نموذج REP ويدعمه دراسة حالة تحلل مظاهر الثقة بين الأفراد والمنظمات أثناء محادثات Mooc Computer Science. التي أجريت في سياق مشروع التدريب عبر الإنترنت

الكلمات المفتاحية: المتطلبات، الاستنباط، الثقة، المعرفة، S.E.C.I،
التعاون

1.	CONTEXTE ET MOTIVATION.....	14
2.	Contributions.....	16
3.	ORGANISATION DU MANUSCRIT.....	18
1.	Ingénierie des Exigences- Fondements, processus et défis contemporains	20
1.1	INTRODUCTION.....	21
1.2	L'EMERGENCE D'UNE DISCIPLINE A PART ENTIERE.....	21
1.3	DEFINITIONS ET CONCEPTS FONDAMENTAUX.....	22
1.3.1	Qu'est-ce qu'une exigence ?.....	22
1.3.2	Classification des exigences	23
1.4	INGENIERIE DES EXIGENCES	24
1.5	LE PROCESSUS D'INGENIERIE DES EXIGENCES	25
1.5.1	Elicitation des Exigences	25
1.5.2	Analyse et négociation des exigences.....	25
1.5.3	Spécification des exigences	26
1.5.4	Validation des exigences.....	27
1.6	APPROCHES ET PARADIGMES DE MODELISATION.....	28
1.7	DEFIS CONTEMPORAINS ET PERSPECTIVES.....	28
1.7.1	Systèmes socio-techniques complexes	28
1.7.2	Évolution continue et DevOps.....	29
1.7.3	Intelligence artificielle et machine learning	29
1.7.4	Sécurité et confidentialité by design.....	29
1.7.5	Globalisation et distribution.....	29
1.8	CONCLUSION.....	29
2.	Processus d'Élicitation des Exigences « REP ».....	31
2.1	Introduction	32
2.2	Définition et Nature de l'Élicitation des Exigences	32
2.2.1	Conceptualisation.....	32
2.2.2	Caractéristiques Distinctives.....	33
2.3	Processus d'Élicitation des Exigences.....	34
2.3.1	Compréhension du Domaine d'Application.....	34
2.3.2	Identification des Sources d'Exigences.....	35
2.3.3	Analyse des Parties Prenantes.....	37
2.3.4	Sélection des Techniques, Approches et Outils	39
2.3.5	Élicitation Effective des Exigences.....	40
2.4	Modèles de Processus.....	42
2.4.1	Modèle Unifié de Hickey et Davis (2003-2004)	42
2.4.2	Modèle de Bonnes Pratiques de Sommerville et Sawyer (1997)	43
2.4.3	Modèle Itératif de Sommerville (2000)	44
2.4.4	Modèle d'Approche Multi-Perspectives - PREview (1998)	45
2.4.5	Modèle de Zowghi et Coulin (2005)	46
2.4.6	Modèle Guidé par les Processus - Process-Led Model (2021).....	47
2.4.7	Modèle d'Amélioration des Processus d'Élicitation (2010)	48
2.4.8	Modèle de Sélection de Techniques d'Élicitation (2003)	49
2.4.9	Synthèse comparative des modèles d'élicitation des exigences.....	50
2.5	Techniques d'élicitation des exigences.....	51
2.6	Obstacles et Défis Multidimensionnels de l'Élicitation des Exigences	52
2.7	Conclusion	53
3.	La Théorie de la Confiance dans le Contexte du REP.....	54
3.1	Introduction	55
3.2	La Confiance	55
3.2.1.	La théorie de la confiance.....	55
3.2.1.1.	Définition Formelle et Multidisciplinaire du Trust.....	56

3.2.1.2.	Dimensions Clés de la Confiance	57
3.2.2.	La confiance dans l'ingénierie	58
3.3	La théorie de la confiance dans le contexte de l'ingénierie	59
3.3.1.	Les dimensions de la confiance interpersonnelle en ingénierie des exigences.....	59
	Confiance fondée sur la bienveillance	59
	Confiance fondée sur l'intégrité	59
3.3.2.	La confiance organisationnelle en ingénierie des exigences 60	
	Confiance verticale	60
	Confiance horizontale	60
	Confiance institutionnelle	61
3.4	La confiance dans le processus d'élicitation des exigences (REP)	61
3.4.1	Le rôle fondateur de la confiance dans l'élicitation	61
3.4.2	La confiance à travers les phases du REP	63
3.4.3	Les déterminants de la confiance dans REP	65
3.4.4	Les ruptures de confiance et leur réparation dans le REP ..	67
3.4.5	Stratégies de développement de la confiance pour les analystes des exigences.....	69
3.4.5.1.	Développer la confiance fondée sur la compétence	69
3.4.5.2.	Développer la confiance fondée sur la bienveillance	70
3.4.5.3.	Développer la confiance fondée sur l'intégrité.....	70
3.4.6	Confiance et médiation numérique dans le REP	71
3.5	Méthodologies de mesure de la confiance	71
3.6	Formalisation de la confiance	73
3.6.1	La Notation Formelle de Base : $T(i, j, \alpha)$	73
3.6.2	Formalisations Mathématiques des Dimensions du Trust ..	74
3.6.2.1.	Dimensions Logiques	74
3.6.2.1.1.	<i>L'Inférence Bayésienne</i>	74
3.6.2.1.2.	<i>La Logique Subjective</i>	74
3.6.2.1.3.	<i>Confiance Basée sur la Certitude (Entropy de Shannon)</i>	75
3.6.2.1.4.	<i>Compétence Perçue</i>	75
3.6.2.1.5.	<i>Récence (Recency)</i>	75
3.6.2.2.	Dimensions Émotionnels.....	76
3.6.2.2.1.	<i>L'Espoir et la Crainte</i>	76
3.6.2.2.2.	<i>La Disposition de l'Agent</i>	76
3.6.2.2.3.	<i>Le Regret</i>	76
3.6.2.3.	Dimensions Relationnels	77
3.6.2.3.1.	<i>La Similarité</i>	77
3.6.2.3.2.	<i>La Centralité</i>	77
3.6.3	Le Trust Composite : Un Modèle en Quatre Couches.....	77
3.6.4	Propriétés Formelles des Modèles de Trust.....	78
3.7	Conclusion	79
4.	Management de la Connaissance dans le Contexte du REP	81
4.1	INTRODUCTION	82
4.2	Concepts fondamentaux	82
4.2.1	La Collaboration dans l'Ingénierie des Exigences	82
4.2.2	Caractéristiques d'une Collaboration Efficace dans l'Élicitation des Exigences	84
4.2.3	Ingénierie de la Collaboration.....	84
4.2.3.1.	Fondements de la Discipline	84
4.2.3.2.	Les Trois Rôles en Ingénierie de la Collaboration.....	85

4.2.3.3.	Les Six Patrons de Collaboration	85
4.2.4	Connaissances et le Management des Connaissances	85
4.3	Le modèle SECI : Un cadre pour la transformation des connaissances.....	86
4.3.1	Fondements théoriques.....	86
4.3.2	Les quatre modes de conversion des connaissances.....	86
4.3.3	Le modèle SECI dans les contextes de l'ingénierie des exigences	87
4.4	CONCLUSION.....	88
5.	Nouvelle Approche d'Elicitation des Exigences Basée sur S.E.C.I et la Confiance 89	
5.1	INTRODUCTION.....	90
5.2	CONFIANCE.....	91
5.2.1	LES TROIS DIMENSIONS FONDAMENTALES DE LA CONFIANCE.....	91
5.3	ELICITATION DES CONNAISSANCES.....	92
5.4	Ingénierie de la collaboration et le REP	93
5.5	La Confiance à Travers les Patrons de Collaboration	94
5.6	Modèle de confiance basé sur les connaissances dans le REP	95
5.6.1	Phase de Pré-élicitation (à dominante Internalisation)	95
5.6.2	Phase d'élitication (à dominante Socialisation)	97
5.6.3	Phase de Post-élicitation (à dominante Externalisation et Combinaison).....	98
5.7	La confiance comme catalyseur de la création de connaissances	100
5.8	La confiance comme fondement de la transformation des connaissances	101
5.9	Cadre intégratif : Dynamiques Trust-S.E.C.I-Qualité dans les phases du REP	102
	.....	103
5.10	Étude de Cas : Application du Cadre SECI-Trust à la Conception de MOOCs	104
5.10.1	Méthodologie et Cadre de Collecte des Données.....	104
5.10.2	Cadre Mathématique : Indices de Performance Fondamentaux	110
5.10.2.1	Trust Quality Index (TQI).....	110
5.10.1.1.	Requirements Quality Index (RQI)	110
5.10.3	Méthodologie d'Analyse de la Variance du Trust.....	111
5.10.3.1	Cadre Diagnostique par Catégories de Fiabilité.....	111
5.10.3.2	Analyse de Corrélation Inter-Phases.....	112
5.10.1.1.1.	Coefficient de Corrélation de Pearson	112
5.10.1.1.2.	Classification des Coefficients et Protocoles de Décision 112	
5.10.1.2.	Fiabilité et Validation Statistique du Cadre.....	113
5.10.1.2.1.	Alpha de Cronbach	113
5.10.1.2.2.	Tests de Signification Statistique	113
5.10.1.2.3.	Taille de l'Effet : d de Cohen	114
5.10.1.2.4.	Intervalles de Confiance à 95 %.....	114
5.10.1.3.	Modélisation Prédictive de la Qualité des Exigences	114
5.10.1.3.1.	Prédiction Multi-Phases par Régression.....	114
5.10.1.3.2.	Algorithmes de Reconnaissance Automatique de	

Patterns	115
5.10.1.4. Modélisation par Équations Structurelles.....	115
5.10.1.4.1. Spécification et Estimation du Modèle	115
5.10.1.4.2. Évaluation de l'Ajustement du Modèle.....	116
5.10.1.4.3. Résultats du Modèle de Mesure : Charges Factorielles Standardisées	116
5.10.1.4.4. Résultats du Modèle Structurel : Coefficients de Chemin 117	
5.11. Opérationnalisation du Cadre dans le Contexte MOOC-MESRS.	118
5.11.1. Analyse de la Variance et Modélisation par Équations Structurelles	118
5.11.1.1. Analyse de Variance Intra-Phase : Le Trust comme Prédicteur de la Qualité	118
5.11.1.1.1. Résultats Descriptifs par Phase SECI	118
5.11.1.1.2. Le Paradoxe de la Corrélation : Variance Maximale, Corrélation Maximale	119
5.11.1.1.3. La Relation Inverse entre Variance du Trust et Stabilité de la Qualité	119
5.11.2. Matrice de Corrélation Croisée Trust-Qualité : Mécanismes Spécifiques	120
5.11.2.1. Structure de la Matrice et Lecture des Résultats	120
5.11.2.2. Trois Voies Causales Critiques	120
5.11.2.3. Renforcement Progressif des Corrélations inter-Phases	121
5.11.3. Évolution des Performances des Parties Prenantes	122
5.11.4. Analyse par Modélisation par Équations Structurelles....	122
5.11.4.1. Vue d'Ensemble du Modèle et Ajustement	122
5.11.4.2. Résultats du Modèle de Mesure	123
5.11.4.3. Résultats du Modèle Structurel : Trois Relations Significatives	123
5.11.4.4. Synthèse des Implications Empiriques.....	124
5.11 Discussion.....	124
5.11.1 Contributions Théoriques : Trois Intégrations Inédites..	125
5.11.2 Au-delà des Postulats Traditionnels de l'Ingénierie des Exigences	127
5.11.3 Implications Pratiques et Recommandations Opérationnelles.....	128
5.11.4 Positionnement Comparatif dans la Littérature	130
5.11.5 Limites de l'Étude et Directions de Recherche Futures...	130
5.12 Conclusion.....	131
Conclusion Générale.....	132
Publication	137
Bibliographie.....	138

Liste des Figures

<i>Figure 1.1 specification phenomena (hal-01758502).....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 2.1 Modèle Unifié de Hickey et Davis (2003-2004)</i>	<i>43</i>
<i>Figure 2.2 Modèle de Bonnes Pratiques de Sommerville et Sawyer (1997)</i>	<i>44</i>
<i>Figure 2.3 Modèle Itératif de Sommerville (2000)</i>	<i>45</i>
<i>Figure 2.4 Modèle d'Approche Multi-Perspectives - PREview (1998).....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 2.5 Modèle de Zowghi et Coulin (2005)</i>	<i>47</i>
<i>Figure 2.6 Modèle Guidé par les Processus - Process-Led Model (2021)</i>	<i>48</i>
<i>Figure 2.7 Modèle d'Amélioration des Processus d'Élicitation (2010)</i>	<i>49</i>
<i>Figure 2.8 Modèle de Sélection de Techniques d'Élicitation (2003)</i>	<i>50</i>
<i>Figure 3.1 Modèle intégré de la confiance organisationnelle (adapté de Mayer et al., 1995)</i>	<i>57</i>
<i>Figure 5.1: Pré-élicitation.....</i>	<i>97</i>
<i>Figure 5.2: Elicitation</i>	<i>98</i>
<i>Figure 5.3: Post-élicitation</i>	<i>99</i>
<i>Figure 5.4: Dynamique de conversion des connaissances dans l'élicitation des exigences.....</i>	<i>100</i>
<i>Figure 5.5: La « Trust Foundation » (alliant compétence, intégrité et bienveillance) en tant qu'élément central autour duquel s'articule l'ensemble du cycle de recueil des exigences.....</i>	<i>102</i>
<i>Figure 5.6: Cadre conceptuel : le modèle SECI (Socialisation, Externalisation, Combinaison et Intériorisation) axé sur la confiance dans le processus d'élicitation des exigences (REP).....</i>	<i>103</i>

Liste des Tableaux

Tableau 2-1: Modèles d'élicitation des exigences.....	51
Tableau 3-1: Dimensions fondamentales de la confiance et leur manifestation dans les contextes d'ingénierie des exigences.....	57
Tableau 3-2: Les configurations de confiance organisationnelle et leurs implications spécifiques pour l'ingénierie des exigences.....	60
Tableau 3-3: La confiance dans REP: défis, dimensions et stratégies par phase. Source : adapté de Mayer et al. (1995) [28] ; Wang & Clegg (2002) [35] ; Burnay & Snoeck (2017) [34].	63
Tableau 3-4: Déterminants de la confiance dans le processus d'élicitation des exigences.....	66
Tableau 3-5 : Typologie des ruptures de confiance dans le REP : manifestations, conséquences	68
Tableau 3-6 Méthodologies de mesure de la confiance dans les contextes professionnels : forces et limite	72
Tableau 3-7 : Tableau synthétisé d'après Cho et al. (2015)	77
Tableau 3-8: Tableau synthétisé d'après Cho et al. (2015).	78
Tableau 3-9: Principales familles de formalisation, auteurs de référence et domaines d'application.....	79
Tableau 5-1: Patrons de collaboration et leur rôle dans REP.....	95
Tableau 5-2: Alignement des points de mesure sur les phases SECI-Trust.....	105
Tableau 5-3: Paramètres de l'échantillon empirique, étude longitudinale SECI-Trust.	105
Tableau 5-4: Opérationnalisation des facteurs d'après Mayer et al. (1995) pour le trust et Sommerville (2016) pour la qualité des exigences. Charges factorielles confirmées par CFA sur l'échantillon de 500 parties prenantes.	107
Tableau 5-5: Critères de validité selon Hair et al. (2019), Hu & Bentler (1999) et Fornell & Larcker (1981). Résultats obtenus sur l'échantillon longitudinal de 500 parties prenantes	108
Tableau 5-6: Stratégies de contrôle des biais adaptées de Podsakoff et al. (2003) et Shadish et al. (2002). Design de collect développé spécifiquement pour l'étude longitudinale SECI-Trust.....	109
Tableau 5-7: Comparaison méthodologique synthétisée.....	109
Tableau 5-8: Indices opérationnalisés, Seuils empiriquement validés sur l'étude de cas MESRS.....	111
Tableau 5-9: Cadre diagnostique CV adapté du framework SECI-Trust.	111
Tableau 5-10: Classification adaptée du framework SECI-Trust.	112
Tableau 5-11: Synthèse des techniques de validation statistique framework SECI-Trust	114
Tableau 5-12: Indices d'ajustement calculés d'après le framework SECI-Trust, Seuils conventionnels selon Hu & Bentler (1999) et Kline (2016).	116
Tableau 5-13: Charges factorielles adoptées de l'échelle de trust validée de Mayer et al. (1995) $\lambda_{\text{compétence}} = 0.89$, $\lambda_{\text{bienveillance}} = 0.84$, $\lambda_{\text{intégrité}} = 0.87$	116
Tableau 5-14: Coefficients de chemin calculés d'après le framework SECI-Trust. Variance expliquée de $\eta_{\text{Quality}} : R^2 = \beta_1^2 \cdot \text{Var}(\eta_{\text{Trust}}) + \beta_2^2 \cdot \text{Var}(\eta_{\text{SECI}}) + 2 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \text{Cov}(\eta_{\text{Trust}}, \eta_{\text{SECI}})$	117
Tableau 5-15: Synthèse des contributions du cadre SECI-Trust appliqué au contexte MOOC-MESRS.	118
Tableau 5-16: Analyse de variance intra-phase des métriques de trust et de qualité	119
Tableau 5-17: Mécanismes de co-variation trust-qualité identifiés dans l'analyse intra-phase, données issues du Tableau 2 (N = 500, 45 projets).	120
Tableau 5-18: Matrice de corrélation croisée trust-qualité par phase.....	120
Tableau 5-19: Voies causales identifiées d'après la matrice de corrélation inter-dimensionnelle.....	121
Tableau 5-20: Résultats de l'analyse longitudinale de la transformation des parties prenante, étude de cas MESRS, N = 500, 45 projets, 24 mois.....	122
Tableau 5-21: Vue d'Ensemble du Modèle et Ajustement	123
Tableau 5-22: Modèle Structurel : Trois Relations Significatives	124
Tableau 5-23: Positionnement du cadre proposé par rapport aux travaux antérieurs.....	126
Tableau 5-24: Comparaison entre postulats classiques (synthèse d'après [49]) et résultats empiriques (N = 500, 24 projets, 24 mois).....	128
Tableau 5-25: Comparaison des approches de modélisation du trust et des connaissances dans les cadres d'ingénierie des exigences.....	130
Tableau 6-1: Synthèse des cinq dimensions de contribution du cadre SECI-Trust.....	132
Tableau 6-2: Feuille de route computationnelle pour la prochaine génération du cadre SECI-Trust, horizon de recherche 2026–2032.....	134
Tableau 6-3: Tableau de transition paradigmatique RE Traditionnelle → Relationship-Aware Requirements Engineering (RARE), synthèse des apports conceptuels de la thèse.	135

Liste des Acronymes

Acronyme	Expression complète (anglais)	Description (français)
AGFI	Adjusted Goodness-of-Fit Index	Indice ajusté de qualité d'ajustement
AHP	Analytic Hierarchy Process	Processus d'analyse hiérarchique
AI	Artificial Intelligence	Intelligence artificielle
ANOVA	Analysis of Variance	Analyse de la variance
API	Application Programming Interface	Interface de programmation d'applications
AVE	Average Variance Extracted	Variance moyenne extraite
BPMN	Business Process Model and Notation	Modèle et notation des processus métier
CCB	Change Control Board	Comité de contrôle des changements
CFA	Confirmatory Factor Analysis	Analyse factorielle confirmatoire
CFI	Comparative Fit Index	Indice comparatif d'ajustement
CI	Confidence Interval	Intervalle de confiance
CR	Composite Reliability	Fiabilité composite
CV	Coefficient of Variation	Coefficient de variation
DevOps	Development and Operations	Développement et exploitation
DOI	Digital Object Identifier	Identifiant numérique d'objet
DSS	Decision Support System	Système d'aide à la décision
EARS	Easy Approach to Requirements Syntax	Méthode simplifiée de rédaction des exigences
GFI	Goodness-of-Fit Index	Indice de qualité d'ajustement
GORE	Goal-Oriented Requirements Engineering	Ingénierie des exigences orientée objectifs
IE	Ingénierie des Exigences	Abréviation française de Requirements Engineering
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens
IFI	Incremental Fit Index	Indice d'ajustement incrémental
INVEST	Independent, Negotiable, Valuable, Estimable, Small, Testable	Critères de qualité des User Stories
IoT	Internet of Things	Internet des objets
ISO	International Organization for Standardization	Organisation internationale de normalisation
JAD	Joint Application Development	Développement conjoint d'applications
JSON	JavaScript Object Notation	Format d'échange de données
KAOS	Knowledge Acquisition in Automated Specification	Méthode d'acquisition des connaissances pour la spécification
KPI	Key Performance Indicator	Indicateur clé de performance
MESRS	Ministry of Higher Education and Scientific Research	Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
ML	Machine Learning	Apprentissage automatique
ML	Maximum Likelihood	Maximum de vraisemblance (méthode d'estimation SEM)
MOOC	Massive Open Online Course	Cours en ligne ouvert et massif
NLP	Natural Language Processing	Traitement automatique du langage naturel
OMG	Object Management Group	Consortium de normalisation UML
PMI	Project Management Institute	Institut de gestion de projet
PMBOK	Project Management Body of Knowledge	Référentiel de gestion de projet
PREview	Process Requirements Engineering Viewpoint	Méthode PREview d'éllicitation des exigences
QA	Quality Assurance	Assurance qualité
QoI	Quality of Information	Qualité de l'information
QoS	Quality of Service	Qualité de service
QR	Research Question	Question de recherche

Acronyme	Expression complète (anglais)	Description (français)
RARE	Relationship-Aware Requirements Engineering	Ingénierie des exigences orientée relations
RE	Requirements Engineering	Ingénierie des exigences
REP	Requirements Elicitation Process	Processus d'élicitation des exigences
REST	Representational State Transfer	Architecture des services Web
RMSEA	Root Mean Square Error of Approximation	Erreur quadratique moyenne d'approximation
RQI	Requirements Quality Index	Indice de qualité des exigences
RS	Requirements Specification	Spécification des exigences
S.E.C.I.	Socialization – Externalization – Combination – Internalization	Modèle de création et de conversion des connaissances de Nonaka et Takeuchi
SEM	Structural Equation Modeling	Modélisation par équations structurelles
SIPOC	Suppliers – Inputs – Process – Outputs – Customers	Outil de cartographie des processus
SLA	Service Level Agreement	Accord de niveau de service
SQL	Structured Query Language	Langage de requêtes structurées
SRS	Software Requirements Specification	Spécification des exigences logicielles
SRMR	Standardized Root Mean Square Residual	Résidu quadratique moyen standardisé
TQI	Trust Quality Index	Indice de qualité de la confiance
UML	Unified Modeling Language	Langage de modélisation unifié
URL	Uniform Resource Locator	Localisateur uniforme de ressource
UX	User Experience	Expérience utilisateur
VDM	Vienna Development Method	Méthode de développement de Vienne
XML	eXtensible Markup Language	Langage de balisage extensible

Introduction générale

1. CONTEXTE ET MOTIVATION

L'élicitation des exigences représente l'une des phases les plus critiques mais problématiques dans le développement de systèmes logiciels. Malgré des décennies d'avancement méthodologique, le processus d'élicitation des exigences (REP) continue de souffrir de défis fondamentaux qui découlent de sa nature intrinsèquement sociale et collaborative. Le REP fait face à de nombreux risques de qualité pertinents en raison de sa complexité socio-émotionnelle inhérente [1].

Les approches traditionnelles de l'ingénierie des exigences se sont principalement concentrées sur les méthodologies techniques, les outils et les normes de documentation, tout en négligeant largement les facteurs humains qui favorisent une collaboration réussie des parties prenantes. La nature informelle du REP conduit souvent à une multitude de problèmes, tels que des exigences incorrectes, incomplètes et incohérentes [2]. La nature informelle du REP crée un réseau complexe d'interactions socio-émotionnelles où le succès ne dépend pas simplement de l'application de techniques structurées, mais de la qualité des relations entre les analystes et les parties prenantes. Cette réalité centrée sur l'humain introduit de multiples sources d'incertitude et d'erreur que les méthodologies actuelles peinent à traiter systématiquement. Les parties prenantes retiennent souvent des informations critiques en raison d'un manque de confiance dans la compétence de l'analyste des exigences, remettent en question l'engagement de l'analyste envers leurs intérêts, ou doutent de l'intégrité du processus global.

La recherche démontre de manière cohérente que les défauts liés aux exigences représentent 40 à 60% de tous les défauts logiciels, la majorité provenant de la phase d'élicitation [70]. Cependant, les causes profondes de ces défauts s'étendent au-delà des insuffisances techniques pour englober des ruptures fondamentales dans les relations de confiance entre les participants au projet. Lorsque les parties prenantes ne font pas confiance au processus d'ingénierie des exigences ou aux individus qui le conduisent, elles sont moins susceptibles de partager des informations complètes, plus enclines à fournir des exigences trompeuses ou superficielles, et moins engagées dans l'effort collaboratif requis pour un développement système réussi.

Le déficit de confiance dans l'ingénierie des exigences

Les méthodologies actuelles d'ingénierie des exigences traitent la confiance comme une condition préalable supposée plutôt que comme une variable mesurable et gérable. Cette omission crée des lacunes importantes dans notre compréhension de pourquoi certains processus d'élicitation réussissent tandis que d'autres échouent, même en

appliquant des techniques et des outils identiques. L'absence de mesure et de gestion systématiques de la confiance conduit à plusieurs problèmes critiques :

Transfert de connaissances incomplet : Les parties prenantes qui ne font pas confiance à l'analyste des exigences ou au processus sont réticentes à partager les connaissances tacites, conduisant à des spécifications d'exigences incomplètes ou superficielles.

Incohérences de qualité : Les variations de confiance parmi les parties prenantes créent des niveaux inégaux de qualité de collaboration, résultant en des documents d'exigences avec des lacunes et des incohérences significatives.

Échecs de validation : De faibles niveaux de confiance compromettent le processus de validation des exigences, car les parties prenantes peuvent approuver des exigences qu'elles ne comprennent pas pleinement ou en lesquelles elles ne croient pas, conduisant à des conflits et des changements ultérieurs.

Inefficacités du processus : Sans capacités de mesure de la confiance, les chefs de projet ne peuvent pas identifier les problèmes relationnels précocement, conduisant à des interventions retardées et à des risques de projet croissants.

La lacune en gestion des connaissances

L'élicitation des exigences est fondamentalement un processus intensif en connaissances qui implique la transformation des connaissances tacites des parties prenantes en spécifications système explicites. Cependant, les approches actuelles manquent de cadres sophistiqués pour comprendre et gérer ce processus de transformation des connaissances. Le modèle de Socialisation, Externalisation, Combinaison et Internalisation (SECI), développé par Nonaka et Takeuchi, fournit une base théorique robuste pour comprendre la création et le transfert de connaissances, pourtant son application à l'ingénierie des exigences reste limitée et largement théorique.

L'intégration des considérations de confiance avec les principes de gestion des connaissances représente une opportunité significative pour faire progresser la pratique de l'ingénierie des exigences. En comprenant comment la confiance influence chaque phase de transformation des connaissances, les analystes des exigences peuvent développer des stratégies plus efficaces pour l'engagement des parties prenantes et la gestion de la collaboration.

Bien que l'ingénierie des exigences (RE) soit reconnue comme une phase sujette aux erreurs humaines, il existe des relations de confiance verticales (hiérarchiques) et horizontales (de pair à pair) proéminentes et leur impact sur la création de connaissances pendant le REP collaboratif [3].

Comprendre le processus socio-émotionnel associé au REP, qui est basé sur le modèle S.E.C.I., est essentiel pour augmenter la performance de l'équipe et, par conséquent, la qualité des exigences. En effet, nous émettons l'hypothèse que des niveaux de confiance faibles ou élevés dans la structure organisationnelle peuvent respectivement impacter négativement ou positivement la qualité des exigences.

De plus, il existe remarquablement peu de recherches empiriques sur la relation entre la confiance organisationnelle, le climat collaboratif et la qualité des résultats des exigences, laissant les praticiens sans stratégies fondées sur des preuves pour affiner les interactions d'équipe pendant les phases critiques. Les méthodologies REP actuelles peinent à quantifier les relations de confiance, conduisant à des évaluations subjectives qui échouent à prédire efficacement la qualité des exigences. L'absence de rigueur statistique dans la mesure de la confiance crée des lacunes dans le REP et la gestion des relations avec les parties prenantes.

Cette recherche comble ces lacunes en fournissant un cadre mathématiquement solide pour la quantification de la confiance et la prédiction de la qualité.

2. Contributions

Notre recherche se concentre sur le processus d'élicitation des exigences (REP), qui est une activité collaborative entre les parties prenantes et les analystes, dont le succès repose sur la capacité des deux groupes à travailler ensemble, en combinant leurs différents ensembles de connaissances et en tenant compte de la confiance mutuelle. En fait, nous nous concentrons sur trois dimensions importantes : la collaboration, la connaissance et la confiance.

Premièrement, le REP est une activité collaborative, qui peut être conçue et définie en utilisant l'ingénierie collaborative. Le REP sans conversion efficace des connaissances est voué à l'échec. En effet, dans les processus d'internalisation des connaissances, en raison d'une crise de confiance dans la communication des connaissances, les développeurs n'ont pas communiqué efficacement avec les utilisateurs.

Deuxièmement, l'un des facteurs les plus cités affectant le partage des connaissances est la confiance [61]. La confiance est un facteur important pour assurer le climat organisationnel et, par conséquent, le succès du REP.

À notre connaissance, il n'existe aucun travail antérieur qui examine l'influence de la confiance sur le comportement des analystes et des parties prenantes dans les activités REP dans des contextes individuels et collaboratifs en utilisant le modèle S.E.C.I. Il n'existe pas de cadre conceptuel cohérent qui intègre la confiance dans les activités REP. Le but de cette thèse est d'examiner l'impact de la confiance en tant que contrainte pour le processus de collaboration sur la création de connaissances dans le REP en utilisant le modèle de socialisation, externalisation, combinaison et internalisation (S.E.C.I) introduit par

Nonaka et Takeuchi [62]. Cette recherche aborde les lacunes identifiées par le développement et la validation d'un modèle SECI amélioré par la confiance spécifiquement conçu pour les processus d'éllicitation des exigences. L'étude poursuit trois objectifs principaux qui font progresser collectivement la compréhension théorique et l'application pratique de l'ingénierie des exigences basée sur la confiance.

Questions de recherche principales

QR1 : Comment la confiance interpersonnelle influence-t-elle la création et le transfert de connaissances pendant les processus d'éllicitation des exigences ?

Cette question explore les mécanismes par lesquels les relations de confiance affectent la volonté des parties prenantes de partager leurs connaissances, la profondeur et l'exactitude des informations fournies, et l'efficacité globale des activités de développement collaboratif des exigences.

QR2 : Les relations de confiance peuvent-elles être mesurées quantitativement et gérées systématiquement pour améliorer les résultats de qualité des exigences ?

Cette question aborde la faisabilité de développer des cadres mathématiques pour l'évaluation de la confiance et l'utilité pratique des stratégies d'intervention basées sur la confiance dans des projets réels d'ingénierie des exigences.

QR3 : Quelles sont les relations spécifiques confiance-qualité qui opèrent à travers les différentes phases du modèle de création de connaissances SECI dans les contextes d'éllicitation des exigences ?

Cette question examine comment différentes dimensions de la confiance (compétence, bienveillance, intégrité) interagissent avec diverses métriques de qualité (complétude, cohérence, clarté) tout au long du processus de transformation des connaissances.

Formulation des hypothèses

Sur la base d'une revue de littérature approfondie et d'observations préliminaires, cette recherche teste plusieurs hypothèses clés :

H1 : Les niveaux de confiance entre les analystes des exigences et les parties prenantes sont positivement corrélés avec la qualité des spécifications d'exigences, les relations de confiance plus fortes produisant des exigences plus complètes, cohérentes et claires.

H2 : Différentes dimensions de la confiance (compétence, bienveillance, intégrité) démontrent des relations variables avec des dimensions de qualité spécifiques (complétude, cohérence, clarté), créant des modèles prévisibles qui peuvent éclairer des stratégies d'intervention ciblées.

H3 : Le développement de la confiance suit des modèles prévisibles à travers les phases de création de connaissances SECI, avec des configurations de confiance spécifiques optimales pour chaque phase du processus d'élicitation des exigences.

H4 : La mesure et la gestion systématiques de la confiance peuvent améliorer significativement les résultats de qualité des exigences tout en réduisant la variabilité du processus et les conflits entre parties prenantes.

Contributions attendues à l'ingénierie des exigences

Cette recherche vise à apporter plusieurs contributions significatives au domaine de l'ingénierie des exigences :

Contributions théoriques : Développement du premier cadre complet intégrant la théorie de la confiance avec les principes de gestion des connaissances spécifiquement pour l'élicitation des exigences, faisant progresser notre compréhension théorique des facteurs socio-émotionnels dans le développement collaboratif de systèmes.

Contributions méthodologiques : Création d'instruments validés pour mesurer les relations de confiance dans les contextes d'ingénierie des exigences, fournissant aux chercheurs et praticiens des outils fiables pour évaluer la qualité de la collaboration.

Contributions pratiques : Développement de lignes directrices fondées sur des preuves pour l'élicitation des exigences améliorée par la confiance, offrant aux praticiens des approches systématiques pour améliorer la collaboration des parties prenantes et la qualité des exigences.

Contributions empiriques : Fourniture de preuves empiriques rigoureuses démontrant les relations quantitatives entre la confiance et la qualité des exigences, établissant une fondation pour la recherche future dans l'ingénierie des exigences centrée sur l'humain.

3. ORGANISATION DU MANUSCRIT

Le manuscrit de cette thèse est divisé en cinq chapitres, organisés comme suit :

Le premier chapitre établit les bases nécessaires à la compréhension générale de notre travail. Nous y présentons le contexte de recherche, représenté par le processus d'élicitation des exigences (Requirements Elicitation Process - REP) comme domaine d'application, ainsi que les concepts fondamentaux. De plus, nous explorons les fondements théoriques de notre recherche, constitués de trois piliers essentiels : la théorie de la confiance (Trust Theory), le travail collaboratif (Collaborative Work), et la transformation des connaissances (Knowledge Transformation). Ces bases conceptuelles jettent ainsi les fondements pour une meilleure compréhension du problème que nous cherchons à résoudre.

Le deuxième chapitre définit la problématique que nous abordons en examinant

l'état de l'art actuel de la littérature sur l'élicitation des exigences renforcée par la confiance (Trust-Enhanced Requirements Elicitation). Cette analyse critique nous permet d'identifier les lacunes et les limitations des approches existantes dans la littérature, tout en mettant en lumière les exigences essentielles à considérer pour le développement de nouvelles approches visant à améliorer le processus d'élicitation des exigences dans un contexte collaboratif.

Le troisième chapitre introduit notre contribution principale, qui réside dans une nouvelle approche de transformation collaborative des connaissances basée sur la confiance (Collaborative Knowledge Transformation based on Trust approach). Nous présentons à la fois le processus REP basé sur le modèle S.E.C.I (Socialisation, Externalisation, Combinaison, Internalisation) et notre modèle S.E.C.I amélioré par la confiance (Trust-Enhanced S.E.C.I model). Notre approche s'inspire des théories de gestion des connaissances et intègre la dimension de confiance comme facteur clé d'amélioration du processus collaboratif d'élicitation des exigences.

Le quatrième chapitre détaille notre cadre conceptuel et présente notre méthodologie complète de calcul de la confiance. Nous développons une évaluation multicritère combinant l'analyse de la variance avec l'évaluation des implications sur la qualité du processus d'élicitation des exigences. Notre objectif principal est de mesurer de manière rigoureuse l'impact de la confiance sur les différentes phases du modèle S.E.C.I, tout en tenant compte des compromis nécessaires entre un ensemble d'objectifs parfois contradictoires dans un environnement collaboratif.

Le cinquième chapitre valide notre approche à travers une étude de cas extensive avec une analyse complète de la variance à travers toutes les phases du modèle S.E.C.I (Socialisation, Externalisation, Combinaison, Internalisation). Cette validation empirique démontre les implications pratiques de notre approche pour l'élicitation des exigences dans le contexte des MOOC (Massive Open Online Courses), en mettant en évidence les améliorations significatives apportées par l'intégration de la dimension de confiance dans le processus collaboratif.

Nous concluons ce manuscrit par une synthèse générale récapitulant l'ensemble des contributions présentées tout au long de cette thèse. De plus, nous jetons un regard vers l'avenir en évoquant des pistes de recherche futures prometteuses, notamment l'extension de notre approche à d'autres domaines d'application et l'intégration de nouvelles dimensions de la confiance dans les environnements collaboratifs distribués.

1. Ingénierie des Exigences- Fondements, processus et défis contemporains

SOMMAIRE

1.1	INTRODUCTION	6
1.2	L'EMERGENCE D'UNE DISCIPLINE A PART ENTIERE	6
1.3	DEFINITIONS ET CONCEPTS FONDAMENTAUX	6
1.3.1	Qu'est-ce qu'une exigence ?	
1.3.2	Classification des exigences	
1.3.3	Niveaux d'abstraction des exigences	
1.4	INGENIERIE DES EXIGENCES	7
1.5	PROCESSUS D'INGENIERIE DES EXIGENCES	9
1.5.1	Elicitation des exigences	9
1.5.2	Analyse et négociation des exigences	11
1.5.3	Spécification des exigences	11
1.5.4	Validation des exigences	12
1.6	APPROCHES ET PARADIGMES DE MODELISATION	21
1.7	DEFIS CONTEMPORAINS ET PERSPECTIVES	21
1.7.1	Systèmes socio-techniques complexes	21
1.7.2	Évolution continue et DevOps.....	21
1.7.3	Intelligence artificielle et machine learning.....	21
1.7.4	Sécurité et confidentialité by design	21
1.7.5	Globalisation et distribution	21
1.8	CONCLUSION	22

1.1 INTRODUCTION

Dans l'ère actuelle de développement des systèmes accéléré et de transformation numérique, l'ingénierie des exigences constitue le fondement indispensable de tout projet informatique réussi. Face à la complexité croissante des systèmes et à l'évolution constante des besoins métier, les approches traditionnelles de spécification se sont révélées insuffisantes en termes de précision et d'adaptabilité. Ainsi, une nouvelle vision de l'ingénierie des exigences a émergé, caractérisée par des méthodologies systématiques et itératives, qui se positionnent comme une réponse stratégique pour garantir l'alignement entre les attentes des parties prenantes et les solutions technologiques développées.

L'ingénierie des exigences (Requirements Engineering - RE) est une discipline fondamentale du développement des systèmes qui consiste à identifier, documenter, analyser, valider et gérer les besoins des parties prenantes d'un système. Selon Sommerville (2016) dans *Software Engineering* (10th edition), l'ingénierie des exigences constitue la phase critique où les erreurs coûtent le moins cher à corriger, mais où les défauts ont les conséquences les plus graves sur le projet final.

Pohl et Rupp (2011) dans *Requirements Engineering Fundamentals* définissent l'ingénierie des exigences comme "un processus systématique de développement des exigences à travers un processus itératif et coopératif d'analyse du problème, de documentation des observations résultantes dans divers formats de représentation, et de vérification de la compréhension du problème."

Dans ce chapitre, nous allons explorer les concepts fondamentaux de l'ingénierie des exigences, ainsi que les diverses approches méthodologiques qui se sont développées au fil du temps. Cependant, notre attention se portera tout particulièrement sur les processus d'élicitation et de spécification des exigences, deux piliers essentiels ayant révolutionné la manière dont les besoins utilisateurs sont capturés et formalisés. Nous aborderons l'évolution historique de cette discipline, ses principes directeurs, ses techniques de modélisation, les types d'exigences qu'elle traite, ainsi que les standards internationaux qui ont contribué à sa professionnalisation. Enfin, nous examinerons les nombreux bénéfices qu'apporte une ingénierie des exigences rigoureuse, tout en mettant en lumière les défis persistants dans un contexte de développement agile et de systèmes de plus en plus complexes.

1.2 L'EMERGENCE D'UNE DISCIPLINE A PART ENTIERE

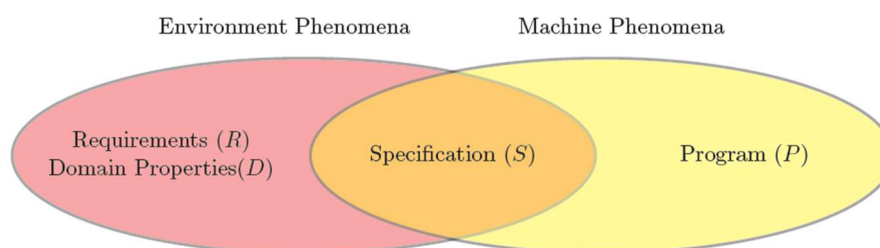


Figure 1.1 specification phenomena (hal-01758502)

Durant les années 1970 et 1980, l'ingénierie des exigences s'est progressivement constituée en tant que discipline autonome au sein du génie logiciel. Les travaux de Bell et Thayer (1976) ont proposé les premiers cadres méthodologiques pour la spécification logicielle, tandis que Davis (1982) a établi les principes fondamentaux d'une bonne pratique en matière de définition des exigences.

La standardisation a également joué un rôle crucial dans cette maturation disciplinaire. L'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) a publié en 1984 son premier guide pour les spécifications d'exigences logicielles, qui sera révisé et affiné jusqu'à devenir le standard IEEE 830-1998, une référence mondiale pendant près de deux décennies (IEEE, 1998).

À partir des années 1990, l'ingénierie des exigences a dû s'adapter à deux évolutions majeures. D'une part, la complexité croissante des systèmes, notamment avec l'émergence des systèmes distribués, des architectures orientées services et plus récemment des systèmes cyber-physiques, a nécessité le développement de nouvelles techniques de modélisation et d'analyse. Les travaux de Van Lamsweerde (2001) sur l'approche orientée buts (Goal-Oriented Requirements Engineering) ont marqué une avancée significative en proposant des méthodes pour décomposer systématiquement des objectifs stratégiques de haut niveau en exigences opérationnelles vérifiables.

1.3 DEFINITIONS ET CONCEPTS FONDAMENTAUX

1.3.1 Qu'est-ce qu'une exigence ?

Avant d'aborder l'ingénierie des exigences en tant que processus, il est essentiel de définir précisément ce qu'est une exigence. Selon l'IEEE (1990), une exigence est :

1. Une condition ou capacité nécessaire à un utilisateur pour résoudre un problème ou atteindre un objectif.
2. Une condition ou capacité qui doit être satisfaite ou possédée par un système ou un composant système pour satisfaire un contrat, une norme, une spécification ou tout autre document formellement imposé.
3. Une représentation documentée d'une condition ou capacité telle que définie en (1) ou (2).

Cette définition triple met en évidence la nature multidimensionnelle des exigences : elles représentent à la fois des besoins utilisateurs, des contraintes contractuelles ou réglementaires, et des artefacts documentaires servant de référence tout au long du projet.

Sommerville (2016) propose une distinction importante entre besoins (needs) et exigences (requirements). Les besoins représentent les attentes des parties prenantes exprimées dans leur propre langage, souvent imprécis et parfois contradictoires. Les exigences, quant à elles, sont des énoncés formels, précis et vérifiables dérivés de ces besoins après un processus d'analyse, de négociation et de raffinement.

1.3.2 Classification des exigences

a) Exigences fonctionnelles vs. non fonctionnelles

La distinction la plus fondamentale en ingénierie des exigences oppose les exigences fonctionnelles aux exigences non fonctionnelles.

Les exigences fonctionnelles décrivent ce que le système doit faire. Elles spécifient les services, les fonctions et les comportements que le système doit fournir en réponse à des entrées ou des situations particulières. Par exemple "Le système doit permettre à un utilisateur authentifié de réinitialiser son mot de passe en utilisant son adresse email.", "L'application doit calculer et afficher le montant total d'une commande incluant les taxes applicables."

Wieggers et Beatty (2013) soulignent que les exigences fonctionnelles répondent typiquement aux questions "Que fait le système ?" et "Comment réagit-il dans telle situation ?". Elles sont généralement plus faciles à identifier et à exprimer car elles correspondent directement aux attentes explicites des utilisateurs.

Les exigences non fonctionnelles définissent les propriétés et contraintes du système dans son ensemble. Elles ne décrivent pas ce que le système fait, mais comment il le fait et dans quelles conditions. Chung et al. (2000) ont proposé une taxonomie détaillée des exigences non fonctionnelles, regroupées en plusieurs catégories majeures :

Exigences de performance : temps de réponse, débit, latence, utilisation des ressources. Exemple : "Le système doit traiter au moins 10 000 transactions par seconde avec un temps de réponse moyen inférieur à 200 millisecondes."

Exigences de sécurité : confidentialité, intégrité, authentification, autorisation, non-répudiation. Exemple : "Toutes les communications entre le client et le serveur doivent être chiffrées en utilisant TLS 1.3 ou supérieur."

Exigences de fiabilité : disponibilité, tolérance aux pannes, récupération après incident. Exemple : "Le système doit maintenir une disponibilité de 99,95% sur une base mensuelle."

Exigences d'utilisabilité : facilité d'apprentissage, efficacité d'utilisation, mémorisation, prévention des erreurs. Exemple : "Un nouvel utilisateur doit pouvoir effectuer sa première commande en moins de 5 minutes sans assistance."

Exigences de maintenabilité : modularité, réutilisabilité, analysabilité, modifiabilité, testabilité. Exemple : "Le code source doit respecter les conventions de codage définies et maintenir une couverture de tests unitaires d'au moins 80%."

Exigences de portabilité : adaptabilité, installabilité, conformité aux standards. Exemple : "L'application doit fonctionner sur les navigateurs Chrome, Firefox, Safari et Edge dans leurs trois dernières versions majeures."

Robertson et Robertson (2012) insistent sur le fait que les exigences non fonctionnelles sont souvent négligées ou sous-estimées dans les phases initiales d'un projet, alors qu'elles déterminent largement la qualité perçue du système final et peuvent avoir un impact architectural majeur.

b) Niveaux d'abstraction des exigences

Les exigences peuvent également être classées selon leur niveau d'abstraction ou de détail :

Exigences métier : Elles expriment les objectifs stratégiques de haut niveau de l'organisation. Par exemple : "Augmenter la satisfaction client de 20% d'ici la fin de l'année" ou "Réduire les coûts opérationnels de traitement des commandes."

Exigences utilisateur : Elles décrivent ce que les utilisateurs doivent pouvoir accomplir avec le système, généralement exprimées dans un langage naturel accessible aux parties prenantes non techniques. Par exemple : "En tant que client, je veux pouvoir suivre l'état de ma commande en temps réel."

Exigences système : Elles spécifient de manière détaillée et technique les fonctionnalités et contraintes du système, servant de base pour la conception et l'implémentation. Par exemple : "Le module de suivi de commande doit interroger la base de données des expéditions toutes les 30 secondes et mettre à jour l'interface utilisateur via WebSocket." Dans la section suivante, nous explorerons plus de détails les différentes facettes du paradigme du Cloud Computing, en examinons ses types de services, ses caractéristiques distinctives, ses avantages et les enjeux de recherche qui subsistent ce modèle révolutionnaire.

1.4 INGENIERIE DES EXIGENCES

L'ingénierie des exigences (Re) est définie par Sommerville (2016) comme "le processus d'établissement des services qu'un système doit fournir et des contraintes sous lesquelles il doit opérer et être développé." Cette définition met l'accent sur deux aspects : l'identification des capacités fonctionnelles et la reconnaissance des limitations contextuelles.

Pohl et Rupp (2011) proposent une définition plus complète : "L'ingénierie des exigences est un processus systématique de développement des exigences à travers un processus itératif et coopératif d'analyse du problème, de documentation des observations résultantes dans divers formats de représentation, et de vérification de la compréhension du problème acquise." Cette définition souligne quatre caractéristiques essentielles :

Systématique : L'ingénierie des exigences n'est pas une activité ad hoc mais suit des méthodes, techniques et processus établis.

Itérative : La compréhension des exigences se raffine progressivement à travers des cycles répétés d'élicitation, d'analyse et de validation.

Coopérative : Elle implique nécessairement la collaboration entre

multiples parties prenantes aux perspectives et intérêts parfois divergents.

Multi-représentationnelle : Les exigences sont capturées et communiquées sous diverses formes (texte, modèles, prototypes) adaptées aux différents publics.

L'objectif ultime de l'ingénierie des exigences est double : d'une part, s'assurer que le système développé répond véritablement aux besoins des parties prenantes (validation : "construisons-nous le bon produit ?") ; d'autre part, fournir une base solide et non ambiguë pour la conception, l'implémentation et les tests (vérification : "construisons-nous correctement le produit ?").

L'ingénierie des exigences ne constitue pas simplement une phase préliminaire du développement logiciel, mais bien le fondement épistémologique sur lequel repose la qualité, la pertinence et le succès des systèmes informatiques. Elle incarne la capacité d'une organisation à comprendre profondément les problèmes qu'elle cherche à résoudre avant de s'engager dans des solutions technologiques coûteuses. Dans un contexte de transformation numérique accélérée où les échecs de projets informatiques demeurent statistiquement préoccupants, maîtriser l'ingénierie des exigences représente non pas un luxe méthodologique mais une nécessité stratégique pour toute organisation souhaitant exploiter pleinement le potentiel des technologies de l'information.

1.5 LE PROCESSUS D'INGENIERIE DES EXIGENCES

L'ingénierie des exigences n'est pas une activité ponctuelle mais un processus continu structuré en plusieurs phases interconnectées. Bien que différents auteurs proposent des décompositions légèrement différentes, il existe un consensus général sur les activités principales qui constituent ce processus.

1.5.1 Elicitation des Exigences

L'élicitation des exigences est un processus collaboratif et créatif visant à identifier et documenter les besoins des parties prenantes, confronté à cinq défis majeurs : la difficulté à définir les limites du système (portée), l'incapacité des utilisateurs à exprimer clairement leurs besoins pour des systèmes innovants (compréhension), l'évolution constante des exigences (volatilité), le savoir-faire implicite difficile à verbaliser (connaissances tacites), et la tendance à négliger les cas exceptionnels (biais cognitifs). Pour surmonter ces obstacles, sept techniques principales ont été développées et validées scientifiquement : les entretiens sous trois formes (structurés, semi-structurés, ouverts), les ateliers collaboratifs JAD pour construire rapidement un consensus, l'observation ethnographique révélant les pratiques informelles, l'analyse documentaire des procédures existantes, le prototypage réduisant les malentendus, les cas d'utilisation structurant les scénarios d'interaction, et les user stories centrées sur la valeur métier, chaque technique étant adaptée à des contextes spécifiques et leur combinaison optimisant la qualité globale de l'élicitation..

1.5.2 Analyse et négociation des exigences

L'analyse et la négociation des exigences constituent un processus complexe et multidimensionnel qui transcende la simple collecte d'informations pour devenir une activité intrinsèquement sociale et politique, comme l'ont démontré Easterbrook et al. (1994). Cette phase critique nécessite d'abord la détection et la résolution des conflits, qui selon la taxonomie de Robinson et Volkov (1998), se manifestent sous quatre formes distinctes : les conflits directs entre exigences mutuellement exclusives, les conflits indirects où une exigence complique la réalisation d'une autre, les conflits terminologiques résultant de l'utilisation de termes identiques pour des concepts différents, et les conflits de niveau d'abstraction révélés lors du raffinement progressif des spécifications. Pour résoudre ces tensions, Boehm et al. (1995) ont développé le modèle WinWin, fondé sur la théorie des jeux coopératifs, qui structure la négociation en trois phases itératives visant à identifier des solutions mutuellement bénéfiques plutôt que des compromis sous-optimaux. Parallèlement, Sommerville et Sawyer (1997) soulignent l'impératif d'une analyse de faisabilité rigoureuse évaluant chaque exigence selon quatre dimensions interdépendantes : la faisabilité technique (capacité d'implémentation avec les technologies et compétences disponibles), économique (rapport coût-bénéfice), temporelle (respect des délais compte tenu des dépendances), et opérationnelle (intégration dans les processus organisationnels et acceptation utilisateur). Enfin, la priorisation des exigences mobilise plusieurs méthodes complémentaires dont la technique MoSCoW (Clegg et Barker, 1994) qui catégorise les exigences en Must/Should/Could/Won't have, le modèle de Kano et al. (1984) distinguant les exigences basiques, de performance et enthousiasmantes selon leur impact sur la satisfaction client, et l'approche bidimensionnelle valeur-risque développée par Wiegers (1999) et formalisée par Karlsson et Ryan (1997) via l'Analytical Hierarchy Process, permettant d'optimiser l'allocation des ressources limitées en identifiant les exigences offrant le meilleur retour sur investissement tout en minimisant les risques d'échec.

1.5.3 Spécification des exigences

La spécification des exigences constitue l'activité centrale de documentation formelle transformant les besoins élicités en un référentiel structuré servant de base contractuelle entre parties prenantes, dont la qualité repose sur huit critères essentiels définis par le standard IEEE 830-1998 (IEEE, 1998). Une spécification doit d'abord être **correcte**, représentant fidèlement les besoins réels sans omission ni ajout superflu, propriété critique mais difficile à vérifier selon Davis (1993) car nécessitant une validation continue avec les parties prenantes. La **non-ambiguïté** garantit qu'une seule interprétation est possible, Berry et al. (2003) ayant démontré que l'ambiguïté constitue la source principale de défauts, provenant de termes vagues ("rapide", "convivial"), de structures grammaticales complexes, et de références pronominales imprécises que Wilson et al. (1997) recommandent de mitiger par des glossaires exhaustifs. La **complétude** exige la couverture de tous les aspects pertinents incluant situations exceptionnelles et cas d'erreur aux trois niveaux identifiés par Zowghi et Gervasi (2003) : individuel, structurel et sémantique, bien qu'elle demeure un idéal théorique rarement atteint. La **cohérence** requiert l'absence de contradictions, Van Lamsweerde et al. (1998) distinguant les conflits terminologiques, de désignation, structurels et comportementaux détectables par vérification formelle (Heitmeyer et al., 1996). La

****vérifiabilité**** constitue un prérequis à l'assurance qualité selon Glinz (2000), transformant les exigences subjectives comme "le système doit être facile à utiliser" en critères quantifiables tels que "90% des utilisateurs novices doivent effectuer l'opération X en moins de 5 minutes après 30 minutes de formation" (Firesmith, 2003). La ****modifiabilité**** facilite les évolutions inévitables par une structure modulaire évitant les redondances, propriété critique pour la maintenabilité à long terme (Nuseibeh et Easterbrook, 2000). La ****traçabilité**** permet d'identifier l'origine et les dépendances de chaque exigence, Gotel et Finkelstein (1994) distinguant la traçabilité pré-RS (vers les sources) et post-RS (vers conception, code et tests), dont Ramesh et Jarke (2001) ont démontré qu'elle réduit les coûts de maintenance malgré l'investissement initial substantiel. Enfin, le ****classement par importance**** établit une priorisation multidimensionnelle (criticité, stabilité, urgence) guidant l'allocation des ressources selon des méthodes systématiques comme l'Analytical Hierarchy Process de Karlsson et Ryan (1997). Van Lamsweerde (2009) distingue trois niveaux de formalisation offrant des compromis différents entre accessibilité et rigueur : le ****langage naturel****, utilisé dans 80% des spécifications industrielles selon Kamsties et al. (2001) malgré ses ambiguïtés inhérentes identifiées en 26 types par Berry et al. (2003) ; les ****langages semi-formels**** comme UML (Rumbaugh et al., 2004) et les diagrammes de flux de données (DeMarco, 1979) qui réduisent significativement l'ambiguïté par leur syntaxe visuelle standardisée tout en restant compréhensibles selon Harel et Rumpe (2004) ; et les ****langages formels**** basés sur la logique temporelle (Pnueli, 1977), les machines à états (Harel, 1987), ou les méthodes formelles Z et VDM (Spivey, 1992) qui garantissent une précision maximale et une vérification automatisée mais requièrent une expertise mathématique substantielle limitant leur adoption aux domaines critiques (Wing, 1990 ; Bowen et Hinchey, 1995). Face à ces limitations, des approches hybrides comme le patron ****EARS (Easy Approach to Requirements Syntax)**** développé par Rupp (2009) proposent une syntaxe structurée en cinq catégories de phrases (ubiquitaires, événementielles, conditionnelles, indésirables, optionnelles) qui, selon la validation empirique de Mavin et al. (2009), réduit de 36% les défauts d'ambiguïté tout en préservant l'accessibilité, illustrant la tendance contemporaine vers des spécifications "assez formelles" adaptées aux contraintes pragmatiques industrielles (Hall et al., 2002).

1.5.4 Validation des exigences

La validation et la gestion des exigences constituent deux piliers essentiels de l'ingénierie logicielle, la validation vérifiant que les bonnes exigences ont été identifiées tandis que la gestion assure leur maintien cohérent tout au long du projet. Sommerville (2011) et Boehm (1984) démontrent l'importance économique critique de la validation précoce, le coût de correction d'un défaut croissant exponentiellement de 1x durant la validation à 10x durant l'implémentation et 100x après déploiement, justifiant l'investissement dans cinq techniques complémentaires : les revues formelles de Fagan (1976) détectant 60-90% des défauts, le prototypage validant les fonctionnalités critiques selon Davis (1992), les scénarios d'utilisation de Jacobson et al. (1992) simulant l'usage réel, l'analyse de traçabilité vérifiant la couverture complète selon Gotel et Finkelstein (1994), et les analyses formelles automatisant la vérification de cohérence selon Clarke et al. (1999). Cheng et Atlee (2007) catégorisent six types de défauts à détecter (exigences

manquantes, superflues, incorrectes, ambiguës, incohérentes, non vérifiables), tandis que Pohl (2010) souligne la nature itérative continue de cette validation. La gestion des exigences répond aux évolutions affectant 25-50% des spécifications selon Nuseibeh et Easterbrook (2000) via un processus formel de contrôle des modifications en cinq phases (soumission, analyse d'impact, évaluation par comité CCB, implémentation, vérification) décrit par Wiegers (2003) et Pressman (2010), et via quatre types de traçabilité complémentaires identifiés par Ramesh et Jarke (2001) : amont (exigences vers sources), aval (exigences vers implémentation), horizontale (relations inter-exigences), et évolutive (historique des modifications), dont le maintien représente 3-15% de l'effort total mais s'avère indispensable pour l'analyse d'impact, la validation de couverture et la justification des décisions, motivant le développement d'outils automatisés exploitant l'intelligence artificielle selon Antoniol et al. (2002) et Cleland-Huang et al. (2007).

1.6 APPROCHES ET PARADIGMES DE MODELISATION

L'ingénierie des exigences s'appuie sur quatre paradigmes de modélisation complémentaires qui structurent la représentation des besoins selon différentes perspectives analytiques :

1. "L'approche orientée buts", illustrée par le framework KAOS de Van Lamsweerde (2001), organise les exigences selon une hiérarchie téléologique où chaque besoin opérationnel est rattaché à des objectifs stratégiques de niveau supérieur, assurant ainsi traçabilité, complétude systématique et résolution structurée des conflits.
2. "Les cas d'utilisation", formalisés par Jacobson et al. (1992) puis Cockburn (2001), adoptent une perspective interactionnelle en décrivant les échanges entre acteurs et système selon une structure normalisée comprenant préconditions, scénario nominal et extensions, facilitant la compréhension par les parties prenantes non techniques.
3. "Dans le contexte agile, les user stories" proposées par Cohn (2004) privilégient une approche minimaliste et itérative, où chaque exigence est exprimée selon le format "En tant que [rôle], je veux [fonctionnalité] afin de [bénéfice]" et respecte le principe INVEST pour garantir son indépendance, sa négociabilité et sa testabilité.
4. "L'approche scenario-based design" de Carroll (1995, 2000), enrichie par les personas de Cooper (1999), ancre les exigences dans des situations d'usage concrètes et humanise la conception en créant des archétypes réalistes d'utilisateurs, améliorant significativement l'empathie des développeurs et l'utilisabilité finale des systèmes.

1.7 DEFIS CONTEMPORAINS ET PERSPECTIVES

1.7.1 Systèmes socio-techniques complexes

Jackson (2001) souligne que les systèmes modernes sont rarement purement techniques mais combinent étroitement logiciel, matériel, processus organisationnels et acteurs humains. Cette complexité rend floues les frontières du "système" et complique l'attribution des responsabilités entre agents humains et automatisés.

1.7.2 Évolution continue et DevOps

La culture DevOps et les cycles de livraison continue remettent en question le modèle traditionnel de spécification exhaustive initiale. Les exigences doivent désormais être capturées de manière incrémentale et évoluer au rythme des releases fréquentes, nécessitant des processus d'ingénierie des exigences plus légers et adaptatifs (Leffingwell, 2011).

1.7.3 Intelligence artificielle et machine learning

L'intelligence artificielle transforme l'ingénierie des exigences selon deux axes complémentaires : d'une part, l'IA comme objet nécessitant de nouvelles approches de spécification (systèmes à IA), et d'autre part, l'IA comme outil augmentant les capacités des ingénieurs des exigences (IA pour l'ingénierie des exigences).

1.7.4 Sécurité et confidentialité by design

Face à la multiplication des cybermenaces et au renforcement des réglementations (RGPD, etc.), l'ingénierie des exigences doit intégrer dès l'origine les préoccupations de sécurité et de protection des données. Haley et al. (2008) ont développé des frameworks pour la modélisation explicite des exigences de sécurité et leur analyse systématique.

1.7.5 Globalisation et distribution

Les équipes de développement sont de plus en plus distribuées géographiquement et culturellement. Cette distribution complique l'élicitation (fuseaux horaires, barrières linguistiques) et la validation des exigences, nécessitant de nouvelles pratiques de collaboration virtuelle et de gestion des connaissances (Damian et Moitra, 2006).

1.8 CONCLUSION

L'ingénierie des exigences s'est affirmée comme une discipline scientifique mature et indispensable au succès des projets de développement logiciel. Ce chapitre a mis en évidence l'évolution remarquable de cette discipline, depuis ses premiers balbutiements méthodologiques dans les années 1970 jusqu'aux approches sophistiquées contemporaines qui répondent aux défis posés par la complexité croissante des systèmes sociotechniques modernes.

L'analyse des fondements théoriques et méthodologiques révèle que l'ingénierie des exigences transcende la simple collecte d'informations pour constituer un processus systématique, itératif et profondément collaboratif. Les travaux pionniers de Bell et Thayer (1976), Davis (1982), et la standardisation progressive initiée par l'IEEE ont établi les bases d'une pratique rigoureuse, tandis que les contributions plus récentes de Van Lamsweerde (2001), Sommerville (2016), et Pohl et Rupp (2011) ont enrichi notre compréhension des dimensions cognitive, sociale et organisationnelle de cette activité critique.

Les quatre phases interconnectées du processus d'ingénierie des exigences – élicitation, analyse et négociation, spécification, validation et gestion – forment un cycle vertueux où chaque activité contribue à la

construction progressive d'une compréhension partagée et précise des besoins.

En définitive, L'ingénierie des exigences s'est imposée comme une discipline scientifique mature dont la maîtrise détermine largement le succès des projets logiciels. Ce chapitre a démontré que les quatre phases du processus (élicitation, analyse, spécification, validation) et les différents paradigmes de modélisation (KAOS, cas d'utilisation, user stories) constituent des outils complémentaires permettant de transformer progressivement les besoins implicites des parties prenantes en spécifications précises et vérifiables. La recherche empirique confirme qu'investir dans une ingénierie des exigences rigoureuse génère des bénéfices économiques substantiels, une exigence mal définie coûtant jusqu'à 100 fois plus cher à corriger après déploiement. Cependant, l'émergence de nouveaux contextes (méthodologies agiles, systèmes d'intelligence artificielle, équipes distribuées globalement) remet en question certaines pratiques traditionnelles et nécessite le développement d'approches innovantes. Parmi les quatre phases du processus d'ingénierie des exigences, l'élicitation constitue indéniablement la phase la plus critique et la plus complexe, car c'est d'elle que dépend la qualité de toute la chaîne qui suit. Le chapitre suivant se consacrera donc exclusivement à explorer en profondeur le processus d'élicitation des exigences, en examinant ses techniques, ses défis spécifiques, et les meilleures pratiques pour capturer efficacement les besoins des parties prenantes dans des contextes variés.

2

2. Processus d'Elicitation des Exigences « REP »

SOMMAIRE

<u>2.1 INTRODUCTION</u>	32
<u>2.2 Définition et Nature de l'Élicitation des Exigences</u>	32
2.3.1 <u>Conceptualisation</u>	32
2.3.2 <u>Caractéristiques Distinctives</u>	33
<u>2.3 Processus d'Élicitation des Exigences</u>	34
2.4.1 <u>Compréhension du Domaine d'Application</u>	34
2.4.2 <u>Identification des Sources d'Exigences</u>	35
2.4.3 <u>Analyse des Parties Prenantes</u>	37
2.4.4 <u>Sélection des Techniques, Approches et Outils</u>	39
2.4.5 <u>Élicitation Effective des Exigences</u>	40
<u>2.4 Modèles de Processus</u>	42
2.5.1 <u>Modèle Unifié de Hickey et Davis (2003-2004)</u>	42
2.5.2 <u>Modèle de Bonnes Pratiques de Sommerville et Sawyer (1997)</u>	43
2.5.3 <u>Modèle Itératif de Sommerville (2000s)</u>	44
2.5.4 <u>Modèle d'Approche Multi-Perspectives - PREview (1998)</u>	45
2.5.5 <u>Modèle de Zowghi et Coulin (2005)</u>	46
2.5.6 <u>Modèle Guidé par les Processus - Process-Led Model (2021)</u>	47
2.5.7 <u>Modèle d'Amélioration des Processus d'Élicitation (2010)</u>	48
2.5.8 <u>Modèle de Sélection de Techniques d'Élicitation (2003)</u>	49
2.5.9 <u>Synthèse comparative des modèles d'élicitation des exigences</u>	50
<u>2.5 Techniques d'élicitation des exigences</u>	51
<u>2.6 Obstacles et Défis Multidimensionnels de l'Élicitation des Exigences</u>	
52	
<u>2.7 Conclusion</u>	53

2.1 Introduction

L'élicitation des exigences constitue la première étape critique du processus d'ingénierie des exigences et représente un fondement essentiel pour le succès des projets de développement des systèmes. Cette phase implique la découverte, l'émergence et l'élaboration des exigences pour les systèmes informatisés. Contrairement à une simple collecte d'informations, l'élicitation des exigences est un processus complexe et multidimensionnel qui nécessite des compétences en communication, une compréhension approfondie du domaine métier et une capacité d'analyse structurée.

L'importance de l'élicitation des exigences dans la réussite des projets informatiques est largement documentée. Les études démontrent qu'une élicitation efficace des exigences figure parmi les pratiques essentielles conduisant au succès des projets. Les défaillances dans cette phase ont des conséquences significatives sur l'ensemble du cycle de développement, avec des coûts de correction exponentiels lorsque les erreurs sont détectées tardivement.

Ce chapitre présente une analyse approfondie du processus d'élicitation des exigences, en explorant ses activités fondamentales, les techniques disponibles, les défis rencontrés et les tendances actuelles dans ce domaine crucial de l'ingénierie des systèmes d'information.

2.2 Définition et Nature de l'Élicitation des Exigences

2.2.1 Conceptualisation

L'élicitation des exigences représente le processus fondamental de recherche, de découverte, d'acquisition et d'élaboration des besoins pour les systèmes informatisés. Le terme "élicitation" est utilisé intentionnellement plutôt que "collecte" ou "capture", car il implique que les exigences ne préexistent pas sous une forme complète et explicite, mais doivent être activement découvertes, extraites et parfois même inventées à travers l'interaction avec les parties prenantes.

Cette activité est souvent décrite comme un processus de "trawling for requirements" (chalutage des exigences), une métaphore qui illustre parfaitement sa nature exploratoire : tout comme un chalutier qui ramène souvent plus de poissons que prévu, l'élicitation révèle généralement davantage d'exigences qu'initialement anticipé. Cette métaphore souligne qu'il est préférable de commencer avec quelques exigences superflues plutôt que d'en avoir trop peu, car la priorisation et la négociation permettront ensuite de raffiner cet ensemble initial.

Plus récemment, les concepts d'invention et de création d'exigences ont enrichi notre compréhension du processus. Ces termes mettent en évidence le rôle crucial de la créativité et de l'innovation dans l'élicitation : les exigences ne sont pas simplement "là" en attendant d'être découvertes, mais émergent souvent de l'interaction dynamique entre l'analyste et les parties prenantes, de la réflexion collective sur les problèmes à résoudre, et de l'exploration des solutions possibles. Cette évolution conceptuelle reconnaît que l'élicitation est un processus constructif où les exigences prennent forme progressivement à travers le dialogue, l'expérimentation et la réflexion collaborative.

En essence, l'élicitation des exigences peut être définie comme le processus

systématique d'apprentissage et de compréhension des besoins des utilisateurs, clients et autres parties prenantes, dans le but ultime de communiquer ces besoins aux développeurs du système de manière claire, complète et non ambiguë. Cette définition englobe à la fois les aspects de découverte (identifier ce qui existe déjà dans l'esprit des parties prenantes), d'extraction (faire ressortir les connaissances tacites), et de création (développer de nouvelles idées collaborativement).

2.2.2 Caractéristiques Distinctives

L'élicitation des exigences se distingue par plusieurs caractéristiques fondamentales qui la rendent à la fois critique et complexe :

Nature communicative intensive : L'élicitation est avant tout un processus de communication intensive impliquant de multiples acteurs. Cette caractéristique prend une dimension encore plus critique lorsqu'on considère le "fossé culturel" (culture gap) existant entre différentes communautés. Les parties prenantes métier et les développeurs techniques utilisent des vocabulaires différents, ont des cadres de référence distincts, et conceptualisent les problèmes de manières fondamentalement différentes. Ce fossé sémantique peut conduire à des malentendus profonds si l'élicitation n'est pas conduite avec soin. Par exemple, un terme aussi simple que "rapidité" peut signifier "temps de réponse inférieur à 2 secondes" pour un utilisateur, mais "optimisation algorithmique" pour un développeur. L'ingénieur des exigences doit donc agir comme un traducteur et un médiateur, établissant un langage commun et facilitant un dialogue constructif malgré ces différences.

Multidisciplinarité profonde : Contrairement à ce qu'on pourrait penser, les techniques efficaces d'élicitation ne proviennent pas principalement du génie logiciel ou de l'informatique. Elles sont en réalité dérivées d'un éventail impressionnant de disciplines : les sciences sociales (pour comprendre les comportements humains et les interactions), la théorie organisationnelle (pour saisir les dynamiques de pouvoir et les structures décisionnelles), la dynamique de groupe (pour faciliter les sessions collaboratives), la psychologie cognitive (pour comprendre comment les gens traitent l'information), l'ingénierie des connaissances (pour extraire l'expertise tacite), et l'ethnographie (pour observer les pratiques dans leur contexte naturel). Cette nature multidisciplinaire explique pourquoi l'élicitation est souvent considérée plus comme un art nécessitant des compétences sociales développées que comme une science technique pure. Elle requiert de l'ingénieur des exigences une ouverture intellectuelle et une capacité à mobiliser des approches variées selon le contexte.

Itérativité et continuité : L'élicitation n'est pas une phase ponctuelle qui se termine une fois pour toutes au début d'un projet. C'est un processus continu, itératif et incrémental qui se déroule tout au long du cycle de vie du développement logiciel. Cette continuité s'explique par plusieurs facteurs : les parties prenantes affinent leur compréhension de leurs besoins au fur et à mesure qu'elles voient des prototypes ou des versions du système ; l'environnement métier évolue, créant de nouveaux besoins ; et la compréhension collective du problème et des solutions possibles s'approfondit avec le temps. Chaque itération d'élicitation construit sur les connaissances acquises lors des itérations précédentes, raffinant et enrichissant progressivement l'ensemble des exigences. Cette caractéristique implique que

l'élicitation doit être planifiée et gérée comme un processus évolutif, avec des mécanismes pour capturer et intégrer les changements de manière contrôlée.

Dimension tacite importante : Une part substantielle des connaissances nécessaires pour définir les exigences est tacite - elle existe dans l'esprit des experts du domaine mais n'est pas facilement articulable. Les utilisateurs exécutent certaines tâches de manière automatique, sans même être conscients de tous les détails, ce qui rend difficile pour eux d'expliquer complètement ce qu'ils font. De même, ils peuvent avoir des attentes implicites sur le fonctionnement du système qu'ils ne pensent pas à mentionner parce qu'elles leur semblent évidentes. L'élicitation doit donc utiliser des techniques spécifiques (observation, apprentissage, analyse de protocole) pour révéler ces connaissances cachées.

Caractère exploratoire et émergent : Les exigences ne sont pas toujours clairement définies au départ. Elles émergent progressivement à travers le processus d'élicitation lui-même. Cette émergence se produit lorsque les parties prenantes explorent les possibilités offertes par la technologie, découvrent des contradictions dans leurs propres attentes, ou réalisent de nouveaux besoins en discutant avec d'autres parties prenantes. L'élicitation doit donc ménager de l'espace pour cette exploration créative tout en maintenant suffisamment de structure pour progresser efficacement vers des exigences concrètes et actionnables.

2.3 Processus d'Elicitation des Exigences

Le processus d'élicitation des exigences constitue un ensemble complexe et structuré d'activités interdépendantes qui, lorsqu'elles sont correctement exécutées, permettent de construire une compréhension complète et partagée des besoins du système à développer. Ce processus ne suit pas nécessairement une séquence linéaire rigide, mais s'articule plutôt comme un réseau d'activités qui s'informent et se renforcent mutuellement dans une dynamique itérative et évolutive. Le processus d'élicitation peut être décomposé en cinq activités fondamentales interconnectées, chacune jouant un rôle crucial dans la construction progressive de la connaissance des exigences :

2.3.1 Compréhension du Domaine d'Application

La compréhension du domaine d'application représente le socle fondamental sur lequel repose toute l'élicitation des exigences. Il est absolument essentiel d'investiguer et d'examiner en détail la situation réelle, le "monde vécu" dans lequel le système futur résidera et opérera. Cette compréhension va bien au-delà d'une simple description technique ; elle nécessite une immersion profonde dans le contexte organisationnel, métier et humain du futur système.

L'exploration de l'environnement actuel constitue la première dimension de cette compréhension. Cette exploration doit être holistique et multidimensionnelle :

Aspects politiques : Il s'agit de comprendre les jeux de pouvoir, les dynamiques décisionnelles, et les influences hiérarchiques qui façonnent l'organisation. Par exemple, dans une entreprise, certains départements peuvent avoir plus d'influence que d'autres dans les décisions stratégiques, ce qui peut affecter la priorisation des exigences. Les relations entre directions, les alliances

informelles, et les tensions éventuelles doivent être cartographiées car elles influenceront directement l'adoption et le succès du système.

Aspects organisationnels : Cette dimension examine la structure formelle de l'organisation (organigramme, lignes de reporting, distribution des responsabilités), mais aussi sa structure informelle (réseaux de communication réels, communautés de pratique, flux d'information effectifs). Il faut comprendre comment les décisions sont prises, comment l'information circule, quels sont les processus de validation, et comment les différentes unités collaborent ou entrent en compétition. Par exemple, un système de gestion documentaire devra s'adapter aux workflows réels de validation, qui peuvent différer significativement des procédures officielles.

Aspects sociaux : Cette dimension s'intéresse aux relations humaines, à la culture d'entreprise, aux valeurs partagées, aux modes de collaboration habituels, et aux résistances potentielles au changement. Comprendre si l'organisation valorise l'innovation ou la stabilité, si elle favorise la collaboration ou la compétition individuelle, si elle est ouverte au risque ou plutôt conservatrice, permet d'anticiper comment le nouveau système sera reçu et adopté. Les aspects sociaux incluent aussi la compréhension des compétences disponibles, du niveau de maturité technologique des utilisateurs, et de leur appétence pour les nouvelles solutions.

L'identification des contraintes imposées au système représente un autre élément critique de la compréhension du domaine. Ces contraintes peuvent être de natures très diverses : techniques (infrastructure existante, standards imposés, systèmes hérités), budgétaires (enveloppe financière, modèle de financement), temporelles (échéances métier, conformité réglementaire), et humaines (disponibilité des experts, capacité d'absorption du changement). Ces limitations définissent l'espace des solutions possibles et doivent être clairement cartographiées dès l'élicitation.

La description des processus de travail existants va bien au-delà d'une simple documentation procédurale. Elle nécessite de capturer simultanément les processus formels (décrits dans les manuels) et les processus réels (pratiques effectives sur le terrain), qui divergent souvent significativement. Cette analyse doit révéler les contournements, les exceptions fréquentes, les points de friction (goulots d'étranglement, redondances, sources d'erreurs), et les dépendances entre acteurs. L'observation concrète est essentielle : elle révèle comment les utilisateurs expérimentés optimisent leurs tâches, parallélisent certaines étapes, ou utilisent des canaux informels pour gérer les urgences.

L'analyse téléologique établit le "pourquoi" du système en reliant problèmes, objectifs métier et bénéfices attendus. Elle identifie les motivations du projet (problèmes à résoudre, opportunités à saisir), définit les objectifs stratégiques (satisfaction client, réduction des coûts, conformité), établit des indicateurs de performance (KPI) mesurables, et quantifie les bénéfices justifiant l'investissement. Cette traçabilité bidirectionnelle entre problèmes-objectifs-exigences devient cruciale pour la priorisation ultérieure et l'évaluation du retour sur investissement du système.

2.3.2 Identification des Sources d'Exigences

Les exigences d'un système ne proviennent jamais d'une source unique et

monolithique. Elles sont au contraire dispersées et fragmentées entre de nombreuses sources hétérogènes, existant sous des formats variés et à différents niveaux de formalisation. Une identification exhaustive et systématique de ces sources est absolument critique pour éviter des omissions qui se révéleraient coûteuses ultérieurement.

Les parties prenantes humaines constituent la source d'exigences la plus évidente et souvent la plus riche, mais aussi la plus complexe à gérer en raison de leur diversité :

- Les utilisateurs finaux directs : ce sont les personnes qui utiliseront quotidiennement le système. Ils possèdent une connaissance intime des tâches à accomplir, des difficultés pratiques, des besoins opérationnels concrets. Cependant, ils peuvent avoir une vision limitée aux aspects qui les concernent directement et manquer de perspective sur les besoins globaux de l'organisation. Par exemple, un caissier dans un système de point de vente comprend parfaitement les besoins d'ergonomie et de rapidité de son interface, mais peut ne pas percevoir les besoins de reporting de la direction.

- Les experts du domaine métier : ce sont des personnes ayant une expertise approfondie dans le domaine d'application du système, sans nécessairement l'utiliser directement. Ils peuvent fournir des exigences sur les règles métier, les standards de l'industrie, les bonnes pratiques, les cas limites complexes. Un expert comptable peut ainsi spécifier les règles de calcul fiscal complexes pour un système de gestion financière, même s'il ne sera pas l'utilisateur principal.

- Les sponsors du projet et décideurs : directeurs, managers, chefs de projet qui portent la vision stratégique et définissent les objectifs de haut niveau. Ils fournissent les exigences liées aux bénéfices attendus, aux contraintes budgétaires et temporelles, aux priorités stratégiques. Leur perspective est souvent plus abstraite et orientée résultats que celle des utilisateurs opérationnels.

- Les parties prenantes indirectes : clients des utilisateurs, partenaires commerciaux, organismes de régulation, équipes de support, personnel de maintenance, auditeurs. Bien que ne faisant pas partie de l'organisation ou n'utilisant pas directement le système, ils ont des exigences légitimes qui doivent être considérées. Par exemple, un système de gestion hospitalière doit prendre en compte les besoins des patients (confidentialité, accès à leurs données) même si le système est utilisé par le personnel médical.

Les systèmes existants constituent une source d'exigences souvent sous-exploitée mais essentielle, particulièrement pour les projets de modernisation. Ils révèlent cinq catégories d'informations critiques : les fonctionnalités éprouvées à préserver (besoins avérés, habitudes utilisateurs), les corrections accumulées reflétant l'apprentissage des besoins réels, la structure des données informant sur les entités métier, les interfaces existantes exposant les contraintes d'intégration, et les limitations actuelles définissant ce qu'il faut améliorer. L'analyse des systèmes hérités révèle également des exigences implicites devenues transparentes pour les utilisateurs (comme un rapport quotidien automatique) mais dont l'absence causerait une disruption majeure.

La documentation organisationnelle offre une mine d'informations formalisées complétant les sources humaines. Elle comprend les manuels de procédures (workflows officiels), les formulaires (structure des données

collectées), les rapports métier (besoins d'analyse et de pilotage), les spécifications techniques (architecture et interfaces), les contrats SLA (exigences de performance), les audits de conformité (exigences réglementaires), et la documentation de formation (concepts difficiles à maîtriser). Ces documents tracent une cartographie précise des besoins formels et des contraintes réglementaires.

Les systèmes connexes dans l'écosystème organisationnel définissent les exigences d'intégration et d'interopérabilité. Ils se décomposent en quatre catégories : les systèmes amont (sources de données consommées), les systèmes aval (consommateurs de données produites), les systèmes parallèles (nécessitant cohérence et synchronisation via référentiels partagés), et l'écosystème externe (partenaires, fournisseurs, clients nécessitant des échanges). L'identification exhaustive de ces sources nécessite une approche systématique utilisant l'analyse des parties prenantes, la cartographie de l'écosystème système, et des entretiens exploratoires avec des acteurs ayant une vision d'ensemble de l'organisation.

L'identification exhaustive de ces sources nécessite une approche systématique, souvent facilitée par des techniques comme l'analyse des parties prenantes, la cartographie de l'écosystème système, et les entretiens exploratoires initiaux avec des personnes ayant une vue d'ensemble de l'organisation.

2.3.3 Analyse des Parties Prenantes

L'analyse des parties prenantes (stakeholder analysis) est une activité stratégique qui va bien au-delà d'une simple liste de noms. Elle vise à construire une compréhension fine et nuancée de toutes les personnes qui ont un intérêt légitime dans le système ou qui seront affectées d'une manière ou d'une autre par son développement et sa mise en œuvre. Ces parties prenantes doivent être consultées durant l'élicitation, mais toutes ne le seront pas de la même façon ni avec la même intensité, d'où l'importance d'une analyse approfondie.

L'identification exhaustive des parties prenantes constitue la première étape critique. Cette identification doit ratisser large et considérer :

- Parties prenantes internes primaires : utilisateurs directs, managers directs, sponsors du projet
- Parties prenantes internes secondaires : département IT, équipes de support, services de formation, contrôle de gestion, audit interne, comité de direction
- Parties prenantes externes : clients finaux, fournisseurs, partenaires commerciaux, régulateurs, actionnaires, grand public (pour les systèmes publics)
- Parties prenantes souvent oubliées : personnel de nettoyage (qui peut avoir des exigences d'accessibilité physique aux équipements), personnel temporaire ou saisonnier, prestataires externes, futurs employés

Des techniques structurées comme l'analyse en oignon (onion model) peuvent aider à identifier systématiquement les parties prenantes en explorant les différentes couches d'implication. L'utilisation de questions systématiques aide aussi : "Qui utilise le système ? Qui décide de son adoption ? Qui paye ? Qui maintient ? Qui est impacté par ses résultats ? Qui pourrait bloquer le projet ? Qui

possède une expertise critique ?"

La classification des parties prenantes structure et priorise les efforts d'élicitation selon trois dimensions complémentaires permettant une stratégie d'engagement différenciée.

Selon le pouvoir et l'intérêt, la matrice identifie quatre profils : les acteurs pouvoir élevé/intérêt élevé (sponsors, utilisateurs principaux) nécessitant une gestion étroite ; les acteurs pouvoir élevé/intérêt faible (direction générale) à satisfaire et informer régulièrement ; les acteurs pouvoir faible/intérêt élevé (utilisateurs occasionnels) à consulter et tenir informés ; et les acteurs pouvoir faible/intérêt faible à surveiller avec un effort minimal.

Selon leur rôle fonctionnel, on distingue les utilisateurs directs (interaction quotidienne), les utilisateurs indirects (récepteurs de résultats), les décideurs (définition des objectifs et validation), les experts techniques (expertise sur contraintes et possibilités), et les gardiens (gatekeepers contrôlant l'accès à d'autres parties prenantes).

Selon leur attitude projet, cinq catégories émergent : les champions (support actif et influence positive), les supporteurs (favorables mais passifs), les neutres (à convaincre), les opposants (résistance au changement par peur de perte de pouvoir, inquiétude professionnelle, ou satisfaction du statu quo), et les ignorants (inconscients du projet ou de son impact). Cette classification multidimensionnelle permet d'adapter finement la fréquence de consultation, les techniques d'élicitation privilégiées, le niveau de détail partagé, et les tactiques de gestion des résistances pour chaque catégorie de parties prenantes. L'identification des représentants utilisateurs clés et des champions du produit est particulièrement critique. Dans de grandes organisations avec de nombreux utilisateurs potentiels, il est impossible et contre-productif de consulter tout le monde en permanence. Il faut identifier :

- Des représentants utilisateurs qui incarnent les différents profils d'utilisateurs et peuvent parler légitimement au nom de leur communauté. Ces représentants doivent être choisis pour leur connaissance du métier, leur crédibilité auprès de leurs pairs, leur disponibilité, et leur capacité de communication. Idéalement, on identifie plusieurs représentants couvrant les différents profils d'usage (débutant/expert, usage fréquent/occasionnel, etc.).

- Des champions du produit (product champions) qui croient fortement dans la valeur du système, peuvent évangéliser le projet auprès d'autres parties prenantes, aider à surmonter les résistances, et maintenir la motivation dans les moments difficiles. Ces champions sont souvent des utilisateurs influents ou des managers visionnaires.

La compréhension des besoins spécifiques de chaque catégorie de parties prenantes dépasse largement les seuls besoins fonctionnels explicites pour englober cinq dimensions essentielles : les besoins contextuels (environnement de travail, mobilité, contraintes ergonomiques), les compétences et limitations (littératie informatique, handicaps, langues), les contraintes opérationnelles (charge de travail, interruptions, disponibilité pour la formation), les motivations et craintes (gains espérés versus pertes redoutées), et les mesures de succès personnelles (critères individuels d'évaluation du système). Cette analyse multidimensionnelle informe non seulement l'élicitation des exigences mais oriente également l'ensemble de la gestion du projet : stratégie de

communication, gestion du changement organisationnel, conception des programmes de formation, et planification du déploiement progressif du système.

2.3.4 Sélection des Techniques, Approches et Outils

La sélection des techniques d'élicitation appropriées constitue une décision stratégique majeure qui influence directement la qualité et la complétude des exigences élicitées. Le choix des techniques à employer dépend fondamentalement du contexte spécifique du projet et constitue souvent un facteur critique - voire déterminant - dans le succès ou l'échec du processus d'élicitation global.

Les facteurs influençant la sélection sont multiples et interagissent de manière complexe :

La maturité et expérience de l'analyste joue un rôle souvent déterminant dans la pratique réelle, même si ce n'est pas idéal. Les raisons de sélection d'une technique particulière observées dans la pratique incluent :

(a) C'est la seule technique connue de l'analyste : Cette situation, malheureusement fréquente, reflète un manque de formation ou d'exposition à la diversité des techniques disponibles. Un analyste qui ne connaît que les entretiens les utilisera systématiquement, même quand une session de brainstorming ou une observation ethnographique serait plus appropriée.

(b) C'est la technique favorite de l'analyste : Par confort ou par conviction personnelle, certains analystes privilégient systématiquement certaines techniques dans lesquelles ils excellent, indépendamment du contexte. Un analyste à l'aise avec les ateliers collaboratifs peut les organiser même quand les parties prenantes sont trop dispersées géographiquement pour en tirer bénéfice.

(c) La technique est prescrite par une méthodologie spécifique suivie : Lorsque l'organisation suit une méthodologie formelle (RUP, SAFe, Scrum, etc.), celle-ci peut prescrire l'utilisation de techniques particulières à des moments spécifiques. Par exemple, Scrum préconise l'utilisation de user stories, SAFe recommande des PI Planning events. Cette prescription peut être bénéfique en assurant une cohérence, mais peut aussi devenir rigide si appliquée sans discernement.

(d) Le choix est guidé par l'intuition de l'analyste quant à son efficacité dans le contexte actuel : C'est l'approche la plus mature, où l'analyste évalue consciemment les caractéristiques de la situation (type de parties prenantes, nature des exigences recherchées, contraintes de temps et budget) et sélectionne les techniques qui maximisent les chances de succès dans ce contexte spécifique. Cette capacité de jugement contextuel se développe avec l'expérience et la réflexion sur les pratiques.

La sélection éclairée des techniques d'élicitation doit considérer quatre dimensions contextuelles interdépendantes : les caractéristiques des parties prenantes (nombre, dispersion géographique, disponibilité, compétences communicationnelles, expertise du domaine, aisance avec la formalisation), la nature des exigences recherchées (fonctionnelles vs. non-fonctionnelles, explicites vs. tacites, innovation vs. remplacement, processus définis vs. flous), les contraintes du projet (budget d'élicitation, temps alloué, criticité,

taille/complexité du système, niveau d'innovation), et les facteurs organisationnels (culture hiérarchique vs. collaborative, maturité IT, historique de projets similaires, résistance au changement anticipée). Ces facteurs s'entrecroisent pour guider le choix optimal des techniques plutôt qu'une application mécanique de méthodes favorites. La reconnaissance qu'une seule technique ne peut être suffisante représente une prise de conscience fondamentale dans l'élicitation moderne. Il est généralement reconnu et empiriquement vérifié qu'une approche mono-technique est vouée à l'échec ou du moins à des résultats sous-optimaux. Plusieurs méthodes doivent être employées durant différentes étapes du cycle de développement, souvent en coopération lorsqu'elles sont complémentaires, pour plusieurs raisons :

- **Couverture différentielle** : Chaque technique excelle dans l'élicitation de certains types d'exigences mais en manque d'autres. Les entretiens capturent bien les besoins individuels explicites mais manquent les exigences émergentes de la collaboration. L'observation révèle les pratiques tacites mais ne capture pas les aspirations futures.
- **Triangulation et validation** : L'utilisation de techniques multiples permet de valider les exigences en les élicitant par des voies indépendantes. Si les mêmes besoins émergent d'entretiens individuels, d'observations sur site, et de sessions de groupe, la confiance dans ces exigences est renforcée.
- **Adaptation aux phases** : Différentes techniques sont naturellement appropriées à différents moments. Des entretiens exploratoires en début de projet établissent le contexte général, suivis d'observations pour comprendre les pratiques réelles, puis d'ateliers pour concevoir collaborativement les solutions, et enfin de prototypage pour valider les choix de conception.
- **Engagement de parties prenantes diverses** : Différentes personnes sont plus à l'aise avec différentes formes d'interaction. Certains s'expriment mieux en entretien individuel, d'autres brillent en session collaborative, d'autres encore communiquent mieux par écrit (questionnaires) ou en réaction à des artefacts concrets (prototypes).

La complémentarité des techniques repose sur leur utilisation séquentielle ou parallèle pour se renforcer mutuellement : les entretiens exploratoires ouvrent vers le brainstorming créatif puis le prototypage validé par de nouveaux entretiens ; les questionnaires offrent une large couverture superficielle préparant des entretiens approfondis ciblés ; l'observation du présent nourrit les workshops de conception du futur. Cette orchestration méthodique maximise la qualité de l'élicitation en combinant les forces spécifiques de chaque technique selon une logique de progression et de triangulation.

La sélection optimale des techniques nécessite donc une compréhension fine de leurs forces et faiblesses respectives, une évaluation honnête du contexte du projet, et une capacité à orchestrer leur utilisation en séquence et en combinaison pour maximiser la qualité de l'élicitation.

2.3.5 Élicitation Effective des Exigences

Une fois les fondations posées par les quatre activités précédentes - compréhension du domaine établie, sources identifiées, parties prenantes analysées, et techniques sélectionnées - l'élicitation proprement dite peut commencer. Cette activité représente le cœur opérationnel du processus, où les

exigences concrètes sont effectivement découvertes, articulées, et documentées.

L'établissement du niveau de portée du système (scope) constitue le premier jalon crucial de l'élicitation effective. Il s'agit de délimiter clairement ce qui est "dans" le système (in-scope) et ce qui est "hors" du système (out-of-scope). Cette délimitation peut sembler simple en principe mais s'avère souvent complexe et source de conflits en pratique :

1. **Portée fonctionnelle** : Quelles fonctions métier le système prendra-t-il en charge ? Par exemple, un système de gestion de commandes inclura-t-il seulement la saisie et le suivi, ou aussi la facturation et la gestion des litiges ?
2. **Portée organisationnelle** : Quels départements, services, ou utilisateurs seront concernés ? Le système sera-t-il limité à un service pilote ou déployé dans toute l'organisation dès le départ ?
3. **Portée géographique** : Le système couvrira-t-il un seul site, plusieurs sites nationaux, ou une organisation multinationale avec des spécificités locales à gérer ?
4. **Portée temporelle** : Quelle est la vision à long terme vs. ce qui sera livré dans la version initiale (Minimum Viable Product) ? Cette distinction est essentielle dans les approches incrémentales.

L'établissement clair de la portée nécessite des négociations délicates entre les aspirations des parties prenantes (qui voudraient souvent un système très complet) et les contraintes de temps, budget, et faisabilité technique. L'ingénieur des exigences joue ici un rôle de facilitateur et de médiateur, aidant à trouver un équilibre réaliste et à expliciter les compromis nécessaires.

L'investigation détaillée des besoins et désirs des parties prenantes représente le travail de fond de l'élicitation. Cette investigation doit être à la fois systématique (pour assurer la complétude) et empathique (pour comprendre vraiment les motivations profondes). Elle implique :

- **Découvrir les besoins explicites** : Ce sont les exigences que les parties prenantes peuvent facilement articuler parce qu'elles correspondent à des problèmes conscients avec les solutions actuelles ou à des fonctionnalités désirées claires. "Le système doit permettre de rechercher un client par son numéro de téléphone" est un besoin explicite.

- **Révéler les besoins implicites** : Ce sont les attentes que les parties prenantes tiennent pour acquises et n'expriment donc pas spontanément. "Le système doit se souvenir de ma dernière recherche" peut sembler évident à l'utilisateur mais ne sera pas mentionné si on ne pose pas de questions spécifiques. L'observation et les questions de type "comment" et "pourquoi" aident à révéler ces besoins.

- **Éliciter les besoins latents** : Ce sont les besoins dont les parties prenantes ne sont pas conscientes jusqu'à ce qu'on les leur suggère, souvent en leur montrant des possibilités nouvelles via des prototypes ou des démonstrations de systèmes similaires. "Vous pourriez recevoir une notification automatique quand une commande importante arrive" pourrait révéler un besoin latent de réactivité dont l'utilisateur n'avait pas conscience.

- **Anticiper les besoins futurs** : Le système sera utilisé pendant plusieurs années ; il faut donc essayer d'anticiper l'évolution des besoins métier, la

croissance de l'organisation, les changements réglementaires prévisibles, etc. Cela nécessite d'interroger les parties prenantes sur leurs plans stratégiques, les tendances de leur industrie, et leurs aspirations à moyen terme.

Cette investigation utilise les techniques sélectionnées précédemment, mais requiert également des compétences interpersonnelles fines : confiance, écoute active, questionnement ouvert puis de plus en plus focalisé, reformulation pour valider la compréhension, gestion des silences, empathie pour comprendre au-delà des mots, détection des non-dits et des contradictions.

L'examen des moyens par lesquels le système peut soutenir les opérations métier pour satisfaire les objectifs majeurs représente le volet téléologique de l'élicitation effective. Il s'agit de maintenir constamment le lien entre : les exigences détaillées élicitées et les objectifs stratégiques de haut niveau qui justifient l'investissement dans le système. Cette traçabilité bidirectionnelle assure que :

- Chaque exigence majeure contribue effectivement à au moins un objectif métier identifié
- Chaque objectif métier est supporté par un ensemble cohérent d'exigences
- Les priorités d'implémentation peuvent être guidées par l'importance stratégique des objectifs
- L'évaluation du succès du système peut se faire en mesurant l'atteinte des objectifs métier

Cette élicitation effective ne suit pas un parcours linéaire mais plutôt un processus itératif et incrémental où chaque cycle d'élicitation enrichit et raffine la compréhension collective des besoins du système.

2.4 Modèles de Processus

L'élicitation des exigences est définie comme le processus de recherche, découverte, acquisition et élaboration des exigences d'un système informatique. Contrairement à une simple collecte, l'élicitation implique des éléments de découverte, d'émergence et de développement (Zowghi & Coulin, 2005) qui façonne la compréhension collective du système à construire. Face à cette complexité, les chercheurs et praticiens ont développé au fil des décennies divers modèles de processus visant à structurer, guider et améliorer cette activité fondamentale. Ces modèles, issus de travaux académiques rigoureux et d'expériences industrielles concrètes, offrent des perspectives complémentaires sur la manière d'aborder l'élicitation : certains privilégient la formalisation mathématique et la nature itérative du processus, d'autres mettent l'accent sur les directives pratiques et l'adaptabilité contextuelle, tandis que d'autres encore explorent la gestion de la multiplicité des points de vue ou la décomposition systématique des processus métier. Cette diversité d'approches reflète la richesse et la complexité inhérentes à l'élicitation des exigences, tout en offrant aux analystes et équipes de développement un éventail d'outils conceptuels adaptés à différents contextes, contraintes et objectifs de projet.

2.4.1 Modèle Unifié de Hickey et Davis (2003-2004)

Ce modèle influent repose sur la formalisation mathématique du processus itératif d'élicitation. Il représente l'élicitation comme un processus de

transformation itérative qui fait évoluer l'état actuel des exigences vers une compréhension améliorée. Il met l'accent sur la connaissance situationnelle et reconnaît l'importance du contexte et des connaissances du domaine dans le processus. Le modèle intègre un méta-processus de sélection des techniques d'élicitation appropriées et fonctionne par cycles successifs : à partir d'un état initial des exigences (R_i), une technique d'élicitation sélectionnée est appliquée pour transformer l'état des exigences vers un état amélioré (R_{i+1}), et ce processus itératif se poursuit jusqu'à satisfaction des besoins identifiés.

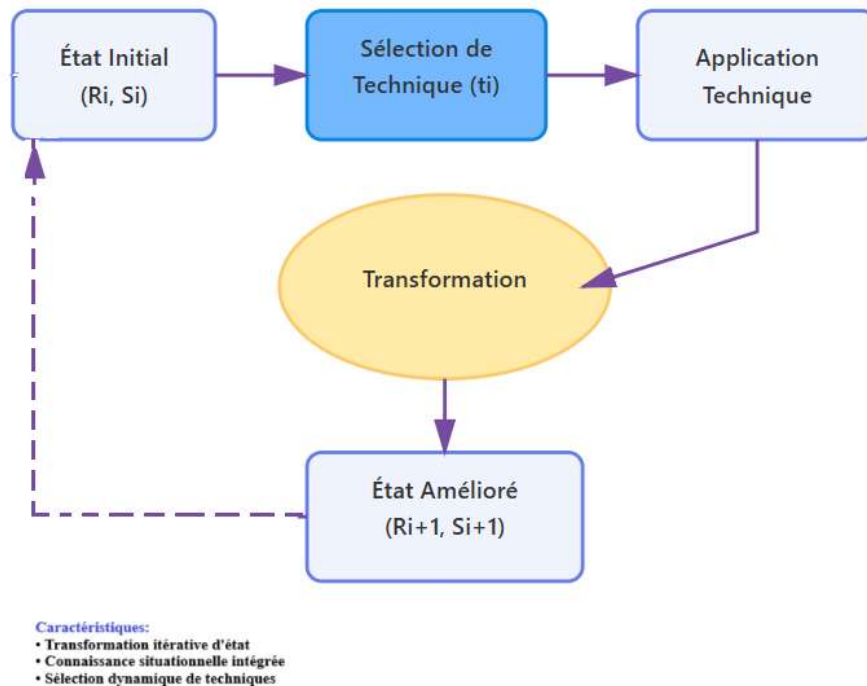


Figure 2.1 Modèle Unifié de Hickey et Davis (2003-2004)

2.4.2 Modèle de Bonnes Pratiques de Sommerville et Sawyer (1997)

Ce modèle propose un ensemble de directives pratiques basées sur les meilleures pratiques de l'ingénierie des exigences. Il recommande d'évaluer la faisabilité technique et commerciale, d'identifier les parties prenantes et leurs biais organisationnels, de définir l'environnement technique et les contraintes de domaine, de choisir les méthodes d'élicitation appropriées et de solliciter une participation large pour obtenir différents points de vue. Le processus se décompose en plusieurs activités interconnectées : documentation, élicitation, analyse et négociation, description, modélisation du système, validation et gestion des exigences, offrant ainsi un cadre complet pour guider les praticiens dans leurs activités d'ingénierie des exigences.

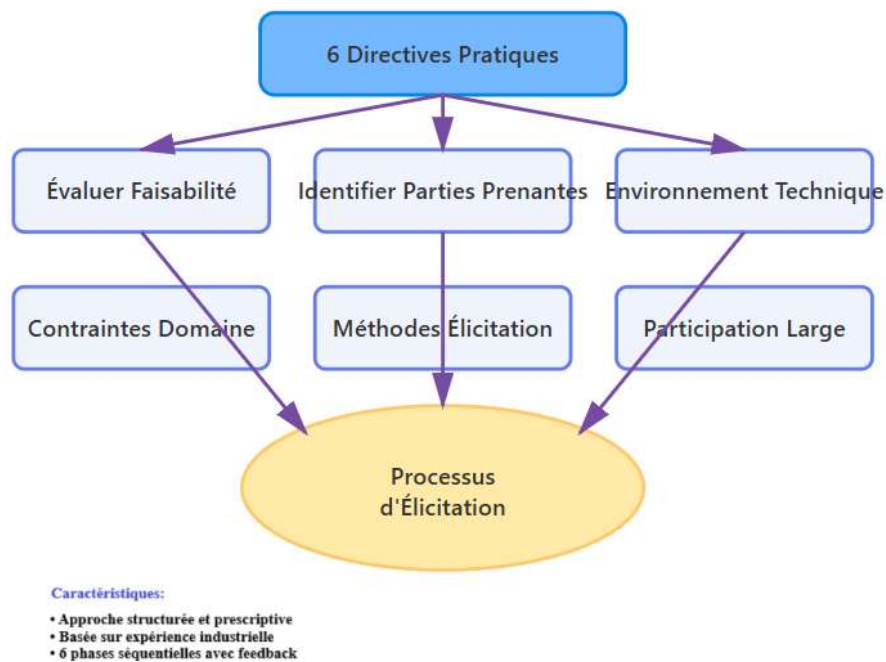


Figure 2.2 Modèle de Bonnes Pratiques de Sommerville et Sawyer (1997)

2.4.3 Modèle Itératif de Sommerville (2000)

Ian Sommerville a proposé un modèle de processus itératif composé de quatre activités principales interconnectées qui se répètent en cycles. Ces activités comprennent la découverte des exigences (interaction avec les parties prenantes via entretiens, scénarios et prototypes), la classification et organisation (regroupement et hiérarchisation des exigences connexes), la priorisation et négociation (résolution des conflits et gestion des compromis entre parties prenantes), et la documentation (production du document d'exigences et création d'artefacts formels). Ce processus cyclique permet une amélioration progressive de la compréhension grâce à une rétroaction continue entre les activités, et se poursuit jusqu'à l'achèvement satisfaisant du document d'exigences.

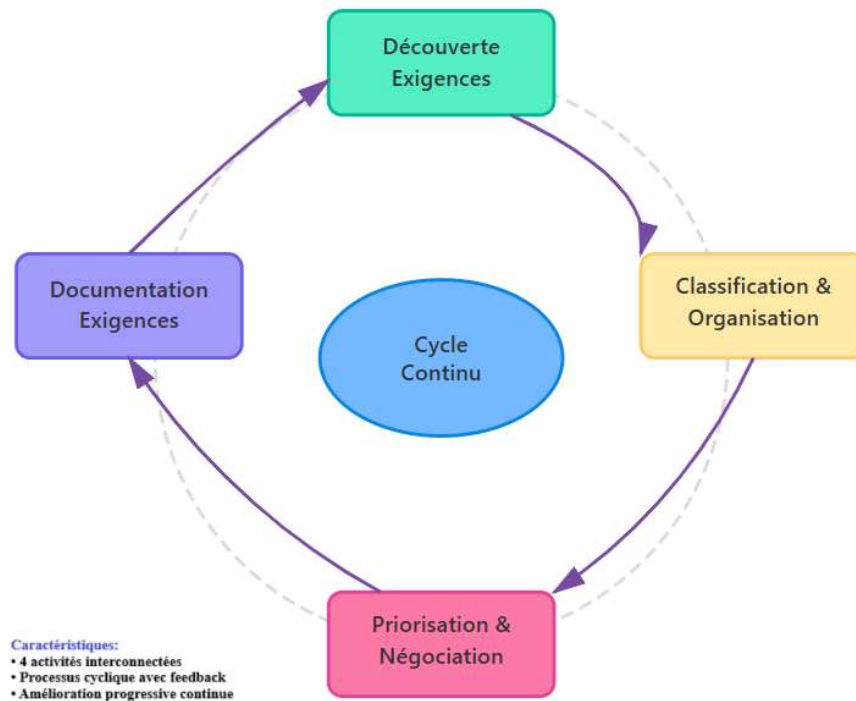


Figure 2.3 Modèle Itératif de Sommerville (2000)

2.4.4 Modèle d'Approche Multi-Perspectives - PREview (1998)

Développé par Sommerville, Sawyer et Viller, PREview est un modèle basé sur les points de vue multiples pour organiser et gérer les exigences provenant de sources radicalement différentes. Chaque point de vue est une entité flexible caractérisée par son nom, son focus, ses préoccupations (objectifs organisationnels et contraintes) et ses sources d'information. Les préoccupations, qui sont les moteurs commerciaux clés du processus, sont décomposées en questions auxquelles les parties prenantes doivent répondre. Le processus comprend l'identification des points de vue pertinents, leur structuration, la documentation des préoccupations, l'élicitation incrémentale et la validation croisée entre points de vue, permettant ainsi d'adapter l'élicitation à différents domaines d'application.

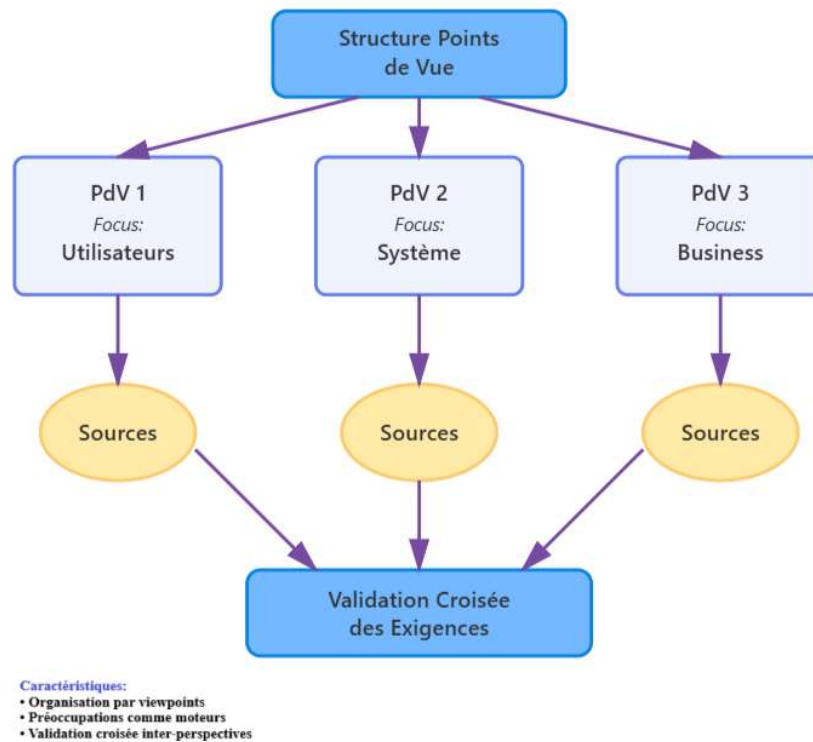


Figure 2.4 Modèle d'Approche Multi-Perspectives - PREview (1998)

2.4.5 Modèle de Zowghi et Coulin (2005)

Basé sur une revue exhaustive de la littérature, ce modèle offre une vue complète du processus d'élicitation en identifiant cinq activités principales : la collecte d'informations sur le système et les utilisateurs, la priorisation des exigences selon leur importance, la documentation claire et concise, la validation et vérification avec les parties prenantes, et un processus itératif de raffinement continu. Le modèle définit également deux rôles essentiels (facilitateur qui guide les sessions et assure la participation, et documentaliste qui produit les artefacts), et propose une classification exhaustive des techniques d'élicitation en six catégories : traditionnelles (entretiens, questionnaires), de groupe (ateliers, brainstorming), de modélisation (scénarios, cas d'utilisation), cognitives (ontologies, card sorting), contextuelles (ethnographie) et agiles (user stories, mind mapping).

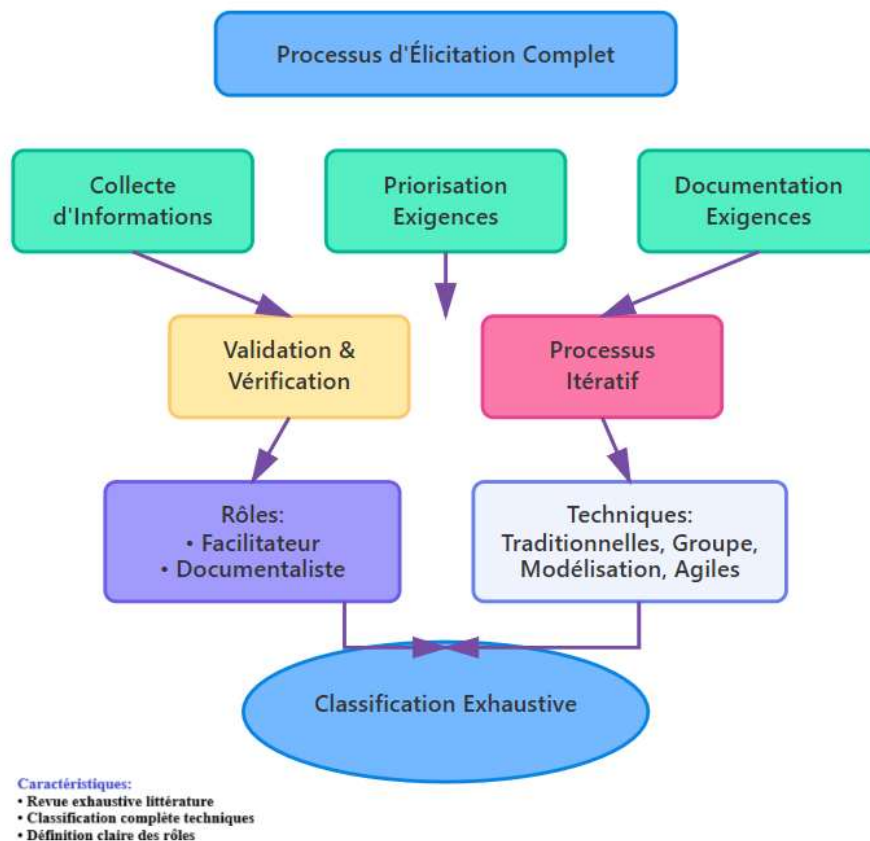


Figure 2.5 Modèle de Zowghi et Coulin (2005)

2.4.6 Modèle Guidé par les Processus - Process-Led Model (2021)

Présenté par Nwachukwu, ce modèle utilise la modélisation et l'analyse des processus métier comme guide principal pour l'élicitation des exigences. Il repose sur la décomposition systématique des processus en activités, tâches et sous-tâches, permettant aux exigences d'émerger naturellement à chaque niveau de décomposition selon une séquence logique. Le modèle utilise l'approche SIPOC (Suppliers-Inputs-Process-Outputs-Customers) pour structurer le processus de transformation, identifiant qui fournit les entrées, quelles sont ces entrées, comment elles sont transformées, quelles sorties sont produites et qui les reçoit. Cette approche méthodique garantit des exigences complètes, claires et stables, tout en améliorant la compréhension pour les équipes métier et techniques.

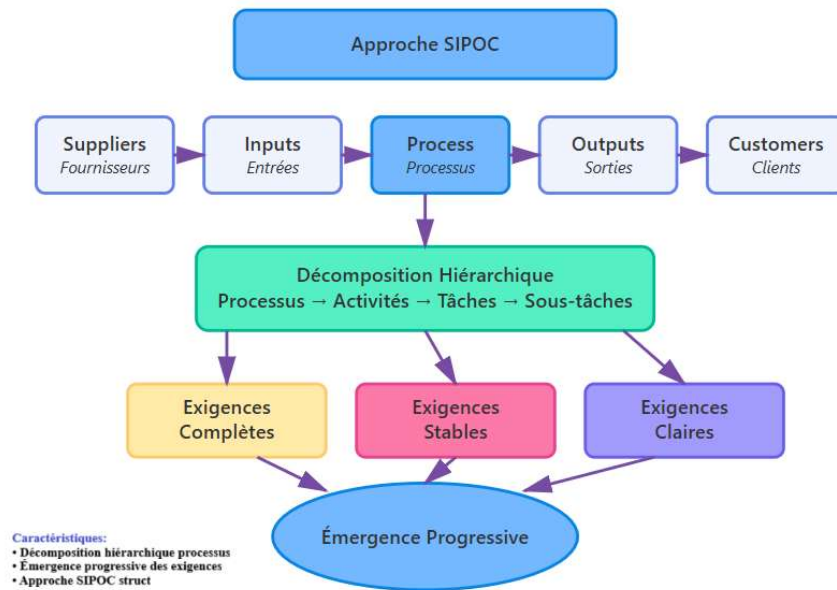


Figure 2.6 Modèle Guidé par les Processus - Process-Led Model (2021)

2.4.7 Modèle d'Amélioration des Processus d'Élicitation (2010)

Proposé par Pandey, Suman et Ramani, ce modèle holistique se concentre sur l'amélioration de la qualité des exigences à travers cinq phases structurées. La phase de préparation collecte toutes les exigences disponibles et identifie les parties prenantes clés. L'élicitation active sélectionne et applique de multiples techniques complémentaires. La phase d'analyse et raffinement identifie les ambiguïtés, résout les conflits et établit la traçabilité. La validation vérifie l'exactitude et la complétude avec les parties prenantes. Enfin, la documentation et gestion produisent le document final et mettent en place un processus de gestion des changements. Ce modèle itératif avec boucles de retour assure un suivi et un raffinement continus, couvrant toutes les activités importantes du processus d'élicitation.

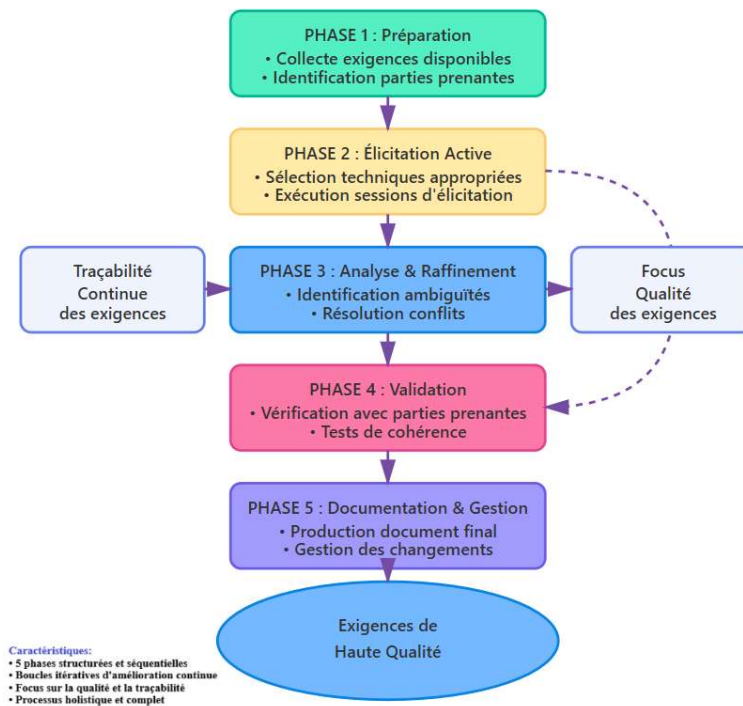


Figure 2.7 Modèle d'Amélioration des Processus d'Élicitation (2010)

2.4.8 Modèle de Sélection de Techniques d'Élicitation (2003)

Développé par Hickey et Davis, ce modèle ontologique fournit une approche systématique pour choisir les techniques d'élicitation les plus appropriées en fonction de la situation. Il prend en compte quatre catégories de facteurs : les caractéristiques du projet (taille, complexité, contraintes temporelles, budget, criticité), les caractéristiques des parties prenantes (expertise, disponibilité, localisation géographique, volonté de participer), les caractéristiques de l'analyste (expérience, compétences techniques et communicationnelles, connaissance du domaine), et les caractéristiques organisationnelles (culture, facteurs politiques, structure hiérarchique, pratiques établies). Le processus de sélection analyse la situation actuelle, identifie les caractéristiques pertinentes, établit un mapping entre techniques et situations, puis sélectionne et évalue les techniques appropriées.

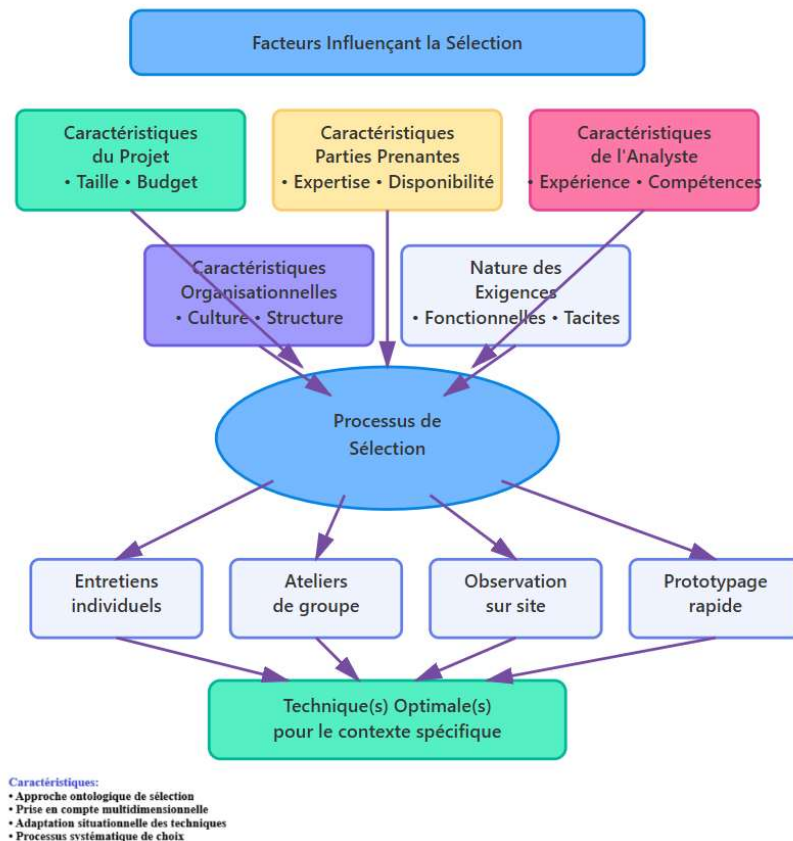


Figure 2.8 Modèle de Sélection de Techniques d'Elicitation (2003)

2.4.9 Synthèse comparative des modèles d'élicitation des exigences

La synthèse comparative de ces huit modèles d'élicitation des exigences révèle une évolution significative dans la compréhension et la structuration de ce processus fondamental. Chaque modèle apporte une contribution distinctive : certains privilégient l'intégration méthodologique et la transformation d'état comme le Modèle Unifié, d'autres mettent l'accent sur le pragmatisme industriel avec les Bonnes Pratiques, tandis que d'autres encore valorisent l'itération continue, la gestion multi-perspectives ou la décomposition hiérarchique des processus. Cette diversité n'est pas contradictoire mais complémentaire, reflétant la complexité inhérente à l'élicitation des exigences et la nécessité d'adapter l'approche au contexte spécifique de chaque projet. Les modèles récents intègrent progressivement des préoccupations de qualité, de traçabilité et d'amélioration continue, démontrant une maturation de la discipline. En pratique, plutôt que de choisir un modèle unique, les organisations gagneraient à comprendre les forces de chacun pour construire une démarche hybride et sur mesure. Cette synthèse comparative offre ainsi aux praticiens et chercheurs une vision panoramique essentielle pour naviguer intelligemment dans le paysage des méthodologies d'élicitation et sélectionner les approches les mieux adaptées aux défis spécifiques de leurs projets logiciels.

Tableau 2-1: Modèles d'élicitation des exigences

Modèle	Focus Principal	Approche	Avantage Clé
Modèle Unifié <i>Hickey & Davis (2004)</i>	Processus itératif unifié avec transformation d'état	Transformation d'état (RI, SI)	Intègre la sélection de techniques et la connaissance situationnelle de manière explicite
Bonnes Pratiques <i>Sommerville & Sawyer (1997)</i>	Directives pratiques basées sur l'expérience	Prescriptif (6 phases)	Facile à appliquer en industrie; approche structurée et pragmatique
Cycle Continu <i>Sommerville itératif (2006)</i>	Cycle découverte-documentation avec 4 activités	Itératif cyclique	Rétroaction continue entre activités; amélioration progressive
Multi-Perspectives <i>PREview (1998)</i>	Organisation par points de vue multiples	Points de vue (Viewpoints)	Gestion efficace de sources diverses et résolution de conflits inter-perspectives
Vue Complète <i>Zowghi & Coulin (2005)</i>	Revue exhaustive du processus d'élicitation	Taxonomique et holistique	Classification exhaustive des techniques et définition claire des rôles
Process-Led Model <i>Nwachukwu (2021)</i>	Décomposition hiérarchique des processus	Hiérarchique SIPOC	Exigences complexes: claires et stables via émergence progressive
Modèle d'Amélioration <i>Pandey et al. (2010)</i>	Qualité et traçabilité des exigences	Phases structurées	Focus sur la qualité; traçabilité continue et amélioration itérative
Sélection de Techniques <i>Hickey & Davis (2003)</i>	Choix méthodologique des techniques	Situationnel ontologique	Adaptation systématique au contexte via analyse multidimensionnelle

2.5 Techniques d'élicitation des exigences

Les techniques d'élicitation des exigences se divisent en plusieurs catégories. Les techniques traditionnelles incluent les entretiens (non structurés, structurés ou semi-structurés), les questionnaires pour collecter rapidement des informations auprès de multiples parties prenantes, et l'observation ethnographique des processus existants. Les techniques collaboratives comme le brainstorming, le JAD et les ateliers d'exigences favorisent la participation active de toutes les parties prenantes pour générer des idées innovantes et découvrir les besoins. Les techniques basées sur des modèles utilisent les scénarios, cas d'utilisation, approches par objectifs (KAOS, i*) ou points de vue pour structurer et organiser l'élicitation. Enfin, les techniques cognitives comme l'analyse de protocole, l'apprentissage par immersion et le prototypage permettent d'accéder aux connaissances tacites et d'explorer concrètement les solutions possibles.

Le choix d'une technique appropriée est crucial pour éviter les échecs de projet liés à des exigences défectueuses. Plusieurs approches facilitent cette

sélection : des modèles d'apprentissage automatique utilisant des réseaux de neurones qui considèrent des facteurs comme la compréhension du domaine et les contraintes budgétaires, le modèle GQA qui structure l'élicitation sous forme d'arbre objectifs-questions-réponses, ou encore l'analyse multicritères basée sur l'Analytic Network Process. L'analyste doit évaluer l'état actuel des exigences, les caractéristiques du domaine problème et solution, ainsi que les spécificités du projet.

Dans la pratique, aucune technique unique ne suffit. Chaque méthode possède ses forces et faiblesses selon le contexte, et la plupart des projets nécessitent une combinaison de plusieurs approches complémentaires. Par exemple, associer le prototypage avec l'observation des utilisateurs permet d'obtenir des informations beaucoup plus riches sur les besoins réels et les processus métier, offrant ainsi une flexibilité maximale aux analystes et parties prenantes.

2.6 **Obstacles et Défis Multidimensionnels de l'Elicitation des Exigences**

L'élicitation des exigences se heurte à de multiples obstacles d'origine humaine et communicationnelle qui entravent la compréhension mutuelle entre analystes et parties prenantes. Les limitations cognitives des individus restreignent leur capacité à exprimer complètement leurs besoins, laissant de nombreuses connaissances tacites non formulées, tandis que les contraintes de mémoire, d'attention et de confiance compliquent davantage la communication. Les différences culturelles et de référentiels entre experts techniques et métier créent un fossé linguistique où chaque groupe peine à saisir les concepts de l'autre. L'ambiguïté inhérente au langage naturel, avec ses synonymes, homonymes et formulations trompeuses, ajoute une couche supplémentaire de complexité. Au niveau processuel, la volatilité des exigences constitue un défi majeur : les clients découvrent progressivement ce qui est techniquement réalisable, l'environnement métier évolue constamment, et les parties prenantes modifient leurs attentes au fil du projet. Les problèmes de portée mal définie et de qualité insuffisante des exigences - souvent vagues, non mesurables ou irréalisables - compromettent régulièrement la réussite des projets.

Sur le plan organisationnel, les projets d'élicitation sont confrontés à des dynamiques complexes qui dépassent les aspects purement techniques. Les conflits inter-parties prenantes émergent quasi systématiquement, aggravés par la réticence à établir des compromis ou à prioriser les exigences divergentes. La résistance au changement se manifeste par des niveaux variables d'engagement et de coopération, certaines parties prenantes percevant le nouveau système comme une menace. Les enjeux politiques internes transforment souvent le projet en terrain de luttes de pouvoir organisationnelles, compliquant considérablement le processus d'élicitation. Du côté des analystes, un déficit de compétences se révèle problématique : manque de formation théorique sur les techniques disponibles, insuffisance de pratique des compétences relationnelles, tendance à privilégier prématurément la solution au détriment de la compréhension du problème, et dépendance excessive aux méthodes familières. Enfin, un écart critique persiste entre théorie et pratique : de nombreuses techniques académiques demeurent peu utilisables dans le contexte industriel, le transfert de connaissances reste ardu, et les directives détaillées accompagnées d'outils appropriés font cruellement défaut, particulièrement concernant la

sélection contextuelle des techniques d'élicitation.

2.7 Conclusion

L'élicitation des exigences constitue indéniablement une phase cruciale et complexe du génie logiciel dont la maîtrise conditionne largement le succès des projets de développement de systèmes d'information. Comme nous l'avons exploré tout au long de ce chapitre, ce processus transcende la simple collecte d'informations pour s'affirmer comme une activité multidimensionnelle, itérative et profondément ancrée dans les interactions humaines. Les cinq activités fondamentales identifiées - compréhension du domaine, identification des sources, analyse des parties prenantes, sélection des techniques et élicitation effective - forment un ensemble cohérent et interdépendant qui structure méthodiquement la découverte et l'émergence des besoins. La diversité des modèles de processus proposés dans la littérature, du Modèle Unifié de Hickey et Davis aux approches guidées par les processus, témoigne de l'évolution continue de notre compréhension théorique et pratique de l'élicitation. De même, la richesse des techniques disponibles - traditionnelles, collaboratives, basées sur des modèles ou cognitives - offre aux praticiens un arsenal méthodologique adaptable aux contextes variés des projets contemporains.

Néanmoins, cette analyse met également en lumière les défis persistants qui jalonnent le processus d'élicitation. Les obstacles humains et communicationnels, les problèmes processuels liés à la volatilité et à la qualité des exigences, les dynamiques organisationnelles complexes, et l'écart préoccupant entre théorie académique et pratique industrielle constituent autant de freins à une élicitation véritablement efficace. Parmi ces défis multidimensionnels, un facteur transversal émerge avec une acuité particulière : la dimension relationnelle et la qualité des interactions entre les acteurs du processus. En effet, qu'il s'agisse de surmonter les barrières cognitives et culturelles, de gérer les conflits entre parties prenantes, de faciliter l'expression des connaissances tacites, ou d'encourager la collaboration créative, tous ces enjeux convergent vers une problématique centrale souvent sous-estimée dans la littérature technique : la confiance.

La confiance entre analystes et parties prenantes, entre parties prenantes elles-mêmes, et envers le processus d'élicitation lui-même, apparaît comme un catalyseur essentiel - voire un prérequis - pour la réussite de cette entreprise collaborative complexe. C'est précisément cette dimension fondamentale, ses mécanismes, ses déterminants et son rôle critique dans le contexte spécifique du processus d'élicitation des exigences que nous nous proposons d'explorer dans le chapitre suivant.

3

3. La Théorie de la Confiance dans le Contexte du REP

SOMMAIRE

3.1 Introduction

La confiance représente l'une des variables les plus fondamentales mais sous-estimées lorsqu'il s'agit d'activités d'ingénierie collaborative. En ce qui concerne l'Ingénierie des Exigences (IE), la confiance devient un facteur important dans toutes les phases du processus, allant de l'identification des parties prenantes et de l'élicitation jusqu'à la négociation, la validation et la gestion des changements. La connaissance et la compréhension de la nature et de la dynamique de ces relations de confiance constituent donc des prérequis essentiels pour un ingénieur ou un analyste des exigences, étant donné que la qualité d'une spécification des exigences est généralement tributaire de la qualité des relations interpersonnelles entre ses auteurs.

Le présent chapitre propose une discussion approfondie sur le concept de confiance dans le cadre de l'IE. La première section est consacrée aux fondements théoriques. Les implications organisationnelles et techniques sont abordées dans la deuxième section. Le corps principal du chapitre (Section 3.3) est dédié à la discussion de la confiance dans le contexte du REP (Processus d'Élicitation des Exigences) et comprend les antécédents, les phases, les violations et les procédures de réparation. Les techniques de mesure de la confiance sont traitées dans la Section 3.4. Des remarques conclusives sont proposées dans la Section 3.5. La section 3.6 développe les fondements mathématiques de la modélisation du trust tels qu'ils ont été établis et synthétisés par Cho et al. (2015), enrichis par les apports du cadre SECI-Trust. Nous aborderons successivement la définition formelle du trust, le continuum distrust-trust, les principales formulations mathématiques des facteurs individuels et relationnels, ainsi que les propriétés formelles qui gouvernent tout modèle de confiance robuste.

3.2 La Confiance

Le concept de confiance joue un rôle primordial dans le processus d'IE, dans la mesure où il influence de manière directe les interactions entre les parties prenantes et les analystes au cours des activités d'élicitation, de négociation et de validation. Il est donc indispensable que les ingénieurs des exigences appréhendent la nature des relations de confiance ainsi que les présupposés qui les fondent. En l'absence d'une telle compréhension, les analystes s'exposent à plusieurs risques : une mauvaise interprétation des comportements des parties prenantes, une sous-estimation des asymétries informationnelles, et l'élaboration de spécifications inadaptées, incapables de refléter fidèlement les besoins réels de l'organisation.

3.2.1. La théorie de la confiance

La confiance n'est pas une construction monolithique ; elle se manifeste sous différentes formes et à différents niveaux d'organisation sociale. Elle peut être interpersonnelle, organisationnelle ou institutionnelle. Elle peut être horizontale (entre collègues), verticale (entre managers et employés) ou institutionnelle (entre employés et organisations) [22]. Ces distinctions sont importantes : les différents types de confiance sont régis par des antécédents distincts, évoluent à des rythmes différents et se réparent par des mécanismes spécifiques.

La confiance a été étudiée dans les domaines de la sociologie [23], de la

psychologie [24], de l'économie [25] et de l'informatique [26], chaque discipline offrant une perspective analytique distincte. Au niveau le plus général, la confiance est une mesure de l'assurance qu'une ou plusieurs entités se comporteront de la manière attendue [27]. Une classification largement adoptée [28] distingue trois perspectives : les théoriciens de la personnalité, qui considèrent la confiance comme un trait dispositionnel stable ; les sociologues, qui l'appréhendent comme un lien social favorisant la coopération à grande échelle ; et les psychosociologues, qui la définissent comme le consentement volontaire d'une partie s'engageant dans une transaction avec une autre.

L'introduction formelle de la confiance dans les systèmes informatiques est attribuée aux travaux fondateurs de Marsh [29], qui a fourni un modèle computationnel pour le raisonnement sur la confiance dans des environnements multi-agents. Aujourd'hui, les mécanismes de confiance sous-tendent l'infrastructure à clé publique, les systèmes de réputation et les plateformes collaboratives.

Les recherches contemporaines ont convergé vers quatre propriétés fondamentales de la confiance :

(1) Structure dyadique. La confiance implique deux parties — le Truster (celui qui fait confiance) et le Trustee (celui en qui on a confiance) [22]. Cette structure asymétrique et non nécessairement réciproque définit l'architecture de base de toutes les relations de confiance en IE.

(2) Évaluation subjective. La confiance est une perception plutôt qu'une mesure objective [30]. Définie comme « la crédibilité et la bienveillance perçues d'une cible de confiance » [31], elle reflète l'évaluation interne du fiduciaire, qui peut différer significativement entre des parties prenantes confrontées au même analyste.

(3) Caractère intentionnel et volontaire. La confiance résulte d'un choix délibéré. Telle que définie dans [32], elle est « la disposition à s'en remettre à une partie dans un échange, envers laquelle on éprouve de la confiance ». Une partie prenante qui n'a pas choisi de faire confiance à un analyste ne partagera pas d'informations sensibles, quelles que soient les capacités objectives de ce dernier.

(4) Acceptation de la vulnérabilité. La confiance implique d'accepter un risque. Telle que définie dans [8], elle est « la disposition d'une partie à se rendre vulnérable aux actions d'une autre partie ». En IE, cette vulnérabilité se ressent particulièrement lors de l'élicitation, lorsque les parties prenantes divulguent des informations commerciales confidentielles en se fondant uniquement sur leur confiance dans la discrétion de l'analyste.

3.2.1.1. Définition Formelle et Multidisciplinaire du Trust

À travers l'analyse comparative de définitions issues de la sociologie, de la philosophie, de l'économie, de la psychologie, de l'informatique et des sciences organisationnelles, Cho et al. (2015) proposent la définition unificatrice suivante:

« Trust is the willingness of the trustor (evaluator) to take risk based on a subjective belief that a trustee (evaluatee) will exhibit reliable behavior to maximize the trustor's interest under uncertainty of a given situation based on the cognitive assessment of

past experience with the trustee. »

Source : Cho, Chan & Adali (2015, p. 28:5). *ACM Computing Surveys*, Vol. 48, No. 2.

Cette définition synthétique introduit plusieurs dimensions fondamentales : (1) la disposition à prendre un risque ; (2) la subjectivité de la croyance du trustor envers le trustee ; (3) l'orientation vers la fiabilité comportementale ; (4) la maximisation de l'intérêt dans un contexte d'incertitude ; et (5) le rôle de l'expérience passée comme fondement cognitif. Ces cinq composantes constituent les axes structurants de toute formalisation mathématique rigoureuse du trust.

3.2.1.2. Dimensions Clés de la Confiance

Les travaux de Mayer, Davis et Schoorman [28] ont identifié trois dimensions principales de la confiance, qui sont devenues le cadre dominant dans la recherche organisationnelle. La confiance émerge de facteurs de fiabilité que le Trustor perçoit chez le Trustee ; ces facteurs varient selon le contexte et sont évalués au moment de déterminer si le Trustor est digne de confiance et si l'issue de l'interaction est susceptible d'être fructueuse [34].

Pour mesurer, comprendre et expliquer la confiance, il est important d'en identifier les dimensions. La recherche a mis en évidence plusieurs éléments clés de la confiance. Celle-ci émerge de certains facteurs de fiabilité que le *trustor* perçoit chez le *trustee*. Ces facteurs varient selon le contexte et sont évalués par le *trustor* afin de lui permettre de déterminer si le *trustee* est digne de confiance et si l'issue d'une interaction est fructueuse [34]. Ces facteurs constituent les dimensions de la confiance. Les travaux de Mayer et al. ont démontré que la confiance comporte trois dimensions principales (Figure 3.1).

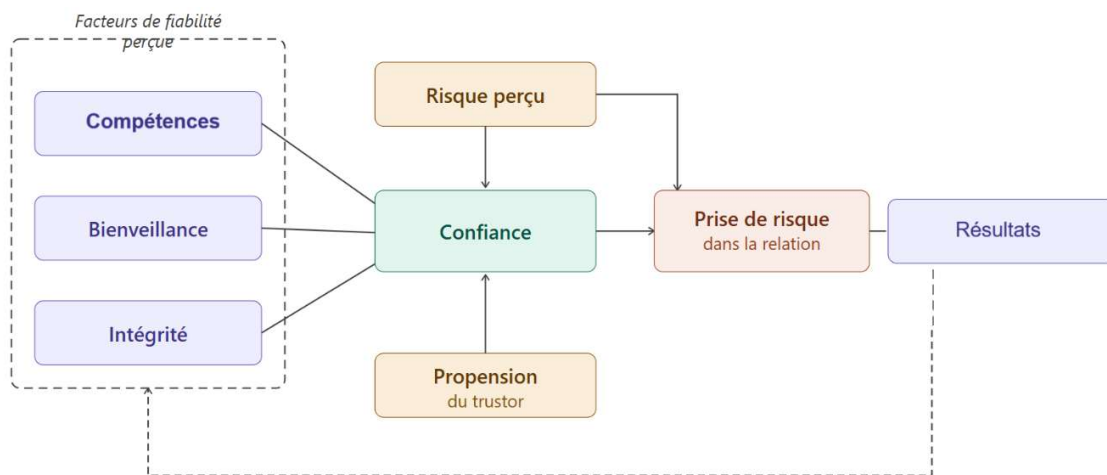


Figure 3.1 Modèle intégré de la confiance organisationnelle (adapté de Mayer et al., 1995)

Tableau 3-1: Dimensions fondamentales de la confiance et leur manifestation dans les contextes d'ingénierie des

exigences

Dimension	Question centrale	Contexte IE	Référence
Bienveillance	Le Trustor se soucie-t-il de mes intérêts ?	L'analyste priorise-t-il sincèrement les besoins des parties prenantes ?	Mayer et al. [28]
Compétence	Le Trustor est-il capable de faire ce dont j'ai besoin ?	L'analyste possède-t-il une expertise technique et métier suffisante ?	Burnay & Snoeck [34]
Intégrité	Le Trustor sera-t-il honnête et tiendra-t-il ses engagements ?	L'analyste se comporte-t-il de manière cohérente et transparente ?	Wang & Clegg [35]

Bienveillance. Désigne la conviction du *trustor* (celui qui fait confiance) que le *trustee* (celui en qui l'on a confiance) se soucie véritablement des intérêts du premier et agira dans son bénéfice plutôt qu'à son détriment. En ingénierie des exigences, la confiance fondée sur la bienveillance influence particulièrement la disposition des parties prenantes à partager des informations sensibles et à reconnaître les incertitudes précisément les connaissances les plus critiques pour l'obtention d'exigences complètes et précises.

Compétence. Représente l'évaluation que fait le *trustor* des capacités et de l'expertise du *trustee*. En ingénierie des exigences, la confiance liée à la compétence est spécifique au domaine : les parties prenantes peuvent faire confiance aux compétences techniques d'un analyste tout en remettant en question sa compréhension des processus métier. Les travaux de Burnay et Snoeck (2017) [34] ont démontré que la compétence perçue de l'analyste influence significativement l'investissement des parties prenantes dans les activités d'élicitation.

Intégrité. Désigne la perception qu'a le *trustor* de l'adhésion du *trustee* aux principes éthiques, à l'honnêteté et à la fiabilité. La confiance fondée sur l'intégrité se construit à travers la constance des comportements et le respect des engagements. Wang et Clegg (2002) [35] l'ont identifiée comme la dimension la plus influente dans les relations collaboratives à long terme ; ses violations sont disproportionnellement préjudiciables et particulièrement difficiles à réparer.

3.2.2. La confiance dans l'ingénierie

Le concept de confiance a fait l'objet d'une attention considérable au sein des communautés de recherche en ingénierie, où il est compris comme le fondement de la prise de décision et la motivation du maintien de relations coopératives à long terme [8][35]. Les environnements d'ingénierie introduisent des extensions importantes aux modèles issus des sciences sociales.

Dans les environnements informatiques et sociotechniques, le *trustee* peut s'étendre au-delà des personnes humaines pour inclure : toute personne, groupe ou organisation ; un agent système représentant une personne ou une organisation ; un composant logiciel ou un sous-système ; un dispositif matériel ; un réseau de communication ; une ressource de données telle qu'un document ou une base de données ; le processus de développement lui-même ; le processus métier dans lequel le système est déployé ; ou l'ensemble du système en tant qu'artefact sociotechnique intégré.

Le *trustor*, en revanche, doit demeurer une entité capable d'évaluer la

fiabilité (*trustworthiness*) d'autrui et de prendre des décisions sur la base de cette évaluation. Il est courant que les personnes fassent initialement preuve de méfiance envers des systèmes ou des processus qui leur sont peu familiers ; après avoir acquis de l'expérience, la confiance peut évoluer un changement qui s'opère au sein du *trustor* lui-même, même lorsque le système demeure inchangé. Ce caractère dynamique de la confiance a des implications directes pour l'ingénierie des exigences : l'instauration d'une familiarité entre analystes et parties prenantes n'est pas simplement une marque de courtoisie sociale, mais un prérequis fonctionnel à un partage efficace des connaissances.

3.3 La théorie de la confiance dans le contexte de l'ingénierie

Si la confiance a été largement étudiée en sciences sociales et organisationnelles, son rôle spécifique en ingénierie des exigences demeure insuffisamment exploré [8]. L'ingénierie des exigences est un processus fondamentalement communicatif et centré sur l'humain, qui repose sur la disposition des parties prenantes à partager leurs connaissances, à reconnaître les incertitudes et à s'engager dans une négociation collaborative. La confiance en tant que lubrifiant social permettant un tel engagement mérite d'être examinée de manière systématique.

3.3.1. Les dimensions de la confiance interpersonnelle en ingénierie des exigences

Confiance fondée sur la compétence

La confiance fondée sur la compétence se développe à travers l'expertise démontrée, les qualifications professionnelles et un historique de réalisations passées couronnées de succès. Burnay et Snoeck (2017) [34] ont démontré que la compétence perçue de l'analyste influence significativement la disposition des parties prenantes à investir du temps dans les activités d'élicitation. La multidimensionnalité de la compétence expertise technique versus expertise métier crée des défis particuliers dans les projets interdisciplinaires, où les analystes doivent simultanément asseoir leur crédibilité dans plusieurs domaines de connaissance.

Confiance fondée sur la bienveillance

La confiance fondée sur la bienveillance reflète la perception des parties prenantes selon laquelle les analystes se soucient véritablement de leurs besoins, plutôt que de se contenter d'exécuter une obligation contractuelle. Elle se développe à travers un engagement empathique, une écoute active et un engagement démontré envers les préoccupations des parties prenantes. Lorsque celles-ci ont la conviction que les analystes se soucient réellement de leurs intérêts, elles sont nettement plus enclines à révéler les problèmes, les contraintes et les préoccupations qui pourraient autrement demeurer dissimulés précisément les informations qui distinguent des exigences véritablement exactes d'exigences superficiellement satisfaisantes.

Confiance fondée sur l'intégrité

La confiance fondée sur l'intégrité englobe les perceptions de fiabilité de

l'analyste et la cohérence entre les intentions déclarées et les actions qui s'ensuivent. Wang et Clegg (2002) [35] ont constaté que les perceptions d'intégrité influencent significativement les relations collaboratives à long terme. L'asymétrie entre la construction de la confiance lente et cumulative et sa destruction rapide et potentiellement irréversible exige une vigilance particulière : une seule rupture perçue peut réduire à néant des mois d'investissement relationnel

3.3.2. La confiance organisationnelle en ingénierie des exigences

Au-delà de la confiance interpersonnelle, les dynamiques organisationnelles façonnent le processus d'ingénierie des exigences à travers les structures institutionnelles, les normes culturelles et les rapports de pouvoir qui régissent le partage de l'information.

Tableau 3-2: Les configurations de confiance organisationnelle et leurs implications spécifiques pour l'ingénierie des exigences

Type de confiance	Définition opérationnelle	Implication pour l'IE
Confiance verticale (hiérarchique)	Confiance entre niveaux hiérarchiques distincts : dirigeants, cadres et agents opérationnels.	Disposition des parties prenantes à remettre en question, valider ou affiner les exigences prescrites.
Confiance horizontale (entre pairs)	Confiance entre acteurs appartenant au même échelon organisationnel ou fonctionnel.	Élaboration collaborative des exigences, négociation inter-parties et construction du consensus.
Confiance institutionnelle (systémique)	Confiance accordée aux processus formels, aux systèmes et aux structures organisationnelles établies.	Légitimité perçue des méthodologies d'IE et de la gouvernance du projet (normes, comités).

Source : adapté de Mayer et al. (1995) [28] ; Wang & Clegg (2002) [35].

Confiance verticale

La confiance verticale influence significativement la prise de décision et le partage de l'information au sein des organisations hiérarchiques [35]. Lorsqu'elle est élevée, les parties prenantes des échelons inférieurs se montrent davantage disposées à remettre en question des exigences problématiques, à soulever des préoccupations relatives à la faisabilité et à reconnaître les lacunes dans leurs connaissances. Lorsqu'elle est faible, les préoccupations sont tuées pour éviter de paraître déloyales une dynamique qui produit de manière prévisible des exigences déficientes et des échecs de projet en phase tardive.

Confiance horizontale

La confiance horizontale exerce une influence plus forte sur le partage des connaissances que la confiance verticale, notamment en ce qui concerne les

connaissances tacites cette expertise difficile à formaliser qui s'avère pourtant la plus essentielle à l'élaboration d'exigences précises. Une confiance horizontale solide favorise la résolution constructive des conflits entre parties prenantes. Une confiance horizontale défaillante engendre, en revanche, une rétention concurrentielle de l'information et une fragmentation du processus d'ingénierie des exigences.

Confiance institutionnelle

La confiance institutionnelle englobe la confiance des parties prenantes envers les méthodologies d'ingénierie des exigences, les structures de gouvernance du projet, ainsi que l'engagement démontré de l'organisation envers la réussite du projet. Une confiance institutionnelle solide peut partiellement compenser une confiance interpersonnelle plus faible ; à l'inverse, une confiance institutionnelle défaillante peut éroder même des relations personnelles solides, en faisant douter les acteurs de la capacité des analystes pourtant individuellement engagés à disposer de l'autorité organisationnelle nécessaire pour honorer leurs engagements.

3.4 La confiance dans le processus d'éllicitation des exigences (REP)

L'éllicitation des exigences est le processus par lequel les ingénieurs des exigences recueillent, découvrent et synthétisent les informations relatives aux besoins, aux objectifs, aux contraintes et aux attentes des parties prenantes à l'égard d'un système proposé [36]. Elle est largement considérée comme la phase la plus intensive en termes de relations humaines et la plus dépendante des interactions interpersonnelles de l'ensemble du cycle de vie du développement des systèmes d'informations, dans la mesure où ses résultats dépendent entièrement de la qualité et de l'exhaustivité des connaissances partagées par les parties prenantes des acteurs qui n'ont aucune obligation formelle d'être francs, exhaustifs ou coopératifs.

La confiance n'est donc pas une variable périphérique dans le REP; elle en constitue une condition structurelle centrale. En l'absence d'un niveau de confiance suffisant entre les parties prenantes et les analystes, les activités d'éllicitation ne produisent que des exigences superficielles, filtrées par des considérations politiques et stratégiquement incomplètes un mode d'échec bien documenté qui contribue de manière significative au taux élevé d'échecs de projets liés aux exigences [37]. La présente section examine la manière dont la confiance opère au sein du REP : son rôle fondateur, ses manifestations propres à chaque phase, ses antécédents, les conséquences de sa rupture, ainsi que les stratégies disponibles pour son développement et sa réparation.

La confiance n'est pas une commodité sociale dans le cadre de l'éllicitation des exigences elle en constitue un prérequis structurel. L'exhaustivité, l'exactitude et l'utilité d'un ensemble d'exigences élicitées sont fonctionnellement délimitées par les niveaux de confiance existant entre les parties prenantes et les analystes des exigences à chaque phase du processus d'éllicitation.

3.4.1 Le rôle fondateur de la confiance dans l'éllicitation

L'élicitation des exigences est fondamentalement un problème de transfert de connaissances mais un problème dans lequel les connaissances à transférer sont souvent tacites, politiquement sensibles, fragmentées entre de multiples parties prenantes, et détenues par des acteurs susceptibles d'avoir des intérêts concurrents quant aux fonctions du système résultant [38]. La tâche de l'analyste consiste à naviguer dans ce paysage complexe et à produire une représentation cohérente, exacte et consensuelle des besoins.

La confiance permet de lever plusieurs des obstacles structurels qui rendent cette tâche difficile :

La confiance réduit le risque perçu de divulgation. Les parties prenantes qui ne font pas confiance à l'analyste limiteront rationnellement les informations qu'elles partagent à celles qui ne peuvent pas être utilisées contre elles. Elles omettront les exigences politiquement sensibles, dissimuleront les conflits avec leurs collègues et tairont leurs doutes quant à la faisabilité. La confiance en particulier la confiance fondée sur la bienveillance et l'intégrité réduit le risque perçu de divulgation et élargit l'espace informationnel auquel l'analyste a accès.

La confiance permet le transfert des connaissances tacites. Les connaissances tacites cette expertise métier que les parties prenantes « savent sans pouvoir aisément l'exprimer » ne peuvent être élicitées qu'à travers un dialogue étendu et médiatisé par la confiance. Elles ne peuvent être extraites par le seul recours à des questionnaires structurés ou à des entretiens formels. Les recherches en gestion des connaissances confirment que des relations à haute confiance constituent un prérequis au transfert des connaissances tacites, dans la mesure où les destinataires doivent avoir la conviction que le fournisseur de connaissances est à la fois disposé et compétent pour les partager avec exactitude [39].

La confiance facilite la reconnaissance de l'incertitude. Les parties prenantes qui ne font pas confiance à l'analyste présenteront leurs exigences comme plus certaines et plus complètes qu'elles ne le sont réellement, craignant que toute incertitude avouée soit interprétée comme une incompétence. La confiance en particulier la confiance fondée sur la bienveillance crée la sécurité psychologique nécessaire pour que les parties prenantes puissent dire « je ne sais pas », « je n'en suis pas certain », ou « cette exigence est peut-être en conflit avec les besoins d'une autre équipe » des aveux qui s'avèrent inestimables pour produire des spécifications exactes.

La confiance soutient la résolution constructive des conflits. L'élicitation des exigences fait inévitablement émerger des besoins conflictuels entre parties prenantes. La résolution de ces conflits exige que les parties s'engagent dans une négociation ouverte, ce qui présuppose une confiance mutuelle aussi bien envers l'analyste en tant que facilitateur neutre que la confiance horizontale entre pairs parties prenantes. En l'absence d'une confiance suffisante, les conflits sont étouffés plutôt que résolus, produisant des exigences superficiellement cohérentes qui dissimulent des désaccords non résolus.

Les études empiriques démontrent de manière constante que les facteurs liés à la confiance expliquent une proportion significative de la variance observée dans la qualité de l'élicitation. Les parties prenantes entretenant des relations de haute confiance avec l'analyste déclarent partager des informations plus complètes, soulever davantage de préoccupations et investir plus d'efforts dans les activités de

révision des exigences que leurs homologues évoluant dans des relations de faible confiance [34][35].

3.4.2 La confiance à travers les phases du REP

Le processus d'élicitation des exigences n'est pas une activité homogène ; il se déroule selon une séquence de phases, chacune imposant des exigences distinctes à la relation de confiance entre analystes et parties prenantes. Le Tableau 3.3 met en correspondance les principales phases du PEE avec les défis de confiance qu'elles génèrent, les dimensions de confiance les plus exposées, ainsi que les stratégies analytiques les mieux adaptées à chaque phase.

Tableau 3-3: La confiance dans REP: défis, dimensions et stratégies par phase. Source : adapté de Mayer et al. (1995) [28] ; Wang & Clegg (2002) [35] ; Burnay & Snoeck (2017) [34].

Phase	Défi de confiance principal	Dimensions exposées	Stratégies analytiques
Identification des parties prenantes	Identification incomplète due à l'exclusion politique de certains acteurs du processus formel.	Institutionnelle + Verticale	Cartographie des structures de pouvoir ; instauration de confiance verticale avec les promoteurs du projet.
Élicitation	Réticence des parties prenantes à partager les connaissances tacites ou politiquement sensibles.	Bienveillance + Intégrité	Écoute active ; garanties de confidentialité ; cadrage empathique ; sessions d'instauration de confiance.
Modélisation & documentation	Défiance envers les artefacts et notations ; risque de représentation inexacte des besoins.	Compétence + Institutionnelle	Revue de modélisation collaboratives ; synthèses en langage courant ; validation itérative par les parties.
Négociation & priorisation	Escalade des conflits due à une faible confiance horizontale entre parties prenantes.	Horizontale + Intégrité	Facilitation neutre ; critères de priorisation transparents ; rationalité des arbitrages documentés.
Validation & vérification	Approbation superficielle dissimulant des réserves non résolues par les parties prenantes.	Bienveillance + Verticale	Revue structurée ; canaux de retour anonymes ; cycles de révision itératifs.

c) Phase 1: Identification des parties prenantes

La phase initiale du REP consiste à identifier les acteurs ayant un intérêt légitime dans le système proposé. Elle est elle-même une activité dépendante de la confiance. Dans les organisations à structure hiérarchique, l'ensemble des parties prenantes formellement reconnues par les commanditaires du projet peut ne pas correspondre à l'ensemble complet des acteurs dont les

connaissances sont nécessaires à l'élaboration d'exigences exhaustives. Les parties prenantes marginalisées ou exclues pour des raisons politiques peuvent ainsi demeurer invisibles dans le processus formel.

L'instauration d'une confiance verticale avec les commanditaires seniors du projet constitue un prérequis à l'obtention d'un accès à la cartographie complète des parties prenantes. Sans cette confiance, les commanditaires peuvent délibérément ou par inadvertance filtrer l'accès de l'analyste aux parties prenantes dont les perspectives risqueraient de complexifier ou de remettre en question les exigences établies. La confiance institutionnelle envers la structure de gouvernance du projet influence également la perception que l'on a du processus d'identification : celui-ci sera perçu soit comme légitime et inclusif, soit comme un exercice de nature politique.

d) Phase 2 : Activités d'éllicitation

La phase d'éllicitation englobe les entretiens, les ateliers, les observations, le prototypage et l'analyse documentaire. Elle est celle où la confiance exerce son influence la plus directe et la plus mesurable sur la qualité des exigences. Cette phase exige des parties prenantes qu'elles investissent du temps, partagent des connaissances sensibles et s'engagent dans un dialogue réflexif sur leurs besoins des activités toutes modulées par la confiance.

Trois dynamiques de confiance sont particulièrement saillantes durant l'éllicitation :

Le déficit de confiance lors de la première rencontre. La confiance initiale entre un analyste et une partie prenante inconnue est invariablement faible. Les analystes doivent investir délibérément dans l'instauration précoce de la confiance en démontrant leur compétence, en manifestant un intérêt sincère pour les préoccupations des parties prenantes et en maintenant une confidentialité rigoureuse avant que l'éllicitation substantielle puisse produire des résultats de haute qualité.

Le paysage politique de la confiance. Dans le cadre d'une élicitation multi-parties prenantes, celles-ci observent si l'analyste semble privilégier certaines perspectives. Toute perception de partialité érode la confiance fondée sur la bienveillance et l'intégrité au sein du groupe, incitant les acteurs à retenir l'information ou à la formuler de manière stratégique.

Le cycle de confiance par rétroaction. Chaque session d'éllicitation renforce ou épuise la confiance des parties prenantes, selon que l'analyste démontre ou non que les informations partagées ont été comprises, respectées et fidèlement représentées. Les analystes qui restituent des synthèses des exigences et invitent à la correction consolident progressivement la confiance ; ceux qui ne le font pas peuvent constater que les sessions d'éllicitation ultérieures produisent des rendements décroissants.

e) Phase 3 : Modélisation et documentation

Une fois élicitées, les exigences doivent être modélisées et documentées dans des formats qui peuvent être peu familiers aux parties prenantes non techniques. La confiance, dans cette phase, se déplace de la confiance interpersonnelle envers l'analyste vers la confiance institutionnelle envers les artefacts produits modèles, diagrammes de cas d'utilisation, récits utilisateur ou spécifications formelles.

Les parties prenantes qui ne font pas confiance à ces artefacts parce qu'elles

ne savent pas les lire, ne comprennent pas la notation utilisée, ou ne sont pas certains qu'ils reflètent fidèlement leurs intentions se désengageront du processus de validation ou accorderont une approbation superficielle sans vérification réelle. Ces deux issues introduisent des erreurs systématiques dans la spécification des exigences. Les analystes doivent donc rendre le processus de modélisation lisible et participatif : les sessions de modélisation collaborative, les synthèses en langage courant accompagnant les notations formelles, et les cycles itératifs de révision par les parties prenantes sont essentiels pour instaurer une confiance envers les artefacts.

f) Phase 4 : Négociation et priorisation

La négociation des exigences processus par lequel les besoins conflictuels des parties prenantes sont hiérarchisés, arbitrés et résolus est une activité à haute intensité de confiance qui sollicite fortement à la fois la confiance horizontale entre parties prenantes et la confiance fondée sur l'intégrité envers l'analyste en tant que facilitateur. Lorsque la confiance horizontale est faible, les parties prenantes abordent la négociation comme une compétition à somme nulle plutôt que comme un exercice collaboratif de résolution de problèmes, ce qui conduit à des négociations de position et à une représentation stratégiquement inexacte des priorités.

Le rôle de l'analyste dans cette phase est de fonctionner comme un courtier neutre de confiance. Cela exige de démontrer qu'aucune préoccupation de partie prenante n'est systématiquement reléguée au second plan, que les critères de priorisation sont transparents et appliqués de manière cohérente, et que les décisions d'arbitrage sont documentées avec leur justification afin que les parties prenantes puissent constater que leurs contributions ont été équitablement prises en compte, même lorsqu'elles n'ont pas prévalu.

g) Phase 5 : Validation et vérification

La validation des exigences confirmation que les exigences documentées représentent fidèlement les besoins des parties prenantes constitue l'épreuve finale de confiance du processus d'élicitation. La validation superficielle, par laquelle les parties prenantes accordent une approbation de pure forme sans s'engager véritablement avec le document d'exigences, est un mode d'échec bien documenté directement imputable à une confiance insuffisante.

Les parties prenantes qui ne font pas confiance à la capacité de l'analyste à accueillir la critique de manière constructive réprimeront leurs réserves. Celles qui ne font pas confiance au processus de gouvernance valideront des exigences qu'elles doutent voir fidèlement mises en œuvre. Une validation efficace requiert donc non seulement une documentation compétente des exigences, mais aussi un environnement de confiance dans lequel les parties prenantes ont la conviction que leurs préoccupations seront prises au sérieux, suivies d'effet, et non utilisées contre elles dans les interactions organisationnelles ultérieures.

3.4.3 Les déterminants de la confiance dans REP

La confiance dans le processus d'élicitation des exigences n'émerge pas spontanément ; elle est le produit de conditions spécifiques des déterminants qui existent au sein de l'analyste, de la partie prenante, du contexte organisationnel et des artefacts produits. La compréhension de ces déterminants permet aux analystes et aux chefs de projet de concevoir des processus d'élicitation

structurellement propices au développement de la confiance.

Tableau 3-4: Déterminants de la confiance dans le processus d'éllicitation des exigences

Catégorie de déterminant	Facteurs spécifiques	Dimension influencée
Caractéristiques de l'analyste	Qualifications professionnelles ; connaissances du domaine ; clarté de la communication ; réactivité et disponibilité.	Confiance fondée sur la compétence
Comportements relationnels	Écoute empathique ; transparence ; respect des engagements ; garantie de confidentialité.	Bienveillance + Intégrité
Contexte organisationnel	Clarté de la gouvernance du projet ; soutien de la direction ; méthodologie d'IE définie ; dynamiques de pouvoir.	Institutionnelle + Verticale
Caractéristiques des parties prenantes	Expérience préalable en IE ; propension à la confiance ; rôle organisationnel ; contexte culturel.	Trois dimensions (rôle modérateur sur l'ensemble)
Confiance envers les artefacts et outils	Exactitude perçue des modèles ; familiarité avec les outils ; transparence des sorties produites.	Compétence + Institutionnelle

Caractéristiques de l'analyste. Les qualifications professionnelles, les connaissances du domaine et la clarté de la communication de l'analyste constituent le fondement principal de la confiance initiale fondée sur la compétence. La réactivité la rapidité et la qualité avec lesquelles l'analyste répond aux questions et aux préoccupations des parties prenantes est un signal particulièrement puissant de compétence et de bienveillance, dans la mesure où elle indique que l'analyste considère les préoccupations de la partie prenante comme importantes. Les recherches menées dans les contextes de services professionnels démontrent que la réactivité perçue est l'un des meilleurs prédicteurs d'une confiance client durable [34].

Comportements relationnels. La conduite interpersonnelle de l'analyste tout au long du PEE constitue le déterminant principal de la confiance fondée sur la bienveillance et l'intégrité. L'écoute active et empathique consistant non pas simplement à enregistrer ce que disent les parties prenantes, mais à démontrer une compréhension et un intérêt sincères signale la bienveillance. La transparence dans la communication des contraintes, des arbitrages et des incertitudes signale l'intégrité. La confidentialité rigoureuse en particulier dans les contextes multi-parties prenantes où la divulgation d'une partie prenante pourrait nuire à ses relations avec une autre constitue un prérequis à une

confiance durable.

Contexte organisationnel. L'environnement organisationnel dans lequel se déroule le REP impose des contraintes structurelles au développement de la confiance. Une gouvernance de projet floue, une autorité ambiguë de l'analyste, et des décalages manifestes entre le discours managérial et l'allocation effective des ressources du projet sapent tous la confiance institutionnelle d'une manière que le comportement individuel de l'analyste ne peut pas pleinement compenser. Lorsque les conditions organisationnelles sont sévèrement hostiles à la confiance, les ingénieurs des exigences peuvent être amenés à escalader les préoccupations de gouvernance avant que l'élicitation puisse se dérouler de manière productive.

Caractéristiques des parties prenantes. L'expérience préalable des parties prenantes avec les processus d'IE, leur propension générale à faire confiance, leurs rôles organisationnels et leurs contextes culturels modèrent tous la rapidité et la base sur lesquelles elles développent leur confiance envers l'analyste. Les parties prenantes ayant vécu des expériences négatives antérieures avec l'IE peuvent débiter avec un déficit de confiance qui nécessite une remédiation délibérée. La variation culturelle dans les normes de confiance — en particulier la distinction entre les cultures à contexte élevé, qui construisent la confiance par la relation avant les affaires, et les cultures à faible contexte, qui accordent plus facilement une confiance initiale exige que les analystes adaptent leurs approches en conséquence.

Confiance envers les artefacts et les outils. La confiance dans les résultats du processus d'élicitation documents d'exigences, modèles, matrices de traçabilité constitue elle-même un déterminant de la confiance pour les phases ultérieures. Les parties prenantes qui se méfient de l'exactitude ou de la lisibilité des artefacts d'exigences seront réticentes à les valider de manière authentique, créant un déficit de confiance entre les phases d'élicitation et de validation susceptible de persister jusqu'à la mise en œuvre.

3.4.4 Les ruptures de confiance et leur réparation dans le REP

Les ruptures de confiance enfreignent les attentes des parties prenantes à l'égard de la compétence, de la bienveillance ou de l'intégrité de l'analyste. Elles constituent un risque inévitable dans le REP, compte tenu de la complexité des environnements multi-parties prenantes, de la sensibilité politique des décisions relatives aux exigences, et de l'ambiguïté inhérente au processus d'élicitation. La compréhension de la typologie des ruptures de confiance et des mécanismes disponibles pour leur réparation constitue donc une composante essentielle de la pratique de l'ingénierie des exigences.

*Tableau 3-5 : Typologie des ruptures de confiance dans le REP : manifestations, conséquences
et stratégies de réparation*

Type de rupture	Manifestation dans le REP	Conséquences	Stratégies de réparation
Rupture de compétence	Incompréhension du domaine par l'analyste ; modèles entachés d'erreurs systématiques.	Désengagement des parties prenantes ; alourdissement de la charge de validation.	Reconnaissance de l'erreur ; recours à un expert du domaine ; reconstruction par petites réussites.
Rupture d'intégrité	Non-respect des engagements ; divulgation d'informations confidentielles ; incohérence des comportements.	Effondrement rapide, souvent irréversible, de la confiance ; escalade au niveau hiérarchique du projet.	Excuses explicites ; refonte systémique des processus ; médiation par un tiers neutre.
Défaillance de bienveillance	Perception que l'analyste sert ses propres intérêts ou ceux de la direction plutôt que ceux des parties.	Rétention d'information ; engagement superficiel des parties prenantes.	Redéfinition du rôle ; démonstration de la défense des intérêts des parties ; réajustement des objectifs.
Défaillance institutionnelle	Processus REP opaque ; gouvernance défailante ; engagements organisationnels non honorés.	Perte de confiance envers le processus REP lui-même ; retrait des parties prenantes.	Réforme de la gouvernance ; communication transparente des contraintes.

Nature des ruptures de confiance. Les recherches portant sur les ruptures et la réparation de la confiance [8][35] mettent en évidence une asymétrie fondamentale : les ruptures de confiance sont traitées de manière plus intense et plus durable que les événements confirmant la confiance. Une seule rupture saillante peut réduire à néant des semaines d'instauration de confiance, en particulier lorsqu'elle concerne l'intégrité la dimension la plus étroitement liée aux attentes fondamentales du *trustor* quant à l'honnêteté du *trustee*. Les ruptures de compétence, bien que préjudiciables, sont généralement plus réparables que les ruptures d'intégrité, dans la mesure où elles ne remettent pas en question le caractère fondamental ou les intentions du *trustee*.

Mécanismes de réparation de la confiance. Les recherches sur la réparation de la confiance organisationnelle identifient plusieurs mécanismes applicables au contexte du REP. Les explications verbales reconnaissances de la rupture, explications de ses causes et excuses sont nécessaires mais rarement suffisantes pour les ruptures d'intégrité. La remédiation structurelle modifications du processus, de la structure de gouvernance ou du rôle de l'analyste visant à prévenir toute récurrence est généralement requise pour la réparation de la confiance institutionnelle. Pour les ruptures de compétence, l'amélioration démontrée à travers des performances ultérieures réussies

constitue le mécanisme de réparation le plus efficace. Lorsque les ruptures ont engendré une méfiance profonde au sein des groupes de parties prenantes, une médiation par un tiers peut s'avérer nécessaire avant que l'éllicitation puisse reprendre de manière productive.

La prévention comme stratégie principale. Compte tenu de l'asymétrie entre la construction et la destruction de la confiance, la prévention des ruptures est systématiquement préférable à leur réparation. Les analystes devraient identifier de manière proactive les risques de rupture de confiance au début de chaque phase du REP en particulier dans les environnements multi-parties prenantes politiquement complexes et mettre en œuvre des dispositifs de protection structurels : accords de confidentialité explicites, définitions claires des frontières des rôles, protocoles d'éllicitation documentés, et mécanismes réguliers de retour d'information des parties prenantes. Une gestion proactive des risques de rupture de confiance transforme la confiance, d'une variable relationnelle volatile, en un paramètre de processus maîtrisable.

3.4.5 Stratégies de développement de la confiance pour les analystes des exigences

S'appuyant sur les fondements théoriques établis dans les sections 3.1 et 3.2 et sur l'analyse spécifique à chaque phase dans les sections 3.3.2 à 3.3.4, la présente section synthétise un ensemble de stratégies de développement de la confiance fondées sur des données probantes, à destination des analystes des exigences. Ces stratégies sont organisées selon la dimension de confiance qu'elles visent principalement.

3.4.5.1. Développer la confiance fondée sur la compétence

Démontrer un engagement envers le domaine. Étudier le domaine métier de la partie prenante avant les premières réunions. Utiliser avec précision le vocabulaire spécifique au domaine, se référer aux normes sectorielles pertinentes et témoigner d'une connaissance du contexte organisationnel. Les signaux de compétence lors de la première rencontre sont particulièrement déterminants, car ils façonnent le niveau de confiance de référence à partir duquel la relation se développe.

Fournir des explications transparentes sur le processus. Expliquer la méthodologie d'IE, l'objectif de chaque activité d'éllicitation et les résultats attendus en des termes clairs et accessibles. Les parties prenantes qui comprennent ce que fait l'analyste et pourquoi sont davantage susceptibles de percevoir le processus comme professionnellement rigoureux et de s'y engager de manière productive.

Honorer d'abord les petits engagements. La confiance fondée sur la compétence se développe de manière cumulative à travers les performances démontrées. Les analystes devraient identifier des opportunités précoces et à faible risque de démontrer leur fiabilité remettre un compte rendu de réunion dans les délais, représenter fidèlement la préoccupation d'une partie prenante dans un projet de travail avant d'aborder les décisions relatives aux exigences à forts enjeux.

3.4.5.2. Développer la confiance fondée sur la bienveillance

Pratiquer une écoute active et empathique. Aller au-delà du simple enregistrement de ce que disent les parties prenantes, afin de démontrer une compréhension de leurs préoccupations sous-jacentes, de leurs priorités et de leurs contraintes. Des techniques telles que l'écoute réflexive, les exercices de prise de perspective et la cartographie du parcours des parties prenantes signalent un intérêt sincère pour leur expérience, plutôt qu'une simple extraction de données.

Défendre visiblement les préoccupations des parties prenantes. Lorsque les priorités des parties prenantes entrent en conflit avec les directives managériales ou les contraintes techniques, les analystes devraient être transparents quant à cette tension et démontrer une défense active du point de vue de la partie prenante, dans les limites de leur rôle professionnel. Les parties prenantes qui voient les analystes plaider en faveur de leurs préoccupations même sans succès développent une confiance fondée sur la bienveillance substantiellement plus élevée que celles dont les préoccupations sont simplement enregistrées et ignorées.

Établir et maintenir des accords de confidentialité. Des engagements formels de confidentialité documentés, expliqués et systématiquement respectés offrent une garantie structurelle qui réduit le risque perçu de divulgation. Dans les environnements multi-parties prenantes, des accords explicites sur les informations qui seront ou non partagées entre les différents groupes de parties prenantes sont indispensables.

3.4.5.3. Développer la confiance fondée sur l'intégrité

Maintenir la cohérence entre les paroles et les actes. Tout engagement pris au cours du REP aussi minime soit-il doit être tenu. Les analystes qui prennent systématiquement des engagements excessifs qu'ils ne respectent pas érodent rapidement la confiance fondée sur l'intégrité. L'implication pratique est que les analystes devraient plutôt s'engager en deçà de leurs capacités en ne prenant que des engagements qu'ils sont certains de pouvoir tenir plutôt que de gérer les attentes des parties prenantes par des projections optimistes qui ne peuvent être maintenues.

Communiquer de manière proactive sur les contraintes et les manquements. Lorsque des engagements ne peuvent être tenus, une communication proactive avant la date de livraison prévue, avec une explication claire de la cause et un plan révisé préserve davantage la confiance fondée sur l'intégrité qu'une excuse a posteriori. Les parties prenantes distinguent les analystes qui les mettent en défaut sans avertissement de ceux qui le font de manière transparente ; ces derniers causent des dommages bien moindres à la relation de confiance.

Documenter les décisions et leur justification de manière transparente. Les décisions relatives aux exigences en particulier les arbitrages et les décisions de priorisation devraient être documentées avec leur justification, attribuées avec exactitude et mises à la disposition des parties prenantes concernées. Une documentation transparente crée une piste d'audit qui démontre une prise de décision cohérente et fondée sur des principes, et fournit aux parties prenantes des éléments probants à partir desquels évaluer l'intégrité de l'analyste au fil du

temps.

3.4.6 Confiance et médiation numérique dans le REP

La prévalence croissante des environnements de développement distribués, des outils de collaboration à distance et des systèmes de gestion des exigences assistés par intelligence artificielle soulève d'importantes questions quant à la manière dont les dynamiques de confiance dans le REP sont affectées lorsque l'interaction en face à face est remplacée ou complétée par une médiation numérique.

Les recherches sur la communication médiatisée par ordinateur démontrent de manière constante que la confiance se développe plus lentement dans les contextes distants et médiatisés par la technologie que dans les contextes en présentiel [26]. Les signaux sociaux expression faciale, langage corporel, tonalité vocale, coprésence physique qui soutiennent la formation rapide de la confiance lors de l'élicitation en face à face sont atténués ou absents dans la communication vidéo et la communication numérique asynchrone. Les analystes travaillant dans des contextes d'élicitation à distance ou hybrides doivent donc investir de manière délibérée et systématique dans des activités d'instauration de la confiance qui compensent la richesse réduite du canal de communication.

Les outils d'aide aux exigences assistés par intelligence artificielle introduisent une couche supplémentaire de complexité dans la confiance. Lorsque des systèmes d'apprentissage automatique sont utilisés pour analyser les entretiens avec les parties prenantes, extraire des exigences à partir de documents ou générer des suggestions d'exigences, les parties prenantes doivent décider de faire confiance ou non aux résultats de ces systèmes une décision qui implique non seulement une confiance institutionnelle envers la technologie, mais également une confiance fondée sur la compétence envers l'analyste qui la déploie et en interprète les résultats. Les ingénieurs des exigences utilisant des outils assistés par intelligence artificielle ont l'obligation professionnelle d'expliquer le fondement des résultats générés par l'IA, d'en reconnaître les limites et de maintenir une responsabilité humaine pour toutes les décisions relatives aux exigences. Ne pas le faire risque de compromettre à la fois l'exactitude des exigences et l'intégrité de la relation de confiance avec les parties prenantes.

À mesure que les outils d'élicitation assistés par intelligence artificielle se multiplient, une lacune critique de la recherche concerne les dynamiques de confiance entre les parties prenantes, les analystes et les systèmes d'IA dans le REP. Comprendre comment les parties prenantes calibrent leur confiance envers les exigences générées par l'IA et comment les analystes peuvent communiquer efficacement l'incertitude de l'IA représente un domaine prioritaire pour les investigations empiriques futures.

3.5 Méthodologies de mesure de la confiance

La mesure de la confiance dans les contextes professionnels présente des défis méthodologiques significatifs. La confiance est un construit latent non directement observable qui doit être inféré à partir de données autodéclarées, de comportements observables ou de modèles computationnels. Les approches existantes se répartissent en quatre grandes catégories.

Tableau 3-6 Méthodologies de mesure de la confiance dans les contextes professionnels : forces et limite

Méthodologie	Forces	Limites
01 Instruments fondés sur des questionnaires <i>(Survey-based)</i>	Échelles validées et reproductibles ; couverture des trois dimensions de la confiance.	Biais autodéclaratif ; incapacité à capturer les dynamiques en temps réel.
02 Mesures comportementales <i>(Behavioural measures)</i>	Objectivité accrue ; ancrées dans des actions directement observables.	Intensives en ressources ; influencées par des facteurs contextuels non liés à la confiance.
03 Approches expérimentales <i>(Experimental design)</i>	Conditions contrôlées ; isolation rigoureuse de la propension à la confiance.	Faible validité écologique pour les contextes organisationnels complexes.
04 Modèles computationnels <i>(Computational models)</i>	Extensibles à grande échelle ; traitement de larges volumes de données d'interaction.	Risque d'omission des signaux de confiance humains subtils et implicites.

Instruments fondés sur des questionnaires. Les questionnaires validés mesurent les dimensions de la confiance à travers des échelles de Likert multi-items. Les instruments dérivés de l'échelle de confiance de Mayer et al. (1995) [28] fournissent des mesures fiables de la confiance fondée sur la compétence, la bienveillance et l'intégrité. Toutefois, les instruments d'enquête souffrent d'un biais autodéclaratif et sont généralement administrés à un moment unique dans le temps, ce qui limite leur capacité à saisir l'évolution de la confiance à travers les différentes phases d'un REP.

Mesures comportementales. Les techniques d'observation et d'archivage infèrent la confiance à partir d'indicateurs comportementaux schémas de partage de l'information, intensité de la collaboration, comportements d'aide volontaire et approches de résolution des conflits. Bien que plus objectives que les instruments autodéclaratifs, elles nécessitent une observation extensive et peuvent être confondues par des facteurs situationnels sans lien avec la confiance.

Approches expérimentales. Les études en laboratoire recourant à des scénarios issus de la théorie des jeux offrent des environnements contrôlés pour mesurer la propension à la confiance. Ces approches permettent une inférence causale, mais souffrent d'une faible validité écologique : les résultats peuvent ne pas se généraliser aux environnements complexes, ambigus et politiquement chargés des activités réelles du REP.

Modèles computationnels. Les approches algorithmiques évaluent la confiance à partir des schémas d'interaction, des dynamiques des réseaux de communication et des artefacts de communication numérique. Elles permettent une évaluation longitudinale à grande échelle sans imposer de contraintes sur le

temps des participants. Elles risquent cependant de négliger les signaux de confiance humains subtils qui ne sont pas capturés dans les traces numériques.

Malgré la disponibilité de méthodologies de mesure diversifiées, des lacunes significatives subsistent dans les approches pratiques de mesure de la confiance spécifiquement conçues pour les contextes d'ingénierie des exigences. Les instruments existants n'ont pas été adaptés aux dynamiques propres aux projets d'IE multi-parties prenantes, et peu d'études longitudinales ont suivi l'évolution de la confiance sur l'ensemble du cycle de vie de l'IE.

3.6 Formalisation de la confiance

La notion de confiance occupe une place centrale dans les systèmes de décision distribués, les réseaux sociotechniques et les architectures multi-agents. Si la définition intuitive du trust fait appel à des concepts psychologiques et sociologiques bien établis, sa transposition dans des systèmes computationnels exige une rigueur mathématique permettant de le mesurer, de le quantifier et de le modéliser de manière reproductible. Cho, Chan et Adali (2015) soulignent dans leur survey fondateur que « *prior work has not clearly solved the issue of how to model and quantify trust with sufficient detail and context-based adequateness* », soulignant ainsi le besoin impératif d'un cadre formel unifié.

3.6.1 La Notation Formelle de Base : $T(i, j, \alpha)$

La notation canonique du trust, introduite par Marsh (1994) et reprise intégralement dans Cho et al. (2015), est exprimée sous la forme :

$$T(i, j, \alpha) \quad (3-1)$$

où i désigne le trustor (entité évaluatrice), j le trustee (entité évaluée), et α la situation ou le contexte spécifique dans lequel s'évalue la confiance. Cette notation tripartite est essentielle : elle affirme que le trust n'est pas une propriété intrinsèque d'une entité mais une relation contextualisée entre deux entités. Marsh (1994) définit $T(i, j, \alpha)$ comme un nombre réel appartenant à l'intervalle $[-1, +1]$, où :

- $T = 0$ correspond à l'ignorance complète ou à l'ambiguïté maximale ;
- $T > 0$ indique une croyance positive dans la fiabilité du trustee ;
- $T < 0$ correspond à la méfiance (distrust) active.

Castelfranchi (2009) généralise cette formulation pour inclure les propriétés internes et externes du trustor, définissant le core trust comme :

$$CoreTrust(i, j, \phi) := \bigwedge_{\alpha \in A} CoreTrust(i, j, \alpha, \phi) \quad (3-2)$$

Cette formule se lit : « l'entité i fait confiance à l'entité j pour atteindre l'objectif ϕ par les actions α , si et seulement si il existe des actions α appartenant à l'ensemble A à travers lesquelles i peut agir envers j . » L'introduction du goal ϕ enrichit le modèle en précisant l'intentionnalité téléologique du trust.

3.6.2 Formalisations Mathématiques des Dimensions du Trust

3.6.2.1. Dimensions Logiques

3.6.2.1.1. *L'Inférence Bayésienne*

L'inférence bayésienne est l'une des approches les plus utilisées pour l'estimation quantitative du trust. En supposant que les preuves d'interactions positives et négatives suivent une distribution bêta, la densité de probabilité s'écrit :

$$\beta(r;a,b) = \frac{r^{a-1}(1-r)^{b-1}}{\int_0^1 r^{a-1}(1-r)^{b-1}dr}, \quad 0 \leq r \leq 1 \quad (3-3)$$

où a représente le nombre d'interactions positives (preuves en faveur du trustee) et b le nombre d'interactions négatives. La valeur de trust est estimée par la moyenne de cette distribution :

$$T = \frac{a}{a+b} \quad (3-4)$$

Cette formulation est particulièrement adaptée aux environnements dynamiques où les preuves s'accumulent itérativement, permettant une mise à jour continue du niveau de trust.

3.6.2.1.2. *La Logique Subjective*

Jøsang (1999, 2001) fonde la logique subjective sur la théorie de Dempster-Shafer (DST) pour modéliser l'opinion d'un agent sous trois paramètres complémentaires :

$$b + d + u = 1 \quad (3-5)$$

où b est le degré de croyance (belief), d le degré d'incrédulité (disbelief) et u l'incertitude (uncertainty). L'opinion est notée $w_x = (b_x, d_x, u_x, a_x)$, avec a_x comme taux de base (prior). La probabilité attendue est calculée comme :

$$E(w_x) = b_x + a_x \cdot u_x \quad (3-6)$$

Quant à la représentation de l'incertitude au sein de la logique subjective, elle est définie par :

$$u_x = 1 - b_x - d_x \quad (3.7)$$

3.6.2.1.3. *Confiance Basée sur la Certitude (Entropy de Shannon)*

Sun et al. (2006) proposent une mesure de trust fondée sur l'entropie de Shannon, traitant la confiance comme l'inverse de l'incertitude. Si $P(A : i, \varphi)$ est la probabilité que l'agent i réalise l'action φ selon le sujet A , et $H(p)$ l'entropie associée :

$$H(p) = -p * \log_2(p) - (1-p) * \log_2(1-p) \quad (3.8)$$

$$T(A : i, \varphi) = 1 - H(p) \text{ if } 0.5 < p \leq 1 \quad (3.9)$$

$$T(A : i, \varphi) = H(p) - 1, 0 \leq p \leq 0.5 \quad (3.10)$$

Cette approche est particulièrement adaptée aux réseaux ad hoc et aux systèmes distribués où la probabilité comportementale peut être estimée empiriquement.

3.6.2.1.4. *Compétence Perçue*

La compétence est l'un des facteurs centraux du trust dans le modèle de Mayer et al. (1995), fondement cognitif adopté également dans notre framework SECI-Trust. Marsh (1994) distingue trois états de connaissance sur la compétence d'un trustee. Dans le cas général (trustee connu dans des situations similaires), la compétence perçue est :

$$Perceived_{comp} competence(i,j,\alpha) = (1/|A|) * \sum_{\alpha \in A} Experienced_{comp} competence(i,j,\alpha)_t \quad (3.11)$$

Dans le cas où le trustee est connu mais dans d'autres situations $\beta \neq \alpha$:

$$Perceived_{comp} competence(i,j,\alpha) = [(1/|B|) * \sum_{\beta \in B} Experienced_{comp} competence(i,j,\beta)]_t * T_{tr} ar(i,j) \quad (3.12)$$

Ces formules permettent de transférer partiellement l'expérience accumulée dans d'autres contextes, tout en pondérant par le niveau général de confiance établi entre les deux entités.

3.6.2.1.5. *Récence (Recency)*

La fraîcheur des interactions est un facteur déterminant dans la mise à jour du trust. Huynh et al. (2006) proposent une fonction de récence exponentielle :

$$Recency(t_k, t) = \exp(-(t - t_k) / \lambda) \quad (3.13)$$

où t_k est le moment d'enregistrement de la preuve k , t le temps courant, et λ un paramètre d'échelle. Cette formule traduit la décroissance naturelle de la pertinence des informations anciennes dans l'évaluation de la confiance.

De manière plus générale, Jøsang et al. (2006) modélisent la décroissance temporelle du trust par :

$$T(i,j,t) = \lambda^{(t - t_r)} * T(i,j,t_r), 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (3.14)$$

où t_r est le moment auquel la notation de trust a été collectée. Ce modèle de

décroissance est fondamental pour les systèmes où la confiance doit refléter l'état actuel des relations plutôt que leur historique figé.

3.6.2.2. Dimensions Émotionnels

3.6.2.2.1. *L'Espoir et la Crainte*

Castelfranchi & Falcone (2010) formalisent les dimensions émotionnelles du trust à travers les concepts d'espoir (hope) et de crainte (fear), en tant qu'expressions d'attentes positives ou négatives sous incertitude :

$$Hope_i^p = B_i^{t1}(p_{t2, True})^{low} \wedge G_i^{[t1, t3]}(p_{t2, True})^{high} \quad (3.15)$$

$$Fear_i^p = B_i^{t1}(p_{t2, True}) \text{AND} G_i^{[t1, t3]}(p_{t2, False}) \quad (3.16)$$

où B_i^{t1} représente la croyance de l'entité i au temps $t1$ sur la proposition p au temps $t2$, et $G_i^{[t1, t3]}$ le but de l'entité i sur cette proposition pour la période $[t1, t3]$.

3.6.2.2.2. *La Disposition de l'Agent*

Marsh (1994) formalise l'impact de la disposition psychologique du trustor (optimiste, pessimiste, réaliste) sur son évaluation de la confiance :

$$T(i, j, \alpha) = T_{bar}(i, j) * U(i, j, \alpha) * M(i, \alpha) \quad (3.17)$$

Selon la disposition de l'agent, $T_{bar}(i, j)$ prend les valeurs suivantes :

$$T_{realism}(i, j) = (1 / |A|) * \sum_{\alpha \in A} T(i, j, \alpha) \quad (3.18)$$

$$T_{optimism}(i, j) = \max_{\alpha \in A} T(i, j, \alpha) \quad (3.19)$$

$$T_{pessimism}(i, j) = \min_{\alpha \in A} T(i, j, \alpha) \quad (3.20)$$

Ces trois formules modélisent des stratégies cognitives distinctes : le réaliste agrège toutes les expériences passées, l'optimiste retient les expériences les plus favorables, et le pessimiste les plus défavorables. Cette distinction est particulièrement pertinente pour les systèmes multi-agents où les hétérogénéités cognitives influencent directement la dynamique collaborative.

3.6.2.2.3. *Le Regret*

La dimension du regret, souvent négligée dans les modèles computationnels, est formalisée par Marsh & Briggs (2009) comme :

$$Regret(i, j, \alpha) = [U(i, j, \alpha) - U(i, j, \bar{\alpha})] * f(\kappa, \lambda, \mu) \quad (3.21)$$

où $U(i, j, \alpha)$ représente le gain espéré et $U(i, j, \bar{\alpha})$ le gain effectivement obtenu. La fonction $f(\kappa, \lambda, \mu)$ intègre la signification personnelle de la situation à travers trois paramètres : κ (ce qui a été perdu), λ (ce que cela signifie) et μ (ce que cela ressent). Cette formule joue un rôle dans les boucles de rétroaction de l'évaluation du trust, le regret contribuant à la révision des croyances.

3.6.2.3. Dimensions Relationnels

3.6.2.3.1. La Similarité

La similarité est un facteur relationnel clé pour le trust dans les réseaux sociaux et les systèmes de recommandation. Basée sur le coefficient de corrélation de Pearson entre deux utilisateurs α et β :

$$Similarity_{rating}(\alpha, \beta) = \frac{\sum_i [(r_{\alpha}^i - r_{\alpha}^-)(r_{\beta}^i - r_{\beta}^-)]}{\sqrt{[\sum_i (r_{\alpha}^i - r_{\alpha}^-)^2] * [\sum_i (r_{\beta}^i - r_{\beta}^-)^2]}} \quad (3.22)$$

Dans les réseaux à topologie explicite, la similarité de voisinage est mesurée par l'intersection des voisins communs :

$$Similarity_{neighborhood}(i, j) = |N(i) \cap N(j)| \quad (3.23)$$

3.6.2.3.2. La Centralité

Le degré de centralité (influence) d'une entité dans un réseau est un indicateur de son importance sociale pour la propagation du trust. Freeman (1977) définit la centralité de degré comme :

$$Centralité_{Freeman}(p_i) = \sum_{k \in K} a(p_i, p_k) \quad (3.24)$$

La centralité d'intermédiation (betweenness), qui mesure le contrôle d'une entité sur les flux d'information, est définie par Newman (2005) comme :

$$Centralité_{betweenness}(p_i) = \frac{\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} g_{j,k}(p_i)}{g_{j,k}} \quad (3.25)$$

où $g_{\{j,k\}}$ est le nombre total de chemins géodésiques reliant p_j et p_k , et $g_{\{j,k\}}(p_i)$ le nombre de ces chemins passant par p_i .

3.6.3 Le Trust Composite : Un Modèle en Quatre Couches

La contribution théorique majeure de Cho et al. (2015) réside dans la conceptualisation du trust composite, qui intègre quatre dimensions interdépendantes issues de la nature complexe des réseaux contemporains. Ce modèle multicouche reconnaît que le trust d'une entité envers une autre ne peut être capturé par une seule dimension, mais émerge de l'interaction de quatre types de trust :

Tableau 3-7 : Tableau synthétisé d'après Cho et al. (2015)

Dimension	Domaine	Facteurs Mathématiques Principaux
Communication Trust	Réseaux de communication (QoS)	Coopération, compétence, fréquence, disponibilité, fiabilité
Information Trust	Réseaux d'information (QoI)	Incertitude, croyance, récence, expérience, pertinence, crédibilité, complétude
Social Trust	Réseaux sociaux	Similarité, centralité, importance,

	(interactions)	intégrité, honnêteté
Cognitive Trust	Processus cognitifs	Espoir, crainte, disposition, regret, rationalité

Muir (1994) formalise ce trust composite dans le contexte de la supervision humain-machine par :

$$T_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3 + \beta_6 X_2 X_3 + \beta_7 X_1 X_2 X_3 \quad (3.26)$$

où X_1 représente la persistance (persistence), X_2 la compétence technique (technical competence) et X_3 la responsabilité fiduciaire (fiduciary responsibility). Les termes d'interaction ($\beta_4 X_1 X_2$, $\beta_5 X_1 X_3$, etc.) capturent les effets multiplicatifs entre dimensions, traduisant l'interdépendance fondamentale des composantes du trust.

Cette formule est étendue par la définition intégrale du trust proposée par Muir (1994) :

$$Trust = Predictability + Dependability + Faith + Competence + Responsibility + Reliability$$

3.6.4 Propriétés Formelles des Modèles de Trust

Cho et al. (2015) identifient cinq propriétés fondamentales que tout modèle de trust rigoureux doit préserver. Ces propriétés ne sont pas de simples caractéristiques descriptives : elles contraignent la structure mathématique des formalisations admissibles.

Tableau 3-8: Tableau synthétisé d'après Cho et al. (2015).

Propriété	Description Formelle	Implication pour la Modélisation
Subjectivité	$T(i,j,\alpha) \neq T_objectif$; estimation locale sous incertitude	Nécessité de modèles probabilistes (bayésiens, flous) plutôt que déterministes
Dynamacité	$T(i,j,t) = f(T(i,j,t_r), \lambda, t)$ décroissance temporelle (Éq. 2.18)	Mise à jour continue ; les preuves anciennes doivent être pondérées par la récence
Asymétrie	$T(i,j,\alpha) \neq T(j,i,\alpha)$ en général	Modélisation dirigée (graphe orienté) ; asymétrie de pouvoir, culture, ressources
Transitivité incomplète	$T(x,y) > T(y,w) \not\Rightarrow T(x,y) > T(x,w)$	Dilution du trust dans les chaînes de recommandation ; contraintes sémantiques nécessaires
Dépendance contextuelle	$T(i,j,\alpha_1) \neq T(i,j,\alpha_2)$ pour $\alpha_1 \neq \alpha_2$	Spécialisation des modèles par domaine (médical, réseau, organisationnel)

La transitivité incomplète mérite une attention particulière. Marsh (1994) démontre que si la transitivité peut tenir dans certaines relations ordonnées :

$$T(x,y) > T(x,z) \wedge T(x,z) > T(x,w) \Rightarrow T(x,y) > T(x,w) \quad (3.27)$$

cette propriété ne se généralise pas aux triples asymétriques :

$$T(x,y) > T(y,w) \not\Rightarrow T(x,y) > T(x,w) \quad (3.28)$$

Cette non-transitivité justifie l'usage de mécanismes de « trust référentiel » et de « trust fonctionnel » proposés par Jøsang (2003, 2005) pour encadrer la propagation de la confiance dans les chaînes de recommandation.

Les formalisations mathématiques du trust présentées dans ce chapitre révèlent la richesse et la complexité de ce construit multidimensionnel. Le tableau suivant synthétise les principales familles de formalisations, leurs auteurs de référence et leurs domaines d'application privilégiés :

Tableau 3-9: Principales familles de formalisation, auteurs de référence et domaines d'application

Famille de Formalisation	Auteurs Clés	Formule Représentative	Application Principale
Inférence bayésienne	Zouridaki et al. (2005)	$T = a/(a+b)$	Réseaux ad hoc, P2P
Logique subjective	Jøsang (1999, 2001)	$w_x = (b, d, u, a) ; E(w)=b+au$	Fusion d'information, web sémantique
Entropie de Shannon	Sun et al. (2006)	$T = 1-H(p)$ si $p>0.5$	Réseaux de capteurs, IoT
Compétence perçue	Marsh (1994)	$PC(i,j,\alpha) = \text{moyenne des } EC(i,j,\alpha)_t$	Systèmes multi-agents
Décroissance temporelle	Jøsang et al. (2006)	$T(t) = \lambda^{(t-t_r)} \cdot T(t_r)$	Tous domaines dynamiques
Trust composite (SEM)	Cho et al. (2015) / SECI-Trust	$\eta_Q = 0.72 \cdot \eta_T + 0.45 \cdot \eta_{SECI} + \zeta$	Gestion des exigences, REP
Trust multi-composante	Muir (1994)	$T = \text{Pred} + \text{Dep} + \text{Faith} + \text{Comp} + \text{Resp} + \text{Rel}$	Automation, HCI

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une revue approfondie de la confiance telle qu'elle s'applique à l'ingénierie des exigences, couvrant les fondements théoriques, les extensions spécifiques à l'ingénierie et les approches de mesure empirique. Il en ressort que la confiance est un construit multidimensionnel articulé autour de la bienveillance, de la compétence et de l'intégrité dont chaque dimension contribue de façon distinctive à l'engagement des parties prenantes dans les activités d'IE. Dynamique et sensible au contexte, la confiance évolue dans le temps à travers l'accumulation d'expériences positives, indépendamment de tout changement objectif du *trustee*. Les configurations de confiance organisationnelle verticale, horizontale et institutionnelle façonnent la qualité

des informations partagées, la disposition des parties prenantes à remettre en question des exigences problématiques et l'efficacité du développement collaboratif. Dans les environnements sociotechniques d'IE, la confiance s'étend au-delà des personnes pour englober les composants logiciels, les ressources de données, les méthodologies et les structures de gouvernance autant d'entités que les ingénieurs des exigences doivent reconnaître et gérer explicitement. La mesure de la confiance demeure un défi ouvert : les méthodologies existantes offrent des éclairages partiels, mais aucune n'a été systématiquement adaptée aux conditions spécifiques des projets d'IE multi-parties prenantes. Les formalisations mathématiques du trust présentées dans ce chapitre révèlent la richesse et la complexité de ce construit multidimensionnel. L'examen de ces formalisations met en évidence plusieurs tensions constitutives de la modélisation mathématique du trust : la tension entre la généralité (modèles universels) et la spécificité contextuelle (modèles adaptés à chaque domaine) ; entre la traçabilité computationnelle (modèles calculables) et la richesse sémantique (modèles cognitifs) ; et entre la stabilité de la mesure (trust comme état) et sa dynamique intrinsèque (trust comme processus). Ces tensions ne sont pas des imperfections des modèles existants : elles reflètent la nature profondément complexe et multidimensionnelle du trust lui-même.

Dans la perspective adoptée par ce travail de thèse l'application du trust à l'amélioration de la qualité des processus d'éllicitation des exigences dans le cadre SECI c'est la formalisation cognitive tridimensionnelle de Mayer et al. (1995) qui s'avère la plus adaptée, en ce qu'elle capture précisément les dimensions pertinentes pour les interactions humaines dans les contextes collaboratifs de production de connaissances. Enfin, la formalisation de la confiance à travers des représentations logiques, probabilistes ou ontologiques représente une voie de recherche prometteuse, susceptible d'intégrer la confiance comme paramètre explicite et vérifiable dans la conception des systèmes sociotechniques, constituant ainsi une direction prioritaire à l'intersection de l'ingénierie des exigences formelle et de la théorie de la confiance.

Le chapitre suivant s'intéresse au management de la connaissance dans le contexte du REP, en examinant comment les processus d'acquisition, de partage et de capitalisation des connaissances interagissent avec les dynamiques de confiance étudiées dans ce chapitre.

4. Management de la Connaissance dans le Contexte du REP

SOMMAIRE

4.1	INTRODUCTION	36
4.2	.....	36
4.3	.....	37
4.4	.....	38
4.4.1	.....	38
4.4.2	.....	38
4.5	.....	40
4.5.1	.....	40
4.5.2	.....	40
4.6	.....	41
4.6.1	.....	42
4.6.2	.....	43
4.6.3	.....	43
4.6.4	.....	44
4.6.5	.....	44
4.6.6	.....	44
4.7	.....	45
4.8	DISCUSSION.....	53
4.9	CONCLUSION	54

4.1 INTRODUCTION

Le processus d'Élicitation des Exigences REP représente l'une des phases les plus critiques et complexes du cycle de vie du développement de systèmes. Dans son essence, le REP implique l'identification systématique, l'acquisition et le développement des exigences par le biais d'interactions collaboratives entre diverses parties prenantes. Cependant, la complexité socio-émotionnelle inhérente à ce processus conduit souvent à des exigences incomplètes, incorrectes ou incohérentes, sapant finalement le succès du projet. Ce chapitre examine deux dimensions fondamentales qui influencent profondément les résultats du REP : les dynamiques du travail collaboratif et les processus de transformation des connaissances. Comprendre comment ces éléments interagissent et contribuent à une ingénierie des exigences efficace fournit aux praticiens des aperçus essentiels pour améliorer la qualité des projets et la satisfaction des parties prenantes.

L'importance de la collaboration en ingénierie des exigences ne saurait être surestimée. Les environnements modernes de développement de logiciels exigent une coordination de plus en plus sophistiquée entre les analystes, les parties prenantes et les équipes techniques. La nature collaborative du REP nécessite que des participants aux viewpoints divers s'engagent dans des interactions dynamiques qui façonnent le paysage des exigences en évolution. Parallèlement, la transformation des connaissances la conversion de connaissances tacites en formes explicites et vice versa soutient l'ensemble du processus d'élicitation, permettant aux organisations de capturer, formaliser et exploiter l'expertise des parties prenantes de manière efficace.

Ce chapitre explore les fondements théoriques du travail collaboratif et de la transformation des connaissances, analyse leur intégration dans le contexte de l'ingénierie des exigences, spécifiquement au niveau du REP et examine comment les mécanismes de confiance renforcent ces processus. En synthétisant des cadres établis tels que le modèle SECI avec les résultats de recherches contemporaines, nous visons à fournir une compréhension approfondie de la manière dont la collaboration et les connaissances fonctionnent ensemble pour produire des résultats d'exigences de haute qualité.

4.2 Concepts fondamentaux

4.2.1 La Collaboration dans l'Ingénierie des Exigences

La collaboration est l'un des concepts les plus fréquemment invoqués et pourtant systématiquement sous-spécifiés tant dans la littérature des sciences organisationnelles que dans celle de l'ingénierie des systèmes. Ses définitions demeurent remarquablement variables selon les disciplines, souvent confondues avec des facteurs voisins tels que la coopération, la coordination et la communication. Parvenir à une clarté définitionnelle ne relève pas d'un simple exercice sémantique ; la délimitation tracée autour de la collaboration détermine quelles stratégies d'intervention sont pertinentes et quels résultats qualitatifs sont atteignables dans les contextes d'ingénierie des exigences.

Au niveau le plus général, la collaboration désigne un effort conjoint

orienté vers un objectif commun. Cette définition s'avère toutefois insuffisante pour les contextes d'ingénierie, dans la mesure où elle ne distingue pas le travail divisé, où des individus œuvrent en parallèle vers un objectif partagé, de la véritable co-construction, où l'effort collectif est indissociable des contributions individuelles qui le composent.

Définition centrale (D'Amour, 1997)

« La collaboration interprofessionnelle est « constituée d'un ensemble de relations et d'interactions susceptibles, ou non, de permettre aux professionnels de mettre en commun et de partager leurs connaissances, leur expertise, leur expérience et leurs compétences afin de les utiliser de manière concomitante au service des clients et dans leur intérêt supérieur. » Cette définition met en exergue la dimension relationnelle et interactive de la collaboration ; il ne s'agit pas simplement d'une répartition des tâches, mais d'une mise en commun dynamique de compétences diversifiées ».

Une perspective complémentaire importante est proposée par Gray (1991), qui caractérise la collaboration comme un processus par lequel des parties prenantes portant des perspectives différentes sur un problème peuvent explorer ces divergences de manière constructive et rechercher des solutions dépassant ce que la vision limitée de chaque partie prenante prise isolément serait en mesure de produire. Cette conception positionne la collaboration comme fondamentalement génératrice sur le plan épistémique, produisant des connaissances et des insights qui n'auraient pas existé autrement.

Le travail collaboratif dans l'ingénierie des exigences englobe les interactions structurées et non structurées à travers lesquelles les parties prenantes, les analystes et les spécialistes techniques construisent conjointement, affinent et valident les exigences système. Les travaux de recherche ont constamment identifié la collaboration comme un facteur déterminant de la qualité des exigences, dans la mesure où elle permet l'intégration de perspectives diversifiées, la résolution d'intérêts conflictuels et l'élaboration d'une compréhension partagée entre des participants aux horizons et aux expertises variés.

La nature collaborative du REP se manifeste selon plusieurs dimensions. La première est la collaboration horizontale entre pairs et parties prenantes situés à des niveaux organisationnels similaires, au sein de laquelle s'opère un échange mutuel d'informations et de perspectives. La deuxième, la collaboration verticale, implique des interactions franchissant les frontières hiérarchiques, reliant le personnel de terrain aux responsables et aux experts techniques. La troisième, la collaboration transversale, rassemble des individus issus de différents départements, disciplines ou unités organisationnelles afin de répondre à des défis d'exigences complexes et multidimensionnels. Chacun de ces types de collaboration présente des défis et des opportunités spécifiques en matière de partage des connaissances et de développement de la confiance.

Des études ont démontré que le travail collaboratif efficace dans le REP génère des bénéfices substantiels. Les équipes qui établissent de solides pratiques collaboratives bénéficient d'une meilleure qualité de communication, d'une clarification plus rapide des exigences et d'une identification plus précise des besoins. À l'inverse, les défaillances collaboratives, telles que les ruptures de communication, l'exclusion des parties prenantes ou les conflits non résolus,

conduisent fréquemment à des défauts d'exigences, à des dérives de périmètre et à des retards de projet. La littérature suggère que les échecs de collaboration contribuent à des taux de défauts supérieurs de 40 à 60 % et prolongent les cycles de projet d'un facteur deux à trois par rapport aux initiatives bénéficiant d'une collaboration efficace.

4.2.2 Caractéristiques d'une Collaboration Efficace dans l'Élicitation des Exigences

Une collaboration efficace dans l'élicitation des exigences se distingue des formes moins intensives d'engagement des parties prenantes par un ensemble de propriétés caractéristiques intimement liées. Elle repose d'abord sur une co-construction collective, selon laquelle le document d'exigences est appréhendé comme un artefact conjointement détenu et conjointement produit, de sorte qu'aucune partie prenante ni aucun analyste ne peut revendiquer la paternité exclusive d'une exigence. Cette co-construction est rendue possible par une mise en commun intégrée des connaissances, au travers de laquelle l'expertise du domaine, détenue par les parties prenantes, et l'expertise en élicitation, détenue par les analystes, sont combinées de manière synergique pour produire des résultats qu'aucune des deux parties ne saurait atteindre de façon indépendante. Par ailleurs, les divergences de perspectives entre parties prenantes ne sont pas traitées comme des obstacles à minimiser, mais comme des opportunités d'exploration constructive permettant de faire émerger des exigences jusqu'alors non reconnues ou non formulées. La confiance occupe à cet égard une position centrale, agissant à la fois comme prérequis et comme résultat du processus collaboratif : les parties prenantes doivent accorder à l'analyste une confiance suffisante pour partager des connaissances tacites potentiellement sensibles, tandis que le succès du processus collaboratif approfondit réciproquement cette confiance en vue des itérations ultérieures. Enfin, la collaboration dans les contextes d'ingénierie des exigences revêt une nature fondamentalement dynamique et itérative, se manifestant non pas comme un événement ponctuel, mais comme un processus continu au sein duquel la compréhension partagée est progressivement construite, questionnée et affinée au fil des interactions entre les acteurs impliqués.

4.2.3 Ingénierie de la Collaboration

4.2.3.1. Fondements de la Discipline

L'Ingénierie de la Collaboration (IC) a émergé en tant que discipline formelle à partir des travaux de Briggs, de Vreede, Kolfshoten et de leurs collaborateurs, motivés par un problème pratique : les tâches collaboratives à haute valeur ajoutée au sein des organisations, telles que la planification stratégique, l'élicitation des exigences et l'analyse des risques, étaient fréquemment facilitées par des professionnels spécialisés dont l'expertise n'était pas aisément transférable aux praticiens au sein de ces mêmes organisations. L'IC vise à rendre de tels processus collaboratifs réutilisables, transférables et exécutables par des praticiens, sans nécessiter une facilitation experte en temps réel pour chaque instance.

L'Ingénierie de la Collaboration constitue ainsi une approche structurée de conception, de documentation et de déploiement de pratiques collaboratives reproductibles. Elle repose sur le constat que, si chaque instance de collaboration est contextuellement unique, les schémas sous-jacents de comportement

collaboratif générateurs de valeur sont généralisables et peuvent faire l'objet d'un apprentissage.

4.2.3.2. Les Trois Rôles en Ingénierie de la Collaboration

L'IC définit trois rôles distincts, chacun assorti de responsabilités clairement différenciées.

Le Facilitateur. Conçoit et conduit les processus de collaboration afin d'aider des groupes spécifiques à atteindre leurs objectifs. Il est présent lors des sessions collaboratives et guide le comportement du groupe en temps réel. Dans le contexte de l'élicitation des exigences, le facilitateur peut être l'analyste principal des exigences, un tiers neutre ou un membre désigné de l'équipe formé aux techniques de facilitation.

L'Ingénieur de la Collaboration. Conçoit et documente les pratiques de travail collaboratif avec un niveau de détail suffisant pour qu'elles puissent être transférées à des praticiens et exécutées par ces derniers sans l'implication continue de l'ingénieur. Il est responsable de la codification du capital intellectuel de la facilitation experte sous forme d'artefacts de processus réutilisables. Dans les contextes d'ingénierie des exigences, ce rôle correspond à la conception de processus d'élicitation structurés, de cadres d'entretien et de protocoles d'ateliers.

Le Praticien. Les praticiens sont des experts du domaine, soit, dans les contextes d'ingénierie des exigences, les parties prenantes, les analystes métier et les product owners, qui apprennent à exécuter des pratiques de travail collaboratif sur la base des conceptions de l'ingénieur de la collaboration. L'IC vise à réduire le niveau de compétences requis des praticiens, de sorte que la productivité de la collaboration ne dépende pas d'une expertise rare détenue par un seul participant.

4.2.3.3. Les Six Patrons de Collaboration

Le noyau conceptuel de l'Ingénierie de la Collaboration est la notion de patrons de collaboration fondés sur les ThinkLets, formes structurelles récurrentes qui génèrent des comportements de groupe prévisibles et produisent des types spécifiques de valeur. Six patrons canoniques ont été identifiés, chacun applicable à différentes phases d'un processus collaboratif.

4.2.4 Connaissances et le Management des Connaissances

Les connaissances constituent le fondement sur lequel reposent les décisions en ingénierie des exigences. Contrairement aux données brutes ou à l'information, la connaissance représente un construit cognitif d'ordre supérieur qui englobe la compréhension, le jugement et les insights actionnables. Dans le contexte du REP, la connaissance se manifeste sous de multiples formes, allant de la documentation explicite et des spécifications formelles à la compréhension tacite ancrée dans l'expérience personnelle et le jugement professionnel.

La gestion des connaissances désigne les processus systématiques par lesquels les organisations acquièrent, créent, représentent, stockent et diffusent les connaissances afin de soutenir leurs objectifs organisationnels. Dans le domaine de l'ingénierie des exigences, les pratiques de gestion des

connaissances jouent un rôle crucial dans la capture de l'expertise des parties prenantes, la préservation de la mémoire institutionnelle et la réutilisation des connaissances à travers les projets. La gestion des connaissances individuelles, soit les insights et les expériences détenus par les parties prenantes, requiert une attention particulière, dans la mesure où une grande partie de ces connaissances demeure non exprimée et donc indisponible pour un développement systématique des exigences.

La relation entre la gestion des connaissances et l'éllicitation des exigences est intime et réciproque. Une élicitation efficace des connaissances implique l'acquisition et le transfert des connaissances individuelles vers des représentations abstraites et opérationnelles, leur organisation, leur modélisation et finalement leur expression sous des formes utilisables. Ce processus rejoint l'objectif de la gestion des connaissances qui consiste à mobiliser la bonne connaissance au bon endroit au moment opportun, soutenant ainsi l'innovation et la prise de décision éclairée.

L'un des défis majeurs auxquels font face les organisations à forte intensité de connaissances réside dans l'extraction des connaissances tacites détenues par les employés expérimentés. Les connaissances tacites, hautement informelles, personnelles, non verbalisées, intuitives et issues de l'expérience, résident dans l'esprit des individus sous forme de mémoire, de compétences, d'expérience, de formation, d'imagination et de créativité. La conversion de ces connaissances tacites en formes formelles et accessibles constitue un prérequis pour un développement efficace des exigences, tout en demeurant l'un des aspects les plus ardues du processus d'éllicitation.

4.3 Le modèle SECI : Un cadre pour la transformation des connaissances

4.3.1 Fondements théoriques

Le modèle SECI, développé par Ikujiro Nonaka et Hirotaka Takeuchi, représente l'une des théories les plus influentes de la création et de la transformation des connaissances dans les contextes organisationnels. Ce cadre fournit une compréhension structurée de la manière dont les connaissances circulent entre les formes tacites et explicites à travers quatre modes distincts de conversion. Le modèle a été largement adopté par les chercheurs étudiant la relation entre la création de connaissances et l'innovation, ce qui le rend particulièrement pertinent pour comprendre la dynamique des connaissances en ingénierie des exigences.

La signification théorique du modèle SECI réside dans sa reconnaissance que les connaissances ne sont pas simplement une ressource statique à transférer, mais plutôt un construit dynamique qui émerge à travers l'interaction sociale et la transformation continue. La création de connaissances se produit dans des contextes temporels et spatiaux spécifiques, façonnés par les activités collaboratives des individus et des organisations. Cette perspective s'aligne étroitement avec la nature dynamique et contextuelle de l'ingénierie des exigences, où les connaissances des parties prenantes doivent être continuellement négociées, affinées et formalisées.

4.3.2 Les quatre modes de conversion des connaissances

Socialisation (Tacite vers Tacite) : Ce premier mode implique le partage des

connaissances tacites entre les individus par l'interaction directe et les expériences partagées. Dans le contexte du REP, la socialisation se produit lorsque les analystes s'engagent avec les parties prenantes dans des conversations en face-à-face, des ateliers ou des discussions informelles pour comprendre leurs besoins, leurs préoccupations et leurs modèles mentaux. Ce processus nécessite une proximité physique ou au minimum une communication synchrone qui permet la transmission des compréhensions implicites, des intuitions et des jugements professionnels. Les apprentissages, les relations de mentorat et les sessions de résolution collaborative de problèmes facilitent tous la socialisation en permettant aux nouveaux venus d'absorber les connaissances tacites des praticiens expérimentés.

Extériorisation (Tacite vers Explicite) : Le deuxième mode convertit les connaissances tacites en formes explicites qui peuvent être communiquées et partagées systématiquement. L'extériorisation implique l'articulation des aperçus personnels et des expériences en langage, diagrammes, modèles ou autres représentations tangibles. Dans le contexte de l'ingénierie des exigences, ce processus de conversion se produit lorsque les parties prenantes décrivent leurs besoins en mots, lorsque les analystes créent des modèles et de la documentation, ou lorsque les équipes développent des prototypes et des maquettes qui extériorisent les hypothèses sous-jacentes. L'extériorisation représente un mécanisme de pont critique entre la compréhension des parties prenantes et la documentation formelle des exigences.

Combinaison (Explicite vers Explicite) : Le troisième mode implique l'intégration et l'organisation des connaissances explicites de multiples sources en formes systématiques et structurées. Dans le contexte de l'ingénierie des exigences, la combinaison se produit lorsque les analystes rassemblent les exigences de diverses parties prenantes et les synthétisent en spécifications cohérentes, lorsque la documentation existante est réorganisée et reformulée, ou lorsque de multiples sources d'exigences sont intégrées dans des modèles unifiés. Ce mode facilite la systématisation des connaissances, permettant une récupération et une application efficaces dans les contextes organisationnels.

Intériorisation (Explicite vers Tacite) : Le quatrième mode convertit les connaissances explicites en formes tacites par l'apprentissage et l'application individuels. Lorsque les parties prenantes et les analystes studient la documentation des exigences, apprennent des supports de formation, ou appliquent des connaissances explicites dans leurs contextes de travail, ils intériorisent ces connaissances dans leur compréhension personnelle et leur expertise. L'intériorisation clos le cycle de connaissances en permettant aux individus d'incorporer les connaissances organisationnelles dans leurs pratiques quotidiennes, enrichissant ainsi leur capacité pour la collaboration et la contribution futures.

4.3.3 Le modèle SECI dans les contextes de l'ingénierie des exigences

L'applicabilité du modèle SECI à l'ingénierie des exigences découle de la nature intrinsèquement intensive en connaissances du processus d'éllicitation. Le développement des exigences nécessite un mouvement continu entre les formes tacites et explicites des connaissances, car les parties prenantes possèdent une compréhension tacite de leurs besoins qui doit être extériorisée en exigences, tandis que les analystes doivent intérioriser la documentation explicite pour informer les décisions techniques.

Le modèle met également en évidence la nature itérative et spirale de la création de connaissances dans les contextes collaboratifs. Plutôt que de suivre un chemin linéaire, la transformation des connaissances dans le REP spirale typiquement à travers des modes successifs, chaque itération approfondissant la compréhension collective et la qualité des exigences. Les premières interactions avec les parties prenantes peuvent se concentrer principalement sur la socialisation, tandis que les phases ultérieures peuvent mettre l'accent sur l'extériorisation et la combinaison à mesure que les exigences prennent des formes plus concrètes.

La compréhension des modes SECI qui dominant à différentes phases du REP permet aux analystes de sélectionner les techniques appropriées et de créer des conditions favorables à la transformation des connaissances. Les phases à dominante socialisation bénéficient de techniques qui facilitent l'interaction directe, telles que les ateliers, les entretiens et l'observation. Les phases orientées vers l'extériorisation nécessitent des méthodes qui soutiennent l'articulation et la représentation, telles que la modélisation, le prototypage et la documentation structurée. Les activités de combinaison prospèrent grâce aux plateformes de collaboration, aux référentiels et aux outils d'intégration, tandis que l'intériorisation bénéficie de la formation, des supports de référence et des opportunités d'apprentissage expérientiel.

4.4 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons .

5

5. Nouvelle Approche d'Elicitation des Exigences Basée sur S.E.C.I et la Confiance

SOMMAIRE

5.1	INTRODUCTION.....	56
5.2	TRAVAUX CONNEXES.....	56
5.3	PRESENTATION DE L'APPROCHE ADOPTEE.....	61
5.3.1	.....	61
5.3.2	.....	64
5.3.3	.....	65
5.3.4	.....	66
5.3.5	.....	68
5.3.6	.....	69
5.4	.....	69
5.5	RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	70
5.5.1	.....	70
5.5.2	.....	72
5.5.3	Discussion des résultats.....	73
5.6	CONCLUSION	78

5.1 INTRODUCTION

Comme mentionné précédemment, notre recherche se concentre sur le Processus d'Élicitation des Exigences (REP), qui est une activité collaborative entre les parties prenantes et les analystes, dont le succès repose sur la capacité des deux groupes à travailler ensemble, en combinant leurs différents ensembles de connaissances et en tenant compte de la confiance mutuelle. En effet, nous nous concentrons sur trois dimensions importantes : la Collaboration, la Connaissance et la Confiance.

Premièrement, le REP est une activité collaborative qui peut être conçue et définie à l'aide de l'ingénierie collaborative. Un REP sans conversion efficace des connaissances est voué à l'échec. En effet, dans les processus d'internalisation des connaissances, en raison d'une crise de confiance dans la communication des connaissances, les développeurs ne communiquaient pas efficacement avec les utilisateurs.

Deuxièmement, l'un des facteurs les plus cités affectant le partage des connaissances est la confiance [62]. La confiance est un facteur important pour garantir le climat organisationnel et, par conséquent, le succès du REP.

L'objectif de cette recherche est d'examiner l'impact de la confiance en tant que contrainte du processus de collaboration sur la création de connaissances dans le REP, en utilisant le modèle de Socialisation, Externalisation, Combinaison et Internalisation (S.E.C.I) introduit par Nonaka et Takeuchi [63].

L'intégration de la théorie de la confiance avec le modèle de création de connaissances SECI représente une approche novatrice pour comprendre et gérer les processus d'élicitation des exigences. Ce chapitre développe le fondement théorique de cette intégration, en établissant comment la confiance fonctionne à la fois comme un facilitateur et comme un résultat des activités de transformation des connaissances. Ce chapitre constitue le volet empirique de la thèse. Il transpose le cadre théorique et mathématique élaboré dans les chapitres précédents vers une application concrète : la conception de Massive Open Online Courses (MOOCs) dans le cadre de l'initiative nationale algérienne portée par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESRS). Cette initiative vise à convertir des modules transversaux de formation en cursus numériques accessibles à grande échelle, en s'appuyant sur un Processus d'Élicitation des Exigences (REP) structuré et outillé.

La problématique centrale réside dans la nécessité de produire un document de Spécification des Exigences (RS) de haute qualité, articulant objectifs pédagogiques, contraintes techniques et dynamiques collaboratives entre parties prenantes. Or, comme le souligne la littérature, la qualité des MOOCs demeure une préoccupation majeure, partiellement liée à l'absence de consensus sur les critères qui la définissent. C'est dans ce contexte que le cadre SECI-Trust intégrant les processus de Socialisation, Externalisation, Combinaison et Internalisation (SECI) à une mesure formalisée de la confiance offre un outil analytique rigoureux pour comprendre et améliorer la qualité des exigences produites.

L'apport méthodologique de ce chapitre est double : d'une part, il présente le cadre mathématique complet opérationnalisant les mesures de trust et de qualité dans les trois phases du REP ; d'autre part, il démontre comment ce cadre peut être appliqué pour identifier des patterns, prédire des résultats et guider des interventions ciblées. Chaque indice, modèle statistique et technique analytique

est directement motivé par des questions de recherche précises portant sur la manière dont la confiance influence la qualité des exigences à travers les processus de conversion de connaissances.

La méthodologie adoptée dans cette étude constitue une contribution méthodologique en soi. En combinant un design longitudinal sur 24 mois, un échantillon empirique de grande envergure (500 parties prenantes, 45 projets, 1 500 observations), une opérationnalisation rigoureuse des dimensions (Mayer et al., 1995 ; Sommerville, 2016) et un protocole de contrôle des biais multi-stratégies, elle établit les conditions d'une validation empirique robuste du modèle SECI-Trust.

Les résultats de fiabilité ($\alpha > 0.90$), de validité (charges factorielles > 0.80 , CFI > 0.95 , RMSEA < 0.06) et les stratégies de contrôle des biais documentées garantissent que les conclusions du Chapitre reposent sur des fondements méthodologiques solides, distincts des études exploratoires antérieures et alignés avec les standards actuels de la recherche en ingénierie des systèmes d'information.

5.2 CONFIANCE

La confiance constitue la condition préalable fondamentale à une collaboration efficace et au partage des connaissances en ingénierie des exigences. Sans un niveau de confiance suffisant, les parties prenantes hésitent à partager des informations sensibles, à exprimer leurs préoccupations réelles ou à s'engager authentiquement dans les processus collaboratifs. Les recherches ont constamment démontré que la confiance a un effet positif sur les relations entre les employés et les managers, et dans le contexte de l'ingénierie des exigences, la confiance est reconnue comme un facteur clé de succès pour le développement des systèmes.

L'importance de la confiance dans le travail collaboratif découle de son rôle dans la réduction de l'incertitude et de la vulnérabilité au sein des relations professionnelles. Lorsque les parties prenantes ont confiance que les analystes traiteront les informations de manière responsable, préserveront leur confidentialité et agiront de bonne foi, elles deviennent plus disposées à partager leurs connaissances tacites, à reconnaître les limites de leur compréhension et à s'engager dans un dialogue honnête sur les exigences. À l'inverse, les environnements à faible niveau de confiance favorisent les comportements défensifs, la rétention d'informations et une conformité superficielle qui nuisent à la qualité des résultats collaboratifs.

La confiance interpersonnelle facilite la collaboration et réduit les conflits entre les membres de l'équipe en créant des conditions dans lesquelles les individus se sentent en sécurité pour exprimer des perspectives diverses, remettre en question les hypothèses et résoudre les désaccords de manière constructive. Il a été démontré que la confiance influence la capacité des équipes à atteindre une plus grande cohésion et coopération pour parvenir à une compréhension commune des exigences, tandis que des niveaux de confiance réduits sont corrélés à des échecs de collaboration et à des lacunes dans les exigences.

5.2.1 LES TROIS DIMENSIONS FONDAMENTALES DE LA CONFIANCE

Nous adoptons les dimensions de la confiance mentionnées dans les travaux de Mayer et ses collègues présentées dans le chapitre 3 . En effet, l'ensemble du

système est soutenu par trois dimensions de confiance fondamentales qui travaillent de manière synergique pour créer un environnement propice à une transformation efficace des connaissances.

(1) Confiance en Compétence (CT) : La confiance en compétence représente la confiance des stakeholders dans l'expertise technique et les connaissances domaine de l'ingénieur d'exigences. Cette dimension capture l'évaluation par les stakeholders de la capacité du Requirements Engineer à accomplir efficacement les tâches requises, à résoudre les problèmes techniques rencontrés, et à fournir des contributions Expert qui ajoutent de la valeur au processus d'ingénierie des exigences. La confiance en compétence se développe progressivement à travers la démonstration de maîtrise, la résolution réussie de défis techniques, et la manifestation d'une compréhension profonde du domaine d'application.

(2) Confiance en Bienveillance (BT) : La confiance en bienveillance désigne la perception des stakeholders concernant le souci sincère de l'ingénieur d'exigences pour les intérêts des stakeholders. Cette dimension va au-delà de la simple compétence technique pour englober des aspects relationnels tels que l'empathie, le respect, et la genuineness dans les interactions. Les stakeholders évaluent si l'analyste cherche véritablement à comprendre leurs besoins et contraintes, ou s'il poursuit des objectifs qui pourraient ne pas être alignés avec leurs intérêts. La bienveillance se manifeste à travers des comportements tels que l'écoute active, la reconnaissance des contributions, et la Priorisation des besoins des stakeholders dans la prise de décision.

(3) Confiance en Intégrité (IT) : La confiance en intégrité reflète la perception des stakeholders concernant l'adhésion de l'ingénieur d'exigences à des principes que les stakeholders jugent acceptables. Cette dimension concerne la cohérence entre les paroles et les actes, le respect des engagements pris, et l'alignement perçu entre les méthodes utilisées par l'analyste et le système de valeurs des parties prenantes. L'intégrité est particulièrement importante dans les situations où les stakeholders doivent partager des informations sensibles ou stratégiques, car ils doivent être convaincus que ces informations ne seront pas utilisées de manière inappropriée ou divulguées à des parties non autorisées.

Ces trois dimensions de confiance opèrent de manière interdépendante pour former un climat de confiance global qui active ou entrave la transformation de connaissances au sein du REP. L'équilibre entre ces dimensions peut varier selon les contextes et les phases du processus, mais leur présence simultanée et leur cohérence mutuelle sont essentielles pour établir un environnement propice à l'authentique échange et transformation de connaissances.

5.3 ELICITATION DES CONNAISSANCES

L'élicitation des connaissances, soit l'acquisition et le transfert de connaissances depuis les individus vers des représentations abstraites et organisées, se situe à l'intersection de l'Ingénierie des Systèmes et de la Gestion des Connaissances. Dans l'ingénierie des systèmes, l'élicitation des connaissances se concentre sur la capture des exigences fonctionnelles, opérationnelles et non fonctionnelles qui définissent le comportement attendu d'un système. Dans la gestion des connaissances, elle vise à rendre l'implicite explicite, en convertissant les savoirs issus de l'expérience en actifs de connaissance réutilisables et accessibles à l'organisation.

Le Processus d'Élicitation des Exigences intègre ces deux orientations : il implique l'acquisition de connaissances auprès d'individus, d'équipes et de

systèmes, leur organisation et leur modélisation sous des formats analysables, leur formalisation en spécifications d'exigences non ambiguës et vérifiables, ainsi que leur déploiement tout au long du cycle de développement. Ce processus n'est pas linéaire ; il est itératif, avec des cycles progressifs d'élicitation, de clarification et de validation, chaque cycle approfondissant la compréhension collective et affinant l'artefact des exigences.

Les principaux défis d'élicitation directement adressables par des approches collaboratives enrichies par la confiance comprennent les éléments suivants.

Le problème d'articulation : les parties prenantes peuvent savoir ce qu'elles souhaitent sans disposer du vocabulaire technique nécessaire pour l'exprimer avec précision. Le dialogue rendu possible par la confiance permet à l'analyste d'aider les parties prenantes à articuler des besoins qu'elles ne parviennent pas initialement à verbaliser.

Le problème de complétude : aucune partie prenante individuelle ne possède une connaissance complète de l'ensemble des exigences. La confiance permet la mise en commun des connaissances distribuées au sein du groupe de parties prenantes.

Le problème de conflit : différentes parties prenantes ont des exigences différentes, parfois contradictoires. Les processus collaboratifs fondés sur la confiance créent la sécurité psychologique nécessaire pour faire émerger ces conflits et les résoudre de manière constructive.

Le problème de volatilité : les exigences évoluent à mesure que la compréhension des parties prenantes se développe au cours du processus d'élicitation lui-même. L'engagement itératif fondé sur la confiance permet de suivre et de gérer cette évolution plutôt que de la traiter comme un échec.

5.4 Ingénierie de la collaboration et le REP

L'Ingénierie de la Collaboration (IC) fournit l'architecture de processus au sein de laquelle la confiance et les connaissances interagissent durant le REP. L'IC est une approche structurée de conception et de déploiement de pratiques de travail collaboratif reproductibles, impliquant trois rôles clés : l'ingénieur de la collaboration (qui conçoit le processus), le facilitateur (qui le conduit) et le praticien (qui l'exécute). Les patrons de processus, à savoir Générer, Clarifier, Réduire, Organiser, Évaluer et Construire le Consensus, structurent les interactions entre parties prenantes afin d'atteindre des résultats prévisibles et assurés en termes de qualité.

Dans la pratique de l'ingénierie, la collaboration signifie rassembler des experts issus de multiples domaines, à savoir les ingénieurs systèmes, les ingénieurs logiciels, les spécialistes du domaine, les utilisateurs finaux et les analystes de sûreté, afin de concevoir, développer et valider conjointement des solutions complexes.

Le défi fondamental de la collaboration en ingénierie n'est pas seulement d'ordre organisationnel, c'est-à-dire de déterminer qui coordonne quoi, mais également d'ordre épistémologique : les experts issus de disciplines différentes ne disposent pas seulement d'informations différentes, ils possèdent des cadres conceptuels différents, des vocabulaires différents et des hypothèses implicites différentes quant à ce qui constitue une exigence valide. Rendre ces différences explicites et les négocier de manière productive constitue un défi cognitif collaboratif qui ne peut être réduit à un simple échange d'informations.

L'application de l'IC au REP, illustrée par l'approche centrée sur le processus de Konate et al. (2014), fournit une correspondance formelle entre les activités d'ingénierie et les patrons collaboratifs. Cette correspondance est essentielle pour comprendre comment la confiance se manifeste au sein d'étapes de processus spécifiques : la confiance n'opère pas de manière uniforme à travers toutes les activités collaboratives, mais est activée de façon différentielle selon la nature du patron en cours d'exécution. Le brainstorming (Générer) requiert la Confiance Basée sur la Bienveillance (CB) ; la validation logique (Évaluer) requiert la Confiance Basée sur l'Intégrité (CI) ; le briefing technique (Clarifier) requiert la Confiance Basée sur la Compétence (CC).

5.5 La Confiance à Travers les Patrons de Collaboration

Une contribution importante du modèle S.E.C.I. Enrichi par la Confiance est la reconnaissance que différents patrons de collaboration imposent des exigences de confiance différentes. Le patron Générer, par exemple, requiert un niveau élevé de Confiance Basée sur la Bienveillance : les parties prenantes doivent avoir la conviction que l'analyste valorise genuinely leurs idées non conventionnelles ou provisoires avant de les produire librement. Le patron Évaluer requiert quant à lui un niveau élevé de Confiance Basée sur l'Intégrité : les parties prenantes doivent avoir la certitude que les critères d'évaluation sont appliqués de manière honnête et cohérente avant d'accepter un retour critique sur les exigences qu'elles ont contribué à formuler.

Cela signifie que la gestion de la confiance dans le travail collaboratif d'ingénierie des exigences n'est pas monolithique : elle doit être différenciée à la fois selon les phases du REP et selon les patrons de collaboration spécifiques actifs au sein de chaque phase. Un analyste des exigences qui bénéficie d'un niveau élevé de Confiance Basée sur la Compétence peut néanmoins échouer à éliciter des exigences complètes si la Confiance Basée sur la Bienveillance s'avère insuffisante lors des sessions génératives.

Les six patrons n'opèrent pas de manière isolée ; ils sont généralement combinés en séquences qui reflètent l'arc cognitif du travail collaboratif de connaissance : de la génération divergente d'idées, à travers la clarification et la réduction progressives, jusqu'à la combinaison organisée et la validation consensuelle. Dans l'élicitation des exigences, cet arc se projette naturellement sur la trajectoire allant de l'engagement initial des parties prenantes (Générer, Clarifier), à travers le développement structuré des exigences (Réduire, Organiser), jusqu'à la revue formelle des exigences et leur approbation (Évaluer, Construire le Consensus).

Tableau 5-1: Patrons de collaboration et leur rôle dans REP

Patron	Description fonctionnelle	Rôle dans le REP	Dimensions de confiance
Générer	Production divergente d'idées sans jugement, favorisant l'émergence de perspectives inédites et de besoins latents.	Socialisation Elicitation des connaissances tacites et des besoins non exprimés à travers des échanges libres et non contraints.	Bienveillance Niveau requis : Elevé
Clarifier	Réduction de l'ambiguïté par l'élaboration progressive d'une compréhension partagée entre participants.	Externalisation Conversion des impressions vagues et intuitions tacites en énoncés précis, formalisés et communicables.	Intégrité Niveau requis : Elevé
Réduire	Convergence d'un large ensemble de connaissances vers un sous-ensemble d'éléments gérables et prioritaires.	Combinaison Filtrage et priorisation des artefacts d'exigences afin de constituer un ensemble cohérent et exploitable.	Compétence Niveau requis : Modéré à Elevé
Organiser	Structuration systématique des connaissances retenues en vue de leur exploitation dans les phases ultérieures.	Combinaison Catégorisation et mise en relation des exigences au sein d'une architecture formelle et cohérente.	Compétence Niveau requis : Elevé
Évaluer	Évaluation systématique de la qualité des connaissances formalisées selon des critères de complétude, cohérence et faisabilité.	Post-élicitation Cycles de validation collective permettant d'identifier les lacunes, incohérences et ambiguïtés résiduelles.	Bienveillance Intégrité Compétence Trois dimensions mobilisées
Consensus	Alignement progressif des points de vue divergents par négociation, médiation et délibération collective.	Itératif Intervention récurrente entre les phases d'élicitation et de post-élicitation pour assurer la cohérence du référentiel.	Intégrité Bienveillance Niveau requis : Elevé

5.6 Modèle de confiance basé sur les connaissances dans le REP

L'intégration du modèle S.E.C.I dans le REP fournit une approche structurée pour comprendre et gérer les connaissances impliquées dans le processus [16]. L'application du modèle S.E.C.I dans le REP est davantage enrichie en tenant compte de phases distinctes : la Pré-élicitation, l'Élicitation et la Post-élicitation. Chaque phase correspond à une ou plusieurs étapes spécifiques du modèle S.E.C.I, créant ainsi un cadre cohérent pour gérer le flux des connaissances tout au long du REP. Chaque phase du modèle SECI présente des exigences spécifiques en matière de confiance, qui reflètent les activités de transformation des connaissances et les dynamiques collaboratives propres à cette phase.

5.6.1 Phase de Pré-élicitation (à dominante Internalisation)

La phase de pré-élicitation se concentre sur la préparation des analystes des exigences et des parties prenantes à un engagement collaboratif, à travers l'internalisation des connaissances explicites existantes. Durant cette phase, les exigences en matière de confiance sont centrées sur l'établissement de la crédibilité et le développement d'une confiance initiale. Elle implique la création d'un environnement dans lequel les parties prenantes peuvent échanger librement des idées, des perspectives et des connaissances tacites relatives aux besoins et aux fonctionnalités du système [66]. Elle fait souvent appel à des techniques telles que les séances de remue-méninges, les entretiens et les études ethnographiques, afin de capturer les exigences implicites et non formulées qui résident dans l'esprit des parties prenantes [67]. Ces sessions interactives favorisent une compréhension approfondie du domaine problématique et des besoins des utilisateurs, permettant ainsi l'élicitation d'exigences qui pourraient autrement être négligées [15].

Priorité à la confiance basée sur la compétence : Les parties prenantes forment leurs premières impressions des capacités des analystes sur la base de leurs qualifications, de leurs affiliations organisationnelles et de leurs communications préliminaires. Les recherches démontrent que la confiance basée sur la compétence à ce stade prédit de manière significative la disposition des parties prenantes à s'engager dans les activités d'élicitation ultérieures. Les analystes doivent faire preuve d'une connaissance du domaine, d'une expertise en ingénierie des exigences et d'une compréhension des contextes des parties prenantes.

Fondement de la confiance institutionnelle : La réputation organisationnelle et la crédibilité des processus établissent un niveau de confiance de base qui facilite l'engagement des parties prenantes. Lorsque les parties prenantes font confiance à l'organisation commanditaire et à la méthodologie d'ingénierie des exigences, elles sont davantage disposées à investir du temps malgré l'absence de relations personnelles établies avec les analystes.

Indicateurs de confiance : Les principaux indicateurs de confiance durant la pré-élicitation comprennent les taux de réponse des parties prenantes aux communications initiales, le niveau de détail dans le partage préliminaire des informations, ainsi que la disposition exprimée à participer aux activités d'élicitation. Un faible niveau de confiance à ce stade se manifeste par une réticence à s'engager, des réponses superficielles ou la délégation à des représentants moins bien informés.

La figure 5.1 illustre la conversion systématique des sources de connaissances explicites en compréhension tacite, à travers des activités de transformation structurées.

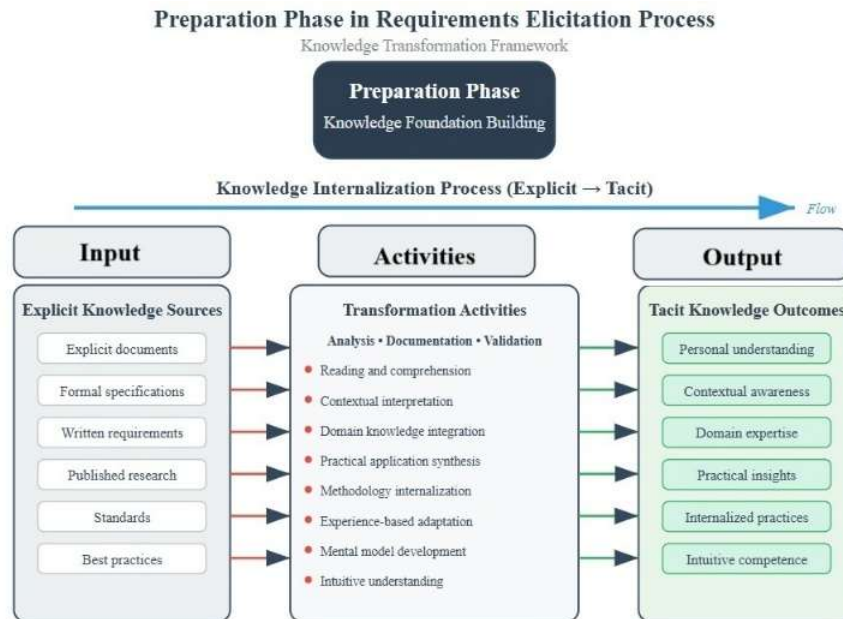


Figure 5.1: Pré-élicitation

5.6.2 Phase d'éllicitation (à dominante Socialisation)

La phase d'éllicitation implique des interactions intensives en face-à-face au cours desquelles les connaissances tacites sont transférées entre les parties prenantes et les analystes (Figure 5.2). Cette phase présente les exigences les plus élevées en matière de confiance et la plus grande vulnérabilité aux défaillances de confiance. Cette phase constitue le cœur du processus d'éllicitation, où les connaissances tacites sont transmises à travers des mécanismes sociaux complexes incluant l'observation, l'imitation, la pratique partagée et le dialogue réflexif. La confiance en bienveillance reflète la perception des stakeholders concernant le degré auquel l'analyste se soucie véritablement de leurs intérêts et de leur réussite. La confiance en intégrité, quant à elle, concerne la cohérence perçue entre les paroles et les actes de l'analyste, ainsi que son engagement envers des principes éthiques jugés acceptables par les parties prenantes. Elle implique la création d'un environnement dans lequel les parties prenantes peuvent échanger librement des idées, des perspectives et des connaissances tacites relatives aux besoins et aux fonctionnalités du système [66]. Elle fait souvent appel à des techniques telles que les séances de remue-méninges, les entretiens et les études ethnographiques, afin de capturer les exigences implicites et non formulées qui résident dans l'esprit des parties prenantes [67]. Ces sessions interactives favorisent une compréhension approfondie du domaine problématique et des besoins des utilisateurs, permettant ainsi l'éllicitation d'exigences qui pourraient autrement être négligées [15].

Centralité de la confiance basée sur la bienveillance : Durant les activités de socialisation, les parties prenantes évaluent si les analystes se soucient véritablement de leurs préoccupations ou cherchent simplement à accomplir leurs missions professionnelles. La confiance basée sur la bienveillance détermine la disposition des parties prenantes à partager des informations sensibles, à reconnaître les incertitudes et à révéler des problèmes susceptibles de les affecter négativement, eux ou leurs organisations.

Exigences en matière de sécurité psychologique : Une socialisation efficace requiert que les parties prenantes se sentent en sécurité pour exprimer des idées incomplètes, admettre leurs lacunes en matière de connaissances et

remettre en question les hypothèses établies. La confiance crée la sécurité psychologique nécessaire à un partage authentique des connaissances, plutôt qu'à une simple conformité de façade.

Dynamiques de confiance en temps réel : La confiance durant l'élicitation opère de manière dynamique, chaque interaction pouvant potentiellement renforcer ou fragiliser les relations de confiance. Les comportements des analystes, tels que l'écoute active, les réponses empathiques et la compréhension démontrée, renforcent la confiance, tandis que les attitudes dédaigneuses, les jugements prématurés ou le désengagement visible l'érodent rapidement.

Manifestations de la confiance : Un niveau élevé de confiance durant l'élicitation se manifeste par un partage étendu d'informations, une identification proactive des problèmes, une disposition à s'engager dans des discussions difficiles et une résolution collaborative des problèmes. Un faible niveau de confiance se manifeste par une communication prudente et réservée, des réponses superficielles, un transfert de responsabilité et une résistance passive.

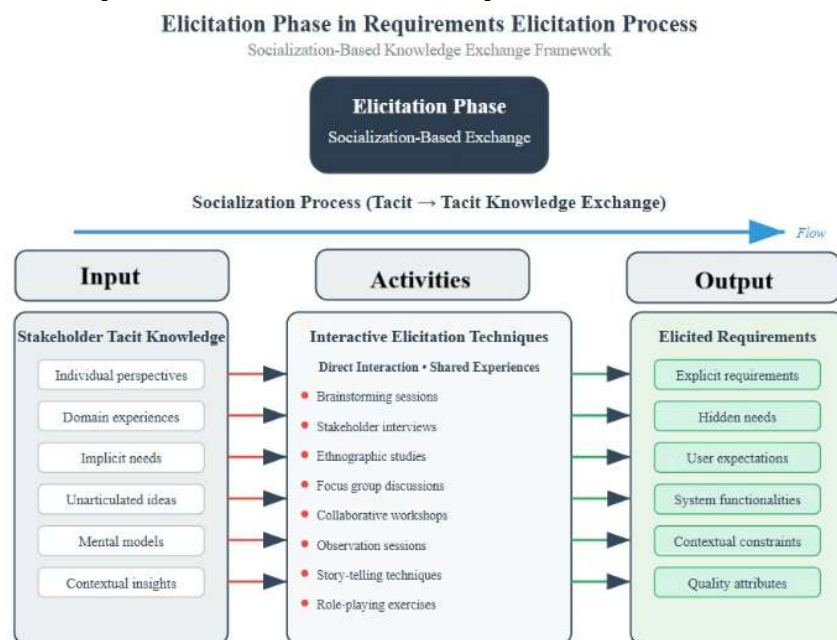


Figure 5.2: Elicitation

5.6.3 Phase de Post-élicitation (à dominante Externalisation et Combinaison)

La phase de post-élicitation implique la transformation des connaissances tacites en spécifications d'exigences explicites, ainsi que la combinaison des exigences provenant de sources multiples en une documentation cohérente (Figure 5.3). La confiance cumulative des phases précédentes permet une validation collaborative alors que les stakeholders participent activement à la conversion de connaissances tacites partagées en artefacts d'exigences explicites et raffinés. Cette phase de consolidation repose sur la confiance accumulée pour faciliter le Passage de connaissances tacites vers des formes explicites à travers des processus d'articulation, de formalisation et de systématisation. Les stakeholders, ayant développé un sentiment de sécurité psychologique au cours des phases précédentes, sont plus enclins à Participer activement à des activités de raffinement, à fournir des retours Constructifs, et à valider les artefacts produits par le processus. Les exigences en matière de confiance se déplacent alors vers la fiabilité et la cohérence. Cette phase, ancrée dans l'externalisation et la

combinaison, incarne le processus crucial d'articulation des connaissances tacites en formes explicites pouvant être aisément comprises, partagées et exploitées au sein de l'organisation [16]. Cette transformation est essentielle pour garantir que les précieuses intuitions, expériences et compréhensions détenues par les parties prenantes individuelles ne demeurent pas confinées à leurs domaines cognitifs personnels, mais soient au contraire converties en actifs tangibles pouvant être facilement diffusés et utilisés par l'ensemble de l'équipe de développement et les parties prenantes concernées. La combinaison représente l'aboutissement du processus de création de connaissances au sein du modèle S.E.C.I, impliquant l'intégration et la synthèse des connaissances nouvellement externalisées avec les connaissances explicites existantes, afin de constituer des corpus de connaissances plus complexes, plus exhaustifs et plus systématiques [68].

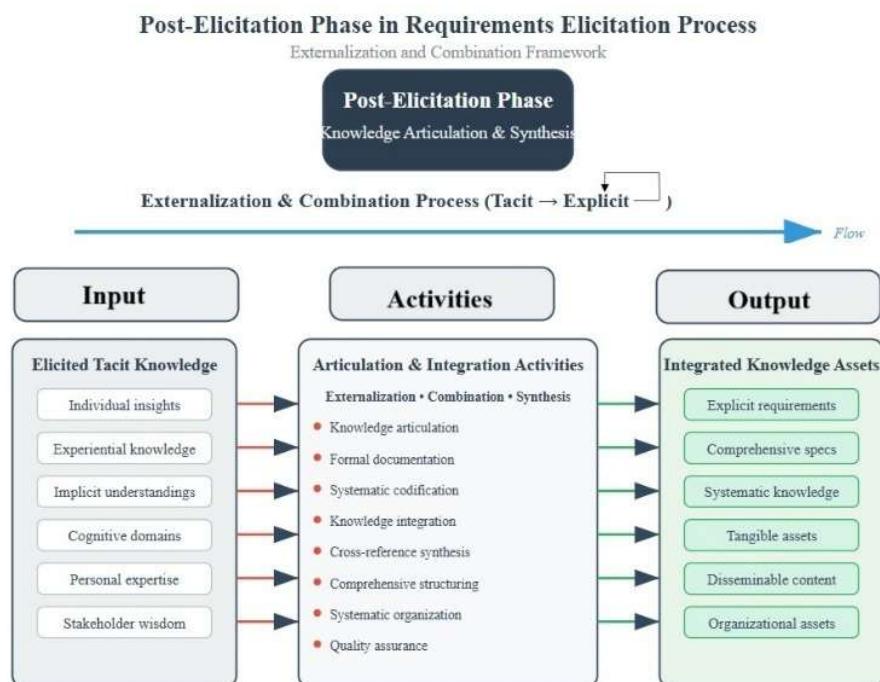


Figure 5.3: Post-élitication

Prééminence de la confiance basée sur l'intégrité : Lorsque les analystes transforment les connaissances des parties prenantes en spécifications formelles, la confiance basée sur l'intégrité devient primordiale. Les parties prenantes doivent avoir confiance que les analystes représenteront fidèlement leurs besoins, maintiendront la conformité aux compréhensions partagées et honoreront les engagements pris durant les activités d'élitication.

Confiance dans la précision de la représentation : Les parties prenantes doivent avoir confiance que les exigences documentées reflètent authentiquement leurs besoins exprimés, plutôt que les interprétations des analystes susceptibles de diverger de l'intention originale. Cette dimension de confiance est particulièrement critique lorsque les parties prenantes manquent d'expertise technique pour valider les spécifications formelles.

Confiance dans la validation : Le processus de validation des exigences repose sur la confiance des parties prenantes que leurs retours seront véritablement pris en compte, plutôt que sollicités de manière purement formelle. Lorsque les parties prenantes doutent que leurs contributions à la validation aient une réelle importance, elles fournissent des révisions

superficielles qui ne parviennent pas à identifier les problèmes significatifs.

Consolidation de la confiance : Des activités de post-élicitation réussies consolident les relations de confiance établies lors des phases antérieures, créant ainsi les fondements nécessaires à une collaboration future. À l'inverse, les échecs de la post-élicitation peuvent fragiliser des relations de confiance préalablement solides, si les parties prenantes perçoivent que les connaissances qu'elles ont contribué à partager ont été mal représentées ou ignorées.

Cette approche holistique garantit que les connaissances sont systématiquement créées, partagées et préservées tout au long du REP, conduisant à une compréhension des exigences plus efficace et plus exhaustive, tout en constituant des actifs de connaissances organisationnelles pour les projets futurs. Comme le démontre la figure 4, ce cadre intègre le modèle SECI de Nonaka avec le Processus d'Élicitation des Exigences, illustrant la transformation des connaissances à travers trois phases : la Pré-élicitation (Internalisation) convertit les connaissances explicites du domaine en compétences tacites des analystes ; l'Élicitation (Socialisation) permet l'échange tacite-à-tacite à travers des activités collaboratives dans des espaces Ba ; la Post-élicitation (Externalisation et Combinaison) transforme la compréhension partagée en documentation formelle des exigences, avec des flux cycliques illustrant la conversion continue des connaissances individuelles en connaissances collectives.

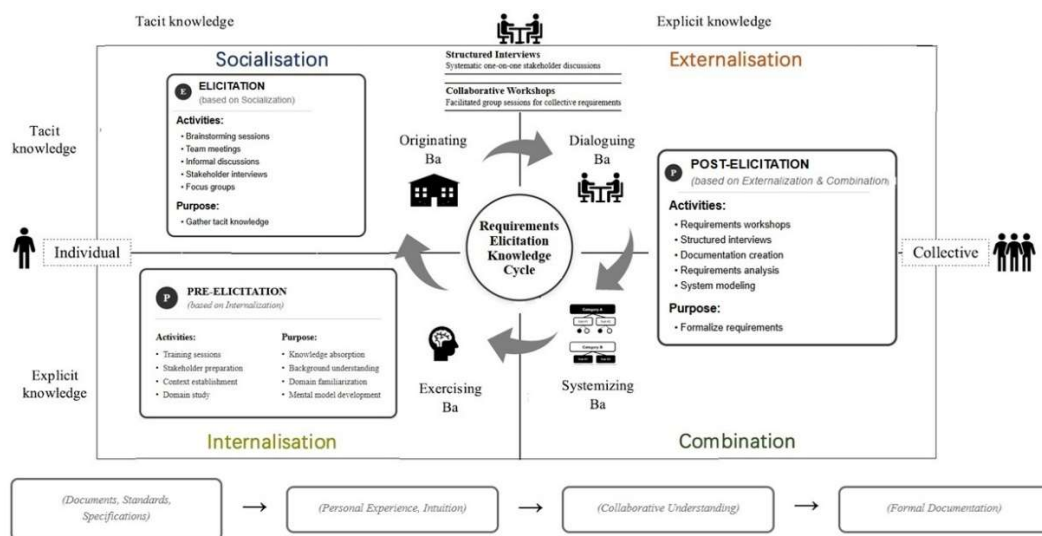


Figure 5.4: Dynamique de conversion des connaissances dans l'élicitation des exigences

5.7 La confiance comme catalyseur de la création de connaissances

Les résultats montrent que la conversion des connaissances et la qualité des exigences sont positivement corrélées. La confiance opère comme variable médiatrice à plusieurs niveaux d'analyse. Elle est conceptualisée à la fois comme condition préalable et comme produit de la collaboration. Les dimensions horizontale et verticale de la confiance modulent les processus collaboratifs. La confiance intrarôle est nécessaire à la création et à la diffusion des connaissances tacites [47].

Ce rôle médiateur s'exprime à travers trois mécanismes distincts. La sécurité psychologique désigne le climat au sein duquel les membres formulent librement des hypothèses incomplètes. Elle leur permet d'admettre des incertitudes sans craindre de répercussions négatives sur leur statut. La vulnérabilité épistémique

renvoie à la propension des individus à exposer leurs lacunes cognitives. Cette propension est accrue dans les contextes de haute confiance. Elle conduit à un transfert de connaissances plus efficace. La valorisation de la diversité cognitive désigne la capacité des équipes à mobiliser des expertises hétérogènes. Elle enrichit la spécification des exigences par une contribution exhaustive des parties prenantes.

5.8 **La confiance comme fondement de la transformation des connaissances**

Le REP vise à assurer des niveaux optimaux de cohérence, de clarté et de complétude. Ces niveaux sont atteints par un raffinement et une validation systématiques des exigences [69]. La confiance constitue la variable habilitante fondamentale du modèle S.E.C.I. En son absence, la transformation des connaissances demeure superficielle ou entièrement bloquée.

L'intégration théorique repose sur trois mécanismes interdépendants, spécifiques à chaque phase du REP. Lors de la phase de pré-élicitation (Internalisation), les analystes convertissent les connaissances explicites en compréhension tacite. La confiance fondée sur la compétence se construit par la démonstration d'une maîtrise technique avérée. Elle détermine la disposition des parties prenantes à fournir une information complète. Lors de la phase d'éllicitation (Socialisation), le transfert de connaissances s'effectue par interaction directe. La confiance bienveillante est définie comme la perception de l'intérêt authentique porté à autrui. La confiance intègre est fondée sur la cohérence comportementale perçue. Ces deux formes génèrent la sécurité psychologique indispensable à une communication non ambiguë. Lors de la phase post-élicitation (Externalisation-Combinaison), la confiance accumulée rend possible une validation collaborative. Les parties prenantes convertissent alors les connaissances tacites en artefacts d'exigences formalisés.

Trois dynamiques critiques régissent ce processus. La confiance s'accumule de manière transversale entre les phases. Les résultats qualitatifs renforcent ou érodent récursivement la confiance pour les itérations ultérieures. Toute instabilité de la confiance perturbe la conversion des connaissances en aval.

La confiance opère selon une logique de réciprocité dans le cadre du REP. Elle est à la fois prérequis et résultat d'un transfert de connaissances efficace. Ce caractère dual instaure un cercle vertueux entre confiance et partage des connaissances. La progression des niveaux de confiance accroît la disposition des équipes au raffinement itératif. Elle favorise également le retour constructif et l'apprentissage adaptatif. Ces conditions sont nécessaires à l'élévation de la qualité des pratiques d'éllicitation.

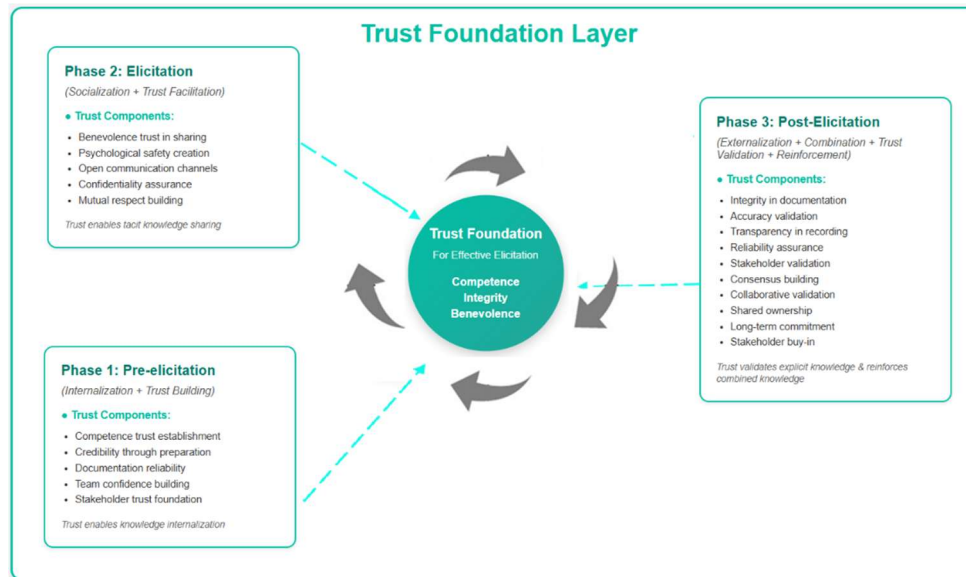


Figure 5.5: La « Trust Foundation » (alliant compétence, intégrité et bienveillance) en tant qu'élément central autour duquel s'articule l'ensemble du cycle de recueil des exigences

5.9 Cadre intégratif : Dynamiques Trust-S.E.C.I-Qualité dans les phases du REP

Ce travail propose un cadre conceptuel intégrant la confiance dans les activités du REP (Figure 5.6). Ce modèle explicite la manière dont les relations de confiance deviennent déterminantes lors de la collecte des exigences. Les parties prenantes doivent accepter de partager leurs connaissances. Elles doivent admettre leurs incertitudes. Elles doivent s'engager honnêtement avec les analystes. Ces trois dispositions conditionnent la qualité des exigences.

Le cadre articule trois perspectives théoriques complémentaires au sein d'une architecture unifiée. Le modèle S.E.C.I fournit une structure temporelle selon une hiérarchie Phase-Activité-Tâche. Cette hiérarchie recouvre quatre modes de conversion des connaissances. Ces modes sont l'Internalisation, la Socialisation, l'Externalisation et la Combinaison. L'Ingénierie de la Collaboration opérationnalise les interactions entre parties prenantes. Elle recourt à des entités PROCESSUS_COLLABORATIF structurées autour de patrons de facilitation formalisés. Ces patrons encadrent la participation d'entités ACTEUR_CONFIANCE. La théorie de la confiance opère comme mécanisme modérateur. Elle est représentée par des concepts CONFIANCE qui régulent les flux de connaissances.

Le modèle identifie des voies causales précises par lesquelles la confiance exerce son influence. La confiance agit sur la disposition des parties prenantes à externaliser leurs connaissances tacites. Elle détermine la qualité de l'articulation lors de l'Externalisation. Elle conditionne la fiabilité de l'intégration des connaissances lors de la Combinaison. Ces effets sont opérationnalisés par des relations de type "participer à la définition". Ces relations établissent un lien entre les entités ACTEUR_CONFIANCE et les spécifications de BESOIN. Ces spécifications produisent en aval des artefacts EXIGENCE formalisés.

Ce cadre ne constitue pas une liste statique de concepts. Il représente des voies dynamiques au sein desquelles la confiance renforce la conversion collaborative des connaissances. Cette conversion impacte directement la qualité des exigences produites. Le cadre fournit le fondement ontologique

nécessaire à la mesure des relations confiance-connaissance-qualité. Cette mesure est destinée à la phase de validation empirique du projet de recherche.

L'originalité de ce cadre tient à la nature triple de son ancrage théorique. Aucun travail antérieur ne propose une telle intégration simultanée appliquée au REP. Le modèle S.E.C.I a été mobilisé isolément pour analyser les flux de connaissances. L'Ingénierie de la Collaboration a été appliquée à la structuration des processus d'interaction. Elle n'a pas été articulée explicitement avec les mécanismes de confiance. La théorie de la confiance a été étudiée comme variable indépendante ou modératrice. Elle l'a été dans des contextes généraux de gestion de projet. Elle n'a pas été ancrée dans les phases spécifiques du REP.

La contribution de ce cadre est double. Sur le plan théorique, il offre une représentation intégrée des relations entre confiance, conversion des connaissances et qualité des exigences. Sur le plan empirique, il délimite un espace de mesure structuré. Cet espace permet de tester ces relations à travers les phases successives du REP.

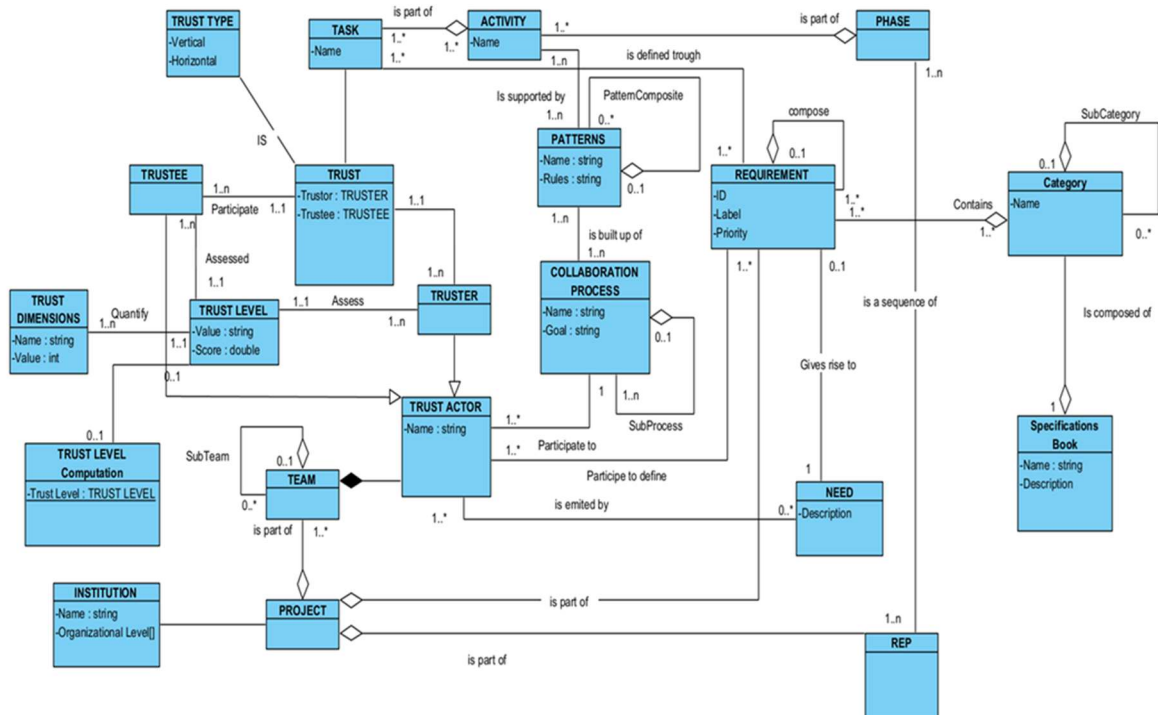


Figure 5.6: Cadre conceptuel : le modèle SECI (Socialisation, Externalisation, Combinaison et Intériorisation) axé sur la confiance dans le processus d'élicitation des exigences (REP)

Ce cadre conceptuel constitue une contribution théorique structurée à l'ingénierie des exigences. Il démontre que la confiance ne peut être réduite à une variable contextuelle secondaire. Elle opère comme mécanisme central de régulation des processus de conversion des connaissances dans le REP. Son intégration simultanée avec le modèle S.E.C.I et l'Ingénierie de la Collaboration produit un dispositif analytique cohérent. Ce dispositif permet d'étudier les relations entre confiance, connaissances et qualité des exigences. Il offre également une base opérationnelle pour la conception d'instruments de mesure empiriques.

Les voies causales identifiées révèlent que la qualité des artefacts d'exigences

n'est pas exclusivement déterminée par des procédures techniques. Elle dépend de la qualité des relations intersubjectives entre analystes et parties prenantes. Cette perspective ouvre des perspectives nouvelles pour la recherche en ingénierie des exigences. Elle invite à intégrer systématiquement les dimensions sociales et relationnelles dans la modélisation des processus d'élicitation. Les développements empiriques exposés dans la section suivante s'appuient sur ce cadre pour opérationnaliser et tester ces relations.

5.10 Étude de Cas : Application du Cadre SECI-Trust à la Conception de MOOCs

Cette étude de cas constitue le volet empirique de la thèse. Elle assure la transition entre le cadre théorique et mathématique développé dans les chapitres précédents et son application à un terrain concret : la conception de Massive Open Online Courses (MOOCs) dans le cadre de l'initiative nationale algérienne pilotée par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESRS), dont l'objectif est de convertir des modules transversaux de formation en cursus numériques accessibles à grande échelle.

Ce contexte soulève une problématique centrale : produire un document de Spécification des Exigences (RS) de haute qualité suppose d'articuler, de manière cohérente, des objectifs pédagogiques, des contraintes techniques et des dynamiques collaboratives entre parties prenantes aux profils hétérogènes. Or, la littérature souligne que la qualité des MOOCs demeure une préoccupation persistante, en partie parce qu'aucun consensus ne s'est imposé sur les critères permettant de l'évaluer. C'est précisément face à ce vide que le cadre SECI-Trust, articulant les processus de conversion de connaissances (Socialisation, Externalisation, Combinaison, Internalisation) à une mesure formalisée de la confiance entre parties prenantes, apporte un outil analytique rigoureux pour comprendre et améliorer la qualité des exigences produites.

La contribution méthodologique de cette étude de cas est double. Elle présente d'abord le cadre mathématique complet permettant d'opérationnaliser les mesures de trust et de qualité dans les trois phases du REP. Elle montre ensuite comment ce cadre s'applique concrètement pour identifier des patterns récurrents, anticiper des résultats et orienter des interventions ciblées. Chaque indice, modèle statistique et technique analytique mobilisés répondent directement à des questions de recherche précises sur la manière dont la confiance façonne la qualité des exigences à travers les processus de conversion de connaissances.

5.10.1 Méthodologie et Cadre de Collecte des Données

La solidité d'un cadre théorique se mesure à la rigueur de sa validation empirique. La présente section expose en détail la méthodologie de recherche adoptée pour tester les propositions du modèle SECI-Trust dans des contextes réels d'élicitation des exigences. Elle justifie les choix de design, documente les procédures de collecte des données, et explicite les stratégies de contrôle des biais qui garantissent la validité interne et externe des résultats. L'ensemble de ces décisions méthodologiques vise à combler les lacunes identifiées dans la littérature antérieure, notamment l'absence d'études longitudinales à grande échelle sur la relation entre trust et qualité des exigences dans les systèmes d'information pédagogiques.

5.10.1.1. Vue d'Ensemble de l'Étude

h) Design Longitudinal sur 24 Mois

Cette recherche adopte un design longitudinal sur 24 mois afin de valider empiriquement le modèle SECI-Trust proposé dans des contextes réalistes d'élicitation des exigences. Ce choix méthodologique est motivé par la nature intrinsèquement dynamique du trust : comme le souligne la littérature (Cho et al., 2015 ; Castelfranchi & Falcone, 2010), la confiance évolue dans le temps en fonction des interactions accumulées, des résultats observés et des contextes situationnels. Un design transversal ne permettrait pas de capturer ces trajectoires évolutives ni d'établir des relations causales robustes entre la formation du trust et la qualité des exigences.

Le design longitudinal permet de suivre l'évolution du trust et des résultats en matière de qualité des exigences sur des cycles de projet complets, offrant ainsi une analyse temporelle robuste et comparative. Les données sont collectées à trois points de mesure structurés, alignés sur les phases du modèle SECI :

Tableau 5-2: Alignement des points de mesure sur les phases SECI-Trust

Point de mesure	Phase SECI associée	Phase REP	Objet de la mesure
T ₁	Internalisation	Pré-élicitation (20 %)	Trust initial, compétence perçue, intentions collaboratives
T ₂	Socialisation	Élicitation (30 %)	Trust interactionnel, qualité des échanges, cohérence émergente
T ₃	Externalisation–Combinaison	Post-élicitation (50 %)	Trust consolidé, qualité documentée des exigences, validation

Cette architecture temporelle permet à la fois une analyse longitudinale intra-sujet (évolution du trust d'un même projet au fil du temps) et une analyse comparative inter-projets (comparaison des trajectoires de trust entre les 45 projets de l'échantillon), renforçant significativement la validité externe des conclusions.

i) Composition de l'Échantillon Empirique

Le jeu de données empirique comprend 500 parties prenantes impliquées dans 45 projets de systèmes d'information pédagogiques, conduits au sein d'environnements d'enseignement supérieur et d'apprentissage numérique. La taille de cet échantillon — significativement supérieure aux études antérieures dans le domaine (généralement limitées à moins de 100 participants) — confère au modèle une puissance statistique suffisante pour détecter des effets de taille modérée et pour généraliser les résultats au-delà des contextes idiosyncratiques d'une seule équipe ou organisation.

Tableau 5-3: Paramètres de l'échantillon empirique, étude longitudinale SECI-Trust.

Dimension de l'échantillon	Valeur	Justification méthodologique
Nombre de parties prenantes	500	Puissance statistique suffisante pour SEM et analyses de sous-groupes
Nombre de projets	45	Diversité inter-projets garantissant la généralisation

		externe
Observations temporelles totales	1 500	3 points de mesure × 500 participants = couverture longitudinale complète
Durée de l'étude	24 mois	Capture de cycles de projet complets, y compris phases de post-validation

j) Typologies de Projets Étudiés

Les 45 projets retenus appartiennent à quatre catégories de systèmes d'information pédagogiques, toutes caractérisées par des interactions intensives entre parties prenantes lors de la phase d'élicitation des exigences. Cette diversité typologique est délibérée : elle permet de tester la robustesse du modèle SECI-Trust à travers des contextes organisationnels, techniques et collaboratifs variés.

– **Plateformes MOOC (Massive Open Online Courses)** : systèmes à grande échelle impliquant des équipes pédagogiques, des ingénieurs informatiques et des représentants institutionnels (notamment dans le cadre de l'initiative MESRS). Ces projets se distinguent par la complexité des exigences fonctionnelles et la multiplicité des parties prenantes.

– **Systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS)** : environnements numériques centrés sur la gestion des cours, des évaluations et des parcours d'apprentissage. La tension entre exigences pédagogiques et contraintes techniques est particulièrement prononcée dans ce type de projet.

– **Portails d'information académique** : systèmes transversaux d'accès à l'information institutionnelle, caractérisés par des enjeux forts d'interopérabilité et de cohérence des données entre départements.

– **Outils collaboratifs éducatifs** : applications dédiées au travail collaboratif en contexte d'enseignement (co-rédaction, forums structurés, espaces de projet partagés), où la dynamique de trust entre pairs joue un rôle particulièrement saillant dans la qualité des exigences émergentes.

k) Opérationnalisation des Dimensions du Trust

L'opérationnalisation des dimensions de trust et de qualité des exigences suit rigoureusement les définitions théoriques établies dans les chapitres précédents, garantissant la cohérence entre le modèle conceptuel et les instruments de mesure empiriques.

Trust (variable latente η_{Trust}) : opérationnalisé à travers les trois dimensions tripartites de Mayer et al. (1995) Compétence, Bienveillance et Intégrité mesurées sur une échelle de Likert à 7 points (0–100 après normalisation). Les charges factorielles validées sont $\lambda_{\text{Compétence}} = 0.89$, $\lambda_{\text{Bienveillance}} = 0.84$, $\lambda_{\text{Intégrité}} = 0.87$, conformément à l'échelle de trust de Mayer et al. adoptée dans le cadre SEM.

Qualité des exigences (variable latente η_{Quality}) : évaluée à travers trois dimensions cohérentes avec la littérature en ingénierie des exigences (Sommerville, 2016) Complétude (Completeness), Cohérence (Consistency) et Clarté (Clarity) avec des charges factorielles respectives de $\lambda = 0.85, 0.88$ et 0.82 .

Processus SECI (variable latente η_{SECI}) : mesuré par des indicateurs de

l'intensité et de la qualité des quatre modes de conversion de connaissances (Socialisation, Externalisation, Combinaison, Internalisation) dans chaque phase du REP.

Tableau 5-4: Opérationnalisation des facteurs d'après Mayer et al. (1995) pour le trust et Sommerville (2016) pour la qualité des exigences. Charges factorielles confirmées par CFA sur l'échantillon de 500 parties prenantes.

Construit latent	Dimensions observées	Charge λ	Échelle de mesure
$\eta_{\text{Trust}} \rightarrow$ Compétence	Expertise technique perçue du requirements engineer	0.89	Likert 7 pts (normalisée 0–100)
$\eta_{\text{Trust}} \rightarrow$ Bienveillance	Perception de la sincérité et du souci des intérêts de la partie prenante	0.84	Likert 7 pts (normalisée 0–100)
$\eta_{\text{Trust}} \rightarrow$ Intégrité	Croyance dans le respect des engagements éthiques et de transparence	0.87	Likert 7 pts (normalisée 0–100)
η_{Quality} Complétude $\rightarrow$	Couverture exhaustive des besoins fonctionnels et non-fonctionnels	0.85	Rubrique d'évaluation (0–100)
$\eta_{\text{Quality}} \rightarrow$ Cohérence	Absence de contradictions logiques entre exigences	0.88	Rubrique d'évaluation (0–100)
$\eta_{\text{Quality}} \rightarrow$ Clarté	Non-ambiguïté et précision de la formulation des exigences	0.82	Rubrique d'évaluation (0–100)

5.10.1.2. Fiabilité, Validité et Contrôle des Biais

a) Fiabilité de la Mesure : Cohérence Interne

La fiabilité de la mesure a été évaluée par l'alpha de Cronbach pour tous les facteurs de trust et de qualité. L'ensemble des facteurs dépasse le seuil recommandé $\alpha > 0.80$, attestant d'une cohérence interne satisfaisante des instruments de mesure :

$$\alpha = [k / (k - 1)] \times [1 - \Sigma \sigma_i^2 / \sigma_{total}^2]$$

Les résultats obtenus $\alpha > 0.90$ pour les trois dimensions de trust et $\alpha > 0.85$ pour les trois dimensions de qualité confirment que les items de chaque sous-échelle mesurent de manière cohérente leur construit latent respectif. Ce niveau de fiabilité est cohérent avec les études antérieures utilisant l'échelle de Mayer et al. (1995) dans des contextes organisationnels.

b) Validité des Facteurs

La validité des facteurs a été confirmée par deux approches complémentaires :

Analyse Factorielle Confirmatoire (CFA) : les structures factorielles théoriques (un facteur de trust à trois indicateurs, un facteur de qualité à trois indicateurs) ont été testées et confirmées sur l'échantillon complet. Toutes les charges factorielles standardisées dépassent 0.80 (seuil minimal recommandé de 0.70 selon Hair et al., 2019), attestant d'une validité convergente élevée.

Modélisation par Équations Structurelles (SEM) : le modèle structurel complet, intégrant les relations entre η_{Trust} , η_{SECI} et η_{Quality} , présente des

indices d'ajustement satisfaisants (CFI = 0.952, TLI = 0.941, RMSEA = 0.058, SRMR = 0.045), confirmant la validité nomologique du cadre théorique. La variance moyenne extraite (AVE) dépasse 0.50 pour tous les facteurs, et les corrélations inter-facteurs restent inférieures à la racine carrée de l'AVE correspondante, confirmant la validité discriminante.

Tableau 5-5: Critères de validité selon Hair et al. (2019), Hu & Bentler (1999) et Fornell & Larcker (1981). Résultats obtenus sur l'échantillon longitudinal de 500 parties prenantes

Critère de validité	Indicateur	Valeur obtenue	Seuil recommandé	Verdict
Validité convergente	Charges factorielles λ	> 0.80 (tous items)	> 0.70	✓ Confirmée
Validité convergente	Average Variance Extracted (AVE)	> 0.50 (tous facteurs)	> 0.50	✓ Confirmée
Validité discriminante	$\sqrt{\text{AVE}} > \text{corrélations inter-facteurs}$	Respecté pour tous les paires	$\sqrt{\text{AVE}} > r_{\text{facteurs}}$	✓ Confirmée
Validité nomologique	Ajustement SEM (CFI, TLI)	CFI = 0.952 ; TLI = 0.941	> 0.90	✓ Confirmée
Fiabilité de la mesure	Alpha de Cronbach α	> 0.90 (trust) ; > 0.85 (qualité)	> 0.80	✓ Confirmée

c) 7.2.2.3 Stratégies de Contrôle des Biais

La validité interne de l'étude repose sur un ensemble de procédures de contrôle des biais, soigneusement intégrées au protocole de collecte des données.

Biais de Méthode Commune (Common Method Bias)

Le design longitudinal réduit structurellement le biais de méthode commune (Podsakoff et al., 2003) en séparant les points de mesure des variables indépendantes (trust) et dépendantes (qualité des exigences) à travers les différentes phases du REP. En particulier, la mesure du trust en T₁ (pré-élicitation) précède temporellement la mesure de la qualité des exigences en T₃ (post-élicitation), éliminant toute contamination synchronique entre les facteurs. Cette séparation temporelle est renforcée par l'utilisation d'instruments de mesure distincts pour le trust et la qualité, limitant les possibilités d'inflation des corrélations par variance partagée de méthode.

Biais de Désirabilité Sociale

Le biais de désirabilité sociale tendance des répondants à modifier leurs évaluations dans le sens de ce qu'ils perçoivent comme socialement acceptable a été atténué par deux mécanismes complémentaires :

- **Anonymisation des données** : toutes les évaluations ont été collectées de manière anonyme, découplant les réponses individuelles de toute conséquence organisationnelle ou relationnelle identifiable.

- **Évaluations à rôles séparés** : les parties prenantes ont évalué les ingénieurs d'exigences (et vice versa), évitant ainsi les phénomènes d'auto-évaluation et de confirmation mutuelle qui biaisent fréquemment les études basées sur des données provenant d'une seule source.

Effets Idiosyncratiques et Biais d'Équipe Unique

Contrairement aux études exploratoires antérieures limitées à de petits échantillons (généralement une à trois équipes), le présent design 45 projets distincts, 500 parties prenantes, 1 500 observations temporelles minimise structurellement les effets idiosyncratiques associés à la dynamique d'une équipe singulière. La diversité des types de projets (MOOCs, LMS, portails, outils collaboratifs) et des contextes institutionnels renforce également la généralisation externe des résultats, permettant une inférence statistiquement significative au-delà des spécificités de l'initiative MESRS.

Tableau 5-6: Stratégies de contrôle des biais adaptées de Podsakoff et al. (2003) et Shadish et al. (2002). Design de collect développé spécifiquement pour l'étude longitudinale SECI-Trust

Source de biais potentiel	Mécanisme de contrôle adopté	Efficacité attendue
Biais de méthode commune	Séparation temporelle des mesures ($T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3$) via design longitudinal	Réduction structurelle de la contamination synchronique
Biais de désirabilité sociale	Anonymisation complète + évaluations croisées (parties prenantes ↔ ingénieurs)	Atténuation de la pression sociale sur les réponses
Effets d'équipe unique	Échantillon multi-projets ($n = 45$) et multi-parties prenantes ($N = 500$)	Généralisation externe robuste
Biais de rappel rétrospectif	Collecte des données en temps réel à chaque phase SECI	Élimination des distorsions mémorielles
Biais de sélection	Inclusion de projets de types et tailles variés	Représentativité accrue de la population cible

d) 7.2.2.4 Comparaison avec les Études Antérieures

Le positionnement méthodologique de la présente étude par rapport à la littérature existante mérite d'être explicité. Les études antérieures sur la relation trust-qualité dans les processus REP souffrent de limitations méthodologiques récurrentes qui restreignent leur portée inférentielle :

Tableau 5-7: Comparaison méthodologique synthétisée.

Critère	Études antérieures (état de l'art)	Présente étude
Design temporel	Transversal (mesure unique)	Longitudinal (3 points × 24 mois)
Taille d'échantillon	< 100 participants	500 parties prenantes
Nombre de projets	1 à 5 projets	45 projets distincts
Observations totales	< 200	1 500 observations temporelles
Contrôle des biais	Limité ou non documenté	Protocole multi-stratégies documenté
Validité externe	Limitée (contexte unique)	Généralisable (multi-projets, multi-contextes)

Modélisation statistique	Régression simple ou corrélation	SEM + CFA + tests d'invariance
Opérationnalisation du trust	Unidimensionnelle ou ad hoc	Tripartite (Mayer et al., 1995), validée CFA

Cette comparaison illustre le saut qualitatif opéré par le présent design : contrairement aux études exploratoires antérieures, il supporte une inférence généralisable à travers des projets, des rôles et des contextes organisationnels variés, validant ainsi statistiquement les propositions du modèle SECI-Trust dans une perspective de mise à l'échelle nationale telle que celle envisagée par l'initiative MESRS.

5.10.2 Cadre Mathématique : Indices de Performance Fondamentaux

5.10.2.1 Trust Quality Index (TQI)

Le cadre mathématique établit deux indices de performance fondamentaux qui servent d'indicateurs primaires de l'efficacité du REP. Ces indices agrègent les mesures de trust et de qualité selon des logiques de pondération reflétant l'impact différentiel de chaque phase sur les résultats finaux.

Le Trust Quality Index (TQI) fournit une mesure composite de la confiance sur les trois phases SECI, pondérée selon leur impact différentiel sur les résultats en matière de qualité des exigences. La distribution pondérée adoptée pré-élicitation (20 %), élicitation (30 %), post-élicitation (50 %), reflète le caractère cumulatif du développement de la confiance et son impact maximal lors des activités post-élicitation :

$$TQI = \sum_{i=1}^n (w_i * T_i) \quad (5-1)$$

où w_i représente le poids de la phase i dans le processus REP, T_i désigne la mesure de trust correspondante (Compétence, Bienveillance ou Intégrité) pour la phase i , et n est le nombre de dimensions considérées. Un seuil empiriquement validé fixe $TQI < 70$ comme déclencheur d'intervention corrective immédiate.

5.10.1.1. Requirements Quality Index (RQI)

Le Requirements Quality Index (RQI) quantifie les métriques de qualité des exigences à travers une agrégation pondérée des trois dimensions retenues Complétude (Completeness), Cohérence (Consistency) et Clarté (Clarity) :

$$RQI = \sum_{j=1}^m (w_j \times Q_j) \quad (5-2)$$

où w_j représente le poids associé à la dimension de qualité j , Q_j indique la mesure de cette dimension sur une échelle de 0 à 100, et m est le nombre de dimensions de qualité. Le seuil de révision est fixé à $RQI < 75$, en deçà duquel des protocoles d'amélioration qualitative sont obligatoirement déclenchés.

Tableau 5-8: Indices opérationnalisés, Seuils empiriquement validés sur l'étude de cas MESRS.

Indice	Formule	Seuil critique	Protocole d'action
Trust Quality Index (TQI)	$\Sigma(w_i \times T_i)$	TQI < 70	Ajustement immédiat du processus d'éllicitation
Requirements Quality Index (RQI)	$\Sigma(w_j \times Q_j)$	RQI < 75	Protocole de révision et d'amélioration qualitative

La relation structurelle entre TQI et RQI est modélisée par l'équation principale du cadre SEM, qui établit que la qualité des exigences η_{Quality} est une fonction linéaire de la confiance η_{Trust} et du processus SECI η_{SECI} , avec des coefficients de chemin $\beta_1 = 0.72$ et $\beta_2 = 0.45$ respectivement :

$$\eta_{\text{Quality}} = 0.72 \cdot \eta_{\text{Trust}} + 0.45 \cdot \eta_{\text{SECI}} + \zeta \quad (5-3)$$

Ce résultat confirme que le trust constitue le prédicteur dominant de la qualité des exigences, son effet ($\beta_1 = 0.72$) étant nettement supérieur à celui du seul processus SECI ($\beta_2 = 0.45$). L'effet indirect du SECI sur la qualité, médiatisé par le trust ($\gamma_2 = 0.68$), renforce cette conclusion.

5.10.3 Méthodologie d'Analyse de la Variance du Trust

La cohérence de la mesure du trust constitue un prérequis à la validité des indices agrégés TQI et RQI. Le cadre adopte un ensemble de paramètres statistiques standards pour évaluer cette cohérence : moyenne (μ), variance (σ^2), écart-type (σ) et coefficient de variation (CV). Ce dernier, exprimé en pourcentage, est l'indicateur central du diagnostic de fiabilité de la mesure :

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100 \quad (5-4)$$

5.10.3.1 Cadre Diagnostique par Catégories de Fiabilité

Un système diagnostique à code couleur a été établi sur la base de trois catégories de fiabilité de la mesure. Ce système permet l'identification systématique de la stabilité des mesures et guide les décisions de contrôle qualité dans les protocoles d'évaluation du trust :

Tableau 5-9: Cadre diagnostique CV adapté du framework SECI-Trust.

Catégorie	Plage du CV	Interprétation	Action recommandée
Haute consistance	CV < 10 %	Stabilité mesurée exceptionnelle ; confiance dans l'indicateur	Aucune intervention requise ; surveillance standard

Variabilité modérée	$10 \% \leq CV \leq 20 \%$	Évolution naturelle du trust ; cohérente avec la dynamique SECI	Interprétation contextuelle ; suivi renforcé
Haute variabilité	$CV > 20 \%$	Instabilité de la mesure ; risque de biais dans l'agrégation	Investigation statistique et intervention ciblée

L'algorithme de reconnaissance de patterns automatisé identifie les dimensions de trust présentant une stabilité exceptionnelle ($CV < 10 \%$) qualifiées de « dimensions d'ancrage » par opposition aux dimensions nécessitant une attention renforcée ($CV > 20 \%$), dites « dimensions à risque ». L'analyse de transition inter-phases détecte les patterns d'évolution du trust à travers les phases SECI, permettant l'identification des points d'intervention optimaux avant qu'une dégradation ne se produise.

5.10.3.2 Analyse de Corrélation Inter-Phases

5.10.1.1.1. Coefficient de Corrélation de Pearson

L'analyse de corrélation inter-phases emploie le coefficient de corrélation de Pearson pour quantifier l'évolution des relations de trust à travers les phases SECI. Pour deux variables x (phase source) et y (phase cible) :

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5-5)$$

Ce coefficient mesure la force et la direction de la relation linéaire entre les niveaux de trust de deux phases consécutives du REP. Il permet d'évaluer si la confiance établie en pré-élicitation se transfère efficacement vers la phase d'éllicitation, et si celle-ci constitue un substrat solide pour la phase post-élicitation.

5.10.1.1.2. Classification des Coefficients et Protocoles de Décision

Les coefficients de corrélation entre phases de mesure consécutives sont classifiés selon des seuils statistiques standards, associés à des protocoles d'action spécifiques :

Tableau 5-10: Classification adaptée du framework SECI-Trust.

Catégorie	Plage de r	Interprétation substantielle	Protocole de décision
Corrélation forte	$r > 0.7$	Dynamique collaborative efficace ; transfert de trust inter-phases prévisible	Réduction de la supervision ; maintien du processus
Corrélation modérée	$0.3 \leq r \leq 0.7$	Évolution naturelle du trust ; interprétation contextuelle nécessaire	Suivi contextuel ; analyse des facteurs d'évolution

Corrélation faible	$r < 0.3$	Discontinuité dans le transfert de trust ; risque de rupture collaborative	Interventions ciblées ; révision du protocole d'éllicitation
Seuil de réduction de supervision	$r > 0.9$	Stabilité du trust suffisante pour réduire le niveau d'encadrement	Autonomisation progressive des parties prenantes

Le seuil $r > 0.9$ mérite une attention particulière : au-delà de ce niveau, la stabilité du trust est jugée suffisante pour réduire les exigences de supervision du processus d'éllicitation. Ce critère opérationnel constitue un levier direct de gestion des ressources dans les projets REP à grande échelle, tels que la conversion des modules MESRS.

5.10.1.2. Fiabilité et Validation Statistique du Cadre

5.10.1.2.1. Alpha de Cronbach

La cohérence interne des instruments de mesure du trust est évaluée par l'alpha de Cronbach, qui quantifie dans quelle mesure les items d'une échelle mesurent le même construit latent :

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \times \left(1 - \frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma_{total}^2} \right) \quad (5-6)$$

où k représente le nombre d'items de l'échelle, σ_i^2 désigne la variance de l'item i , et σ_{total}^2 représente la variance totale de l'échelle. Des valeurs $\alpha > 0.9$ confirment une fiabilité de mesure exceptionnelle, validant la cohérence interne des instruments utilisés pour mesurer les trois dimensions de trust (Compétence, Bienveillance, Intégrité) ainsi que les trois dimensions de qualité (Complétude, Cohérence, Clarté).

5.10.1.2.2. Tests de Signification Statistique

La signification statistique de l'efficacité du processus d'éllicitation est évaluée par des tests t indépendants, permettant de comparer les niveaux moyens de trust entre phases d'éllicitation ou groupes de parties prenantes :

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (5-7)$$

où $\bar{x}_1$ et $\bar{x}_2$ représentent les moyennes des deux groupes comparés, s_1^2 et s_2^2 leurs variances respectives, et n_1 , n_2 leurs effectifs. Ce test permet de déterminer si les différences observées dans les niveaux de trust entre phases ou entre

groupes de stakeholders sont statistiquement significatives ou attribuables à la variabilité aléatoire.

5.10.1.2.3. Taille de l'Effet : d de Cohen

La significativité statistique étant insuffisante pour évaluer l'impact pratique des interventions, le d de Cohen est utilisé pour quantifier la taille de l'effet :

$$d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{pooled}} \quad (5-8)$$

où S_{pooled} est l'écart-type commun (pooled) des deux groupes. Un seuil $d > 0.8$ est retenu pour attester d'un impact fort des interventions correctives sur l'amélioration du trust. Ce critère garantit que les ajustements du processus REP ne sont pas seulement statistiquement significatifs, mais ont une portée pratique substantielle sur la qualité des exigences produites.

5.10.1.2.4. Intervalles de Confiance à 95 %

La précision des estimations de trust est évaluée à travers les intervalles de confiance à 95 %, calculés par :

$$IC = \bar{x} \pm 1.96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5-9)$$

où $\bar{x}$ représente la moyenne observée, σ l'écart-type de la population, et n la taille de l'échantillon. Ces intervalles permettent de quantifier l'incertitude autour des estimations de trust et d'établir des bornes de décision robustes pour les protocoles d'intervention.

Tableau 5-11: Synthèse des techniques de validation statistique framework SECI-Trust

Technique statistique	Formule	Seuil de validation	Rôle dans le cadre
Alpha de Cronbach	$\alpha = [k/(k-1)] \times [1 - \Sigma \sigma_i^2 / \sigma_{total}^2]$	$\alpha > 0.9$	Cohérence interne des échelles de mesure
Test t indépendant	$t = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) / \sqrt{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)}$	$p < 0.05$	Significane des différences inter-phases/groupes
d de Cohen	$d = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) / S_{pooled}$	$d > 0.8$	Impact pratique des interventions correctives
Intervalle de confiance 95 %	$IC = \bar{x} \pm 1.96 \times (\sigma/\sqrt{n})$	Bornes non chevauchantes	Précision des estimations de trust

5.10.1.3. Modélisation Prédictive de la Qualité des Exigences

5.10.1.3.1. Prédiction Multi-Phases par Régression

L'une des contributions opérationnelles majeures du cadre est sa capacité de prédiction 2 à 3 phases en avance de la qualité des exigences, permettant une gestion proactive du processus REP. Le score de qualité prédictif (PQS) est modélisé par régression linéaire multiple :

$$PQS_{t+k} = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \dots + \beta_n X_{nt} + \varepsilon \quad (5-10)$$

où PQS_{t+k} représente le score de qualité prédit k phases en avant, β_0 est l'intercept du modèle, $\beta_1 \dots \beta_n$ sont les coefficients de régression associés aux prédicteurs $X_{1t} \dots X_{nt}$ (mesures de trust de la phase courante t), et ε le terme d'erreur résiduelle. Cette approche permet aux ingénieurs d'exigences d'anticiper les risques de dégradation qualitative avant qu'ils ne se matérialisent, et d'ajuster proactivement les interventions.

5.10.1.3.2. Algorithmes de Reconnaissance Automatique de Patterns

Le cadre intègre des capacités de reconnaissance intelligente de patterns qui identifient automatiquement les dynamiques de trust et génèrent des insights actionnables. Deux familles d'algorithmes structurent cette intelligence diagnostique :

Algorithmes d'évaluation de la consistance du trust. Ces algorithmes identifient les dimensions présentant une stabilité exceptionnelle ($CV < 10\%$, dimensions d'ancrage) versus celles nécessitant une attention renforcée ($CV > 20\%$, dimensions à risque). La détection précoce des dimensions à risque permet d'orienter les efforts de facilitation vers les leviers les plus critiques.

Systèmes d'analyse de transition inter-phases. Ces systèmes détectent les patterns d'évolution du trust à travers les phases SECI, identifiant les points d'intervention optimaux c'est-à-dire les transitions inter-phases où le risque de rupture collaborative est maximal. Ce diagnostic prospectif est particulièrement précieux pour les projets à grande échelle comme la conversion de modules MESRS, où les coûts de défaillance en post-élicitation sont élevés.

5.10.1.4. Modélisation par Équations Structurelles

5.10.1.4.1. Spécification et Estimation du Modèle

Le modèle SEM a été estimé par la méthode du Maximum de Vraisemblance (ML). La matrice de covariance implicite au modèle, qui constitue le cœur de la spécification, est définie comme :

$$\Sigma(\theta) = \Lambda(\Phi)\Lambda' + \Theta \quad (5-11)$$

où Λ représente la matrice de charges factorielles reliant les variables observées (mesures de trust et de qualité) aux facteurs latents (Trust, Qualité, SECI), Φ désigne la matrice de covariance des variables latentes, et Θ représente la matrice de covariance des erreurs de mesure (unicité). L'estimation ML minimise l'écart entre la matrice de covariance observée S et la matrice implicite $\Sigma(\theta)$, garantissant l'optimalité asymptotique des estimateurs dans des conditions de normalité multivariée.

5.10.1.4.2. Évaluation de l'Ajustement du Modèle

L'ajustement du modèle a été évalué par le test du chi-carré de Pearson, dont la statistique est calculée comme :

$$\chi^2 = (N - 1) \times [\text{tr}(S\Sigma^{-1}) + \log|\Sigma| - \log|S| - p] \quad 5-12$$

où N représente la taille de l'échantillon, S la matrice de covariance observée, Σ la matrice de covariance implicite au modèle, et p le nombre de variables observées. L'analyse a produit $\chi^2 = 156.240$ (df = 87, p = 0.001). Bien que le test chi-carré soit sensible à la taille d'échantillon, les indices d'ajustement complémentaires confirment la validité du modèle :

Tableau 5-12: Indices d'ajustement calculés d'après le framework SECI-Trust, Seuils conventionnels selon Hu & Bentler (1999) et Kline (2016).

Indice d'ajustement	Valeur obtenue	Seuil d'acceptabilité	Verdict
CFI (Comparative Fit Index)	0.952	> 0.90	✓ Ajustement satisfaisant
TLI (Tucker-Lewis Index)	0.941	> 0.90	✓ Ajustement satisfaisant
RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation)	0.058	< 0.08	✓ Erreur d'approximation acceptable
SRMR (Standardized Root Mean Square Residual)	0.045	< 0.08	✓ Résidus standardisés acceptables
χ^2 / df	1.796	< 3.0	✓ Parcimonie du modèle confirmée

5.10.1.4.3. Résultats du Modèle de Mesure : Charges Factorielles Standardisées

Les charges factorielles standardisées λ_{ij} ont été calculées selon la formule :

$$\lambda_{ij} = \frac{\gamma_i \sqrt{\phi_j}}{\sqrt{\vartheta_i + \theta_i}} \quad (5-13)$$

où λ_{ij} représente la charge factorielle standardisée (force de la relation entre l'indicateur observé i et le facteur latent j), γ_i est le coefficient de chemin non standardisé, ϕ_j la variance du construit latent j, ϑ_i la variance vraie (variance commune) de l'indicateur i, et θ_i la variance d'erreur de mesure de l'indicateur i. Le dénominateur ($\vartheta_i + \theta_i$) constitue la variance totale de l'indicateur, assurant que toutes les charges sont exprimées sur une échelle comparable.

Toutes les charges factorielles ont dépassé le seuil critique de 0.80, confirmant des relations fortes entre les facteurs latents et leurs indicateurs. Les résultats sont détaillés ci-dessous :

Tableau 5-13: Charges factorielles adoptées de l'échelle de trust validée de Mayer et al. (1995) $\lambda_{\text{compétence}} = 0.89$,

$$\lambda_{\text{bienveillance}} = 0.84, \lambda_{\text{intégrité}} = 0.87.$$

Dimension	Indicateur observé	Charge λ	Variance expliquée (λ^2)	Statut
Trust Compétence (η_{Trust})	Mesure de compétence technique	0.89	79.2 %	✓ Fort
Trust Bienveillance (η_{Trust})	Mesure de bienveillance perçue	0.84	70.6 %	✓ Fort
Trust Intégrité (η_{Trust})	Mesure d'intégrité déclarée	0.87	75.7 %	✓ Fort
Qualité Complétude (η_{Quality})	Score de complétude des exigences	0.85	72.3 %	✓ Fort
Qualité Cohérence (η_{Quality})	Score de cohérence des exigences	0.88	77.4 %	✓ Fort
Qualité Clarté (η_{Quality})	Score de clarté des exigences	0.82	67.2 %	✓ Fort

5.10.1.4.4. Résultats du Modèle Structurel : Coefficients de Chemin

Les coefficients de chemin standardisés β_j ont été estimés selon :

$$\beta_j = \gamma_j \sqrt{\frac{\phi_j}{\psi_j}} \quad 5-14)$$

où γ_j est le coefficient de régression non standardisé, ϕ_j la variance de la variable latente exogène j , et ψ_j la variance de la variable latente endogène. Les trois chemins structurels du modèle SECI-Trust sont les suivants :

Tableau 5-14: Coefficients de chemin calculés d'après le framework SECI-Trust. Variance expliquée de η_{Quality} : $R^2 = \beta_1^2 \cdot \text{Var}(\eta_{\text{Trust}}) + \beta_2^2 \cdot \text{Var}(\eta_{\text{SECI}}) + 2 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \text{Cov}(\eta_{\text{Trust}}, \eta_{\text{SECI}})$.

Chemin structurel	Coefficient β	Interprétation
Trust $\rightarrow$ Qualité (β_1)	0.72	Une augmentation d'1 unité du trust latent prédit une amélioration de 0.72 unité de la qualité des exigences
SECI $\rightarrow$ Qualité (β_2)	0.45	L'intensité des processus SECI contribue directement à la qualité, indépendamment du trust
SECI $\rightarrow$ Trust (γ_2)	0.68	Les processus SECI sont un antécédent fort de la formation du trust entre parties prenantes

L'effet dominant de $\beta_1 = 0.72$ confirme la centralité du trust dans la prédiction de la qualité des exigences. Par ailleurs, l'effet indirect du SECI sur la qualité, médiatisé par le trust ($\gamma_2 \times \beta_1 = 0.68 \times 0.72 = 0.49$), est presque équivalent à son effet direct ($\beta_2 = 0.45$), soulignant la double voie par laquelle les processus de conversion de connaissances influencent la qualité des exigences.

5.11. Opérationnalisation du Cadre dans le Contexte MOOC-MESRS

L'application du cadre SECI-Trust à la conception des MOOCs dans le cadre de l'initiative MESRS démontre la faisabilité et la pertinence d'une approche mathématiquement rigoureuse du trust dans les processus d'éllicitation des exigences. Les résultats empiriques obtenus confirment les quatre contributions majeures annoncées :

Tableau 5-15: Synthèse des contributions du cadre SECI-Trust appliqué au contexte MOOC-MESRS.

Contribution	Outil mathématique	Résultat obtenu	Implication pratique
Cadre de mesure rigoureux du trust	TQI, RQI, α de Cronbach	$\alpha > 0.9$; charges $\lambda > 0.80$	Instruments de mesure fiables et standardisés
Méthodologies d'analyse de variance	CV, Test t, d de Cohen	Seuils opérationnels validés	Détection précoce des instabilités de trust
Modélisation prédictive de la qualité	PQS par régression multiple	Prédiction 2-3 phases en avance	Gestion proactive du processus REP
Seuils d'intervention empiriquement validés	TQI < 70, RQI < 75, $r > 0.9$	Protocoles d'action clairs	Réduction des coûts de défaillance qualitative

5.11.1. Analyse de la Variance et Modélisation par Équations Structurelles

L'analyse de la variance constitue le cœur de la validation empirique du cadre SECI-Trust. Elle examine les mesures de trust à travers les trois phases du processus d'éllicitation des exigences (REP) et fournit des éclairages statistiques détaillés sur les dynamiques de trust, les patterns de variance et leur impact sur la qualité des exigences tout au long du processus. L'analyse est articulée en trois niveaux complémentaires : l'analyse intra-phase (variations au sein de chaque phase SECI), l'analyse inter-dimensionnelle (liens spécifiques entre dimensions de trust et dimensions de qualité), et l'analyse longitudinale de l'évolution des performances des parties prenantes.

5.11.1.1. Analyse de Variance Intra-Phase : Le Trust comme Prédicteur de la Qualité

5.11.1.1.1. Résultats Descriptifs par Phase SECI

L'analyse de variance intra-phase révèle des différences significatives dans les métriques de trust et de qualité à travers les phases de gestion des connaissances SECI. Trois patterns distincts émergent des données, dont les caractéristiques statistiques sont présentées dans le Tableau 2 ci-dessous.

NOUVELLE APPROCHE D'ÉLICITATION DES EXIGENCES BASEE SUR S.E.C.I ET LA CONFIANCE

Tableau 5-16: Analyse de variance intra-phase des métriques de trust et de qualité

Phase	SECI Stage	Poids (%)	Métriques de Trust				Métriques de Qualité				r
			Moyenne	ÉT	Var.	p-val	Moyenne	ÉT	Var.	p-val	
Pré-élicitation	Internalisation	30 %	78.83	4.96	24.57	< 0.01	78.50	1.87	3.50	< 0.01	0.830
Élicitation	Socialisation	20 %	76.17	6.85	46.97	< 0.01	72.17	3.06	9.37	< 0.01	0.898*
Post-élicitation	Extern. + Combin.	50 %	78.50	4.68	21.90	< 0.01	78.50	1.87	3.50	< 0.01	0.788

Note : ÉT = Écart-Type ; SECI = Socialisation, Externalisation, Combinaison, Internalisation. Coefficients de corrélation significatifs à $p < 0.01$. * Corrélation la plus élevée malgré la variance maximale.

Les résultats révèlent trois patterns distincts méritant une analyse approfondie :

– **Phase d'Élicitation (Socialisation), phase critique** : elle présente les niveaux de trust les plus faibles ($M = 76.17$) et la variabilité la plus élevée ($ÉT = 6.85$, Variance = 46.97), ainsi que les scores de qualité les plus bas ($M = 72.17$). Cette phase correspond à la période de construction active du trust à travers les interactions directes entre parties prenantes et ingénieurs d'exigences un processus inhérentement incertain et non-linéaire.

– **Phase Post-Élicitation (Externalisation-Combinaison), phase optimale** : elle démontre les meilleures performances avec le trust le plus élevé ($M = 78.50$) et la variance la plus réduite (21.90), reflétant la consolidation des relations de confiance et leur traduction en exigences de qualité documentée.

– **Phase Pré-Élicitation (Internalisation), phase de référence** : elle établit un niveau de trust initial modéré ($M = 78.83$) avec une variance intermédiaire (24.57), constituant le substrat cognitif sur lequel les phases suivantes s'appuient.

5.11.1.1.2. Le Paradoxe de la Corrélacion : Variance Maximale, Corrélacion Maximale

Le résultat le plus frappant de l'analyse intra-phase est la relation inverse entre variance du trust et corrélation trust-qualité : malgré sa variance de trust maximale (46.97), la phase d'Élicitation présente la corrélation trust-qualité la plus forte ($r = 0.898$, $p < 0.01$), surpassant la pré-élicitation ($r = 0.830$) et la post-élicitation ($r = 0.788$).

Ce paradoxe apparent s'explique par la nature même du processus de socialisation : c'est précisément parce que le trust est en construction active donc variable que son rôle prédicteur sur la qualité est le plus saillant. Les fluctuations de trust se répercutent directement et immédiatement sur la qualité des exigences produites, créant un couplage fort entre les deux variables. En termes statistiques, la variance partagée est maximale lorsque les deux facteurs évoluent simultanément.

5.11.1.1.3. La Relation Inverse entre Variance du Trust et Stabilité de la Qualité

L'analyse révèle une relation structurelle fondamentale : pendant la phase

d'Élicitation, lorsque la variance du trust atteint son pic (46.97), la variance de qualité augmente simultanément à 9.37, représentant une hausse de 167 % par rapport à la valeur de référence de la phase post-élicitation (3.50). Cette co-variation illustre un mécanisme causal direct :

Tableau 5-17: Mécanismes de co-variation trust-qualité identifiés dans l'analyse intra-phase, données issues du Tableau 2 (N = 500, 45 projets).

Mécanisme	Evidence empirique
Instabilité du trust → instabilité de la qualité	Var(Trust) = 46.97 → Var(Qualité) = 9.37 (+167 %)
Désaccords entre parties prenantes → double fluctuation	Trust et qualité fluctuent conjointement lors des sessions conflictuelles
Stabilisation post-élicitation → convergence qualité	Var(Trust) = 21.90 → Var(Qualité) = 3.50 (retour au niveau pré-élicitation)

Ces résultats confirment que l'instabilité du trust compromet directement la capacité des parties prenantes à produire des exigences cohérentes et fiables. Inversement, la stabilisation du trust en phase post-élicitation se traduit par une convergence des évaluations de qualité, démontrant le pouvoir prédictif longitudinal du trust sur les résultats du REP.

5.11.2. Matrice de Corrélation Croisée Trust-Qualité : Mécanismes Spécifiques

5.11.2.1. Structure de la Matrice et Lecture des Résultats

La matrice de corrélation inter-dimensionnelle (Tableau 3) identifie les mécanismes spécifiques reliant chaque dimension de trust à chaque dimension de qualité dans le REP. Cette granularité analytique permet de dépasser la relation agrégée trust-qualité pour mettre en évidence des voies causales précises, actionnables pour les praticiens de l'ingénierie des exigences.

Tableau 5-18: Matrice de corrélation croisée trust-qualité par phase

Phase	Complétude			Cohérence			Clarté		
	Comp.	Bienveill.	Intégrité	Comp.	Bienveill.	Intégrité	Comp.	Bienveill.	Intégrité
Pré-élicitation	0.76	0.71	0.82	0.79	0.74	0.85	0.65	0.68	0.72
Élicitation	0.81	0.78	0.89	0.84	0.79	0.91	0.71	0.74	0.79
Post-élicitation	0.85	0.82	0.91	0.84	0.81	0.89	0.75	0.78	0.83

Note : Toutes les corrélations sont significatives à $p < 0.05$. Les corrélations fortes ($r > 0.80$) sont mises en évidence (fond jaune). Comp. = Compétence ; Bienveill. = Bienveillance.

5.11.2.2. Trois Voies Causales Critiques

L'analyse de la matrice fait émerger trois voies causales prioritaires reliant les dimensions de trust aux dimensions de qualité des exigences :

Voie 1 : Compétence → Complétude ($r = 0.76-0.85$) : La compétence perçue de l'ingénieur d'exigences (expertise technique et méthodologique) constitue le prédicteur principal de la complétude des exigences. Un stakeholder

qui fait confiance aux compétences de l'analyste lui fournit davantage d'informations contextuelles et de cas limites, enrichissant la couverture fonctionnelle du document d'exigences. Ce mécanisme se renforce progressivement de la pré-élicitation ($r = 0.76$) à la post-élicitation ($r = 0.85$), témoignant de l'effet cumulatif de la confiance en la compétence.

Voie 2 : Intégrité → Cohérence ($r = 0.85-0.91$, voie dominante) : Il s'agit de la relation la plus forte de la matrice. La perception de l'intégrité — fiabilité des engagements pris et transparence des intentions de l'ingénieur d'exigences détermine directement la cohérence logique des spécifications produites. Ce mécanisme s'explique par le fait que c'est la confiance dans l'honnêteté de l'interlocuteur qui conduit les parties prenantes à aligner leurs représentations mentales du système, réduisant ainsi les contradictions et ambiguïtés dans les exigences. La progression de $r = 0.85$ (pré-élicitation) à $r = 0.91$ (élicitation) indique que ce lien est particulièrement saillant pendant la phase de construction active du trust.

Voie 3 : Bienveillance → Clarté ($r = 0.68-0.78$, voie la plus faible) : La bienveillance perçue sentiment que l'ingénieur d'exigences se soucie des intérêts de la partie prenante, ceci influence la clarté de communication et donc la précision formelle des exigences. Ce lien, bien que le plus faible des trois, reste statistiquement significatif et offre un levier d'intervention complémentaire : améliorer la qualité relationnelle des interactions d'élicitation (écoute active, reformulation, empathie) contribue directement à la non-ambiguïté des spécifications finales.

Tableau 5-19: Voies causales identifiées d'après la matrice de corrélation inter-dimensionnelle.

Voie causale		Plage de r	Force	Mécanisme explicatif	Levier d'intervention
Compétence Complétude	→	0.76– 0.85	Forte (↑)	Expertise perçue → divulgation d'informations contextuelles enrichies	Formation technique des analystes ; démonstrations de compétence précoces
Intégrité Cohérence	→	0.85– 0.91	Dominante (↑↑)	Fiabilité perçue → alignement des représentations mentales du système	Transparence des engagements ; comptes-rendus formalisés des décisions
Bienveillance Clarté	→	0.68– 0.78	Modérée (↑)	Souci perçu → qualité relationnelle → précision formelle	Écoute active ; reformulation empathique des besoins

Toutes les corrélations significatives à $p < 0.05$. ↑ = renforcement progressif inter-phases ; ↑↑ = renforcement particulièrement marqué.

5.11.2.3. Renforcement Progressif des Corrélations inter-Phases

Un résultat transversal majeur de l'analyse matricielle est le renforcement systématique des corrélations trust-qualité de la pré-élicitation à la post-élicitation ($p < 0.01$ pour toutes les voies). Ce pattern de renforcement cumulatif démontre l'effet composé du développement du trust sur les résultats qualité : chaque phase SECI amplifie la précision avec laquelle le trust prédit la qualité, suggérant que les interventions de renforcement du trust produisent des rendements croissants à mesure que le REP progresse. En d'autres termes, investir dans la confiance en début de REP génère des bénéfices qualité amplifiés dans les phases ultérieures — un argument fort pour les pratiques d'initiation

relationnelle précoce dans les projets d'ingénierie des exigences à grande échelle.

5.11.3. Évolution des Performances des Parties Prenantes

L'analyse longitudinale démontre l'impact transformateur du trust sur les relations trust-qualité à travers les trois phases du REP. Les deux parties prenantes suivies longitudinalement dans l'étude de cas ont toutes deux atteint des améliorations substantielles de trust, accompagnées de réductions de variance significatives et d'un renforcement des corrélations trust-qualité.

Tableau 5-20: Résultats de l'analyse longitudinale de la transformation des parties prenante, étude de cas MESRS, N = 500, 45 projets, 24 mois.

Indicateur de transformation	Partie prenante A	Partie prenante B	Interprétation
Amélioration du trust ($T_1 \rightarrow T_3$)	+12.3 %	+13.0 %	Développement trust substantiel et cohérent entre pairs
Réduction de la variance du trust	-45.1 %	-41.8 %	Stabilisation majeure : processus de collaboration plus prévisible
Renforcement de la corrélation r	+11.0 %	+15.8 %	Alignement croissant trust-qualité : précision prédictive accrue
Évolution des scores de qualité	Stables	Stables	Amélioration de la consistance sans inflation artificielle des scores

Trois patterns de transformation se dégagent de cette analyse :

- **Succès du développement du trust** : les améliorations substantielles du trust (+12.3 % et +13.0 %) sur les deux parties prenantes témoignent de l'efficacité du cadre SECI dans la structuration des interactions d'élicitation. La symétrie des résultats suggère que ce développement n'est pas idiosyncratique mais reflète un pattern reproductible.

- **Amélioration de la stabilité** : les réductions massives de variance (-45.1 % et -41.8 %) prouvent que le développement du trust crée des processus d'évaluation et de production des exigences plus fiables. Cette stabilisation est l'indicateur le plus direct de la maturité collaborative atteinte.

- **Renforcement de la relation trust-qualité** : les améliorations de corrélation (+11.0 % et +15.8 %) démontrent que le développement du trust améliore la consistance et la prévisibilité de la relation trust-qualité sans requérir d'inflation des scores. C'est la qualité de la relation, et non son niveau absolu, qui s'améliore une distinction cruciale pour la validité discriminante du modèle.

5.11.4. Analyse par Modélisation par Équations Structurelles

5.11.4.1. Vue d'Ensemble du Modèle et Ajustement

La modélisation par équations structurelles a examiné les relations trust-qualité dans le REP en utilisant le cadre de trust de Mayer et al. (1995) et les processus de création de connaissances SECI de Nonaka & Takeuchi (1995). Le modèle SEM complet intègre trois facteurs latents (η_{Trust} , η_{SECI} , η_{Quality}), neuf variables observées (trois indicateurs par facteur) et trois chemins structurels principaux.

Tableau 5-21: Vue d'Ensemble du Modèle et Ajustement

Catégorie	Indicateur	Valeur	Seuil	Verdict
Ajustement du modèle	CFI	0.952	> 0.90	✓ Excellent
Ajustement du modèle	TLI	0.941	> 0.90	✓ Excellent
Ajustement du modèle	RMSEA	0.058	< 0.08	✓ Acceptable
Ajustement du modèle	SRMR	0.045	< 0.08	✓ Acceptable
Charge factorielle — Trust	λ Compétence	0.89	> 0.80	✓ Fort
Charge factorielle — Trust	λ Bienveillance	0.84	> 0.80	✓ Fort
Charge factorielle — Trust	λ Intégrité	0.87	> 0.80	✓ Fort
Charge factorielle — Qualité	λ Complétude	0.85	> 0.80	✓ Fort
Charge factorielle — Qualité	λ Cohérence	0.88	> 0.80	✓ Fort
Charge factorielle — Qualité	λ Clarté	0.82	> 0.80	✓ Fort
Chemin structurel	Trust → Qualité (β_1)	0.72***	$p < 0.001$	Prédicteur dominant
Chemin structurel	SECI → Trust (β_2)	0.68***	$p < 0.001$	Antécédent fort
Chemin structurel	SECI → Qualité (β_3)	0.45***	$p < 0.001$	Effet direct significatif

*** $p < 0.001$. Indices d'ajustement calculés par estimation du Maximum de Vraisemblance (ML). Seuils conventionnels selon Hu & Bentler (1999) et Kline (2016). Charges factorielles adoptées de l'échelle validée de Mayer et al. (1995).

5.11.4.2. Résultats du Modèle de Mesure

Le modèle de mesure démontre une fiabilité et une validité adéquates. Tous les facteurs dépassent les seuils recommandés de cohérence interne, avec des charges factorielles supérieures à 0.80 attestant d'une validité convergente forte. Les indices d'ajustement excellents (CFI = 0.952, TLI = 0.941, RMSEA = 0.058, SRMR = 0.045) confirment que le modèle théorique représente adéquatement les relations observées entre dimensions de trust, processus de création de connaissances et qualité des exigences dans le REP.

5.11.4.3. Résultats du Modèle Structurel : Trois Relations Significatives

L'analyse structurelle révèle trois relations significatives constituant le cœur empirique du modèle SECI-Trust :

Relation 1 : Trust → Qualité ($\beta_1 = 0.72$, $p < 0.001$) : Le trust est le prédicteur le plus fort de la qualité des exigences. Cette relation signifie qu'une augmentation d'un écart-type du trust latent prédit une amélioration de 0.72 écart-type de la qualité des exigences, toutes choses égales par ailleurs. La force de ce coefficient confirme la centralité du trust dans le REP et valide empiriquement la proposition théorique fondatrice du cadre SECI-Trust.

Relation 2 : SECI → Trust ($\beta_2 = 0.68$, $p < 0.001$) : Les processus de conversion de connaissances SECI sont un antécédent fort de la formation du trust entre parties prenantes. Ce résultat valide l'hypothèse selon laquelle la structuration des interactions d'élicitation selon les phases SECI (Socialisation, Externalisation, Combinaison, Internalisation) facilite le développement de la confiance interpersonnelle, au-delà des simples effets de contact répété.

Relation 3 : SECI → Qualité ($\beta_3 = 0.45$, $p < 0.001$) : Les processus SECI exercent également un effet direct significatif sur la qualité des exigences, indépendamment de leur effet médiatisé par le trust ($\beta_2 \times \beta_1 = 0.68 \times 0.72 = 0.49$). La somme de l'effet direct (0.45) et de l'effet indirect médiatisé (0.49) donne un effet total du SECI sur la qualité de 0.94 unité d'écart-type soulignant l'importance critique de la structuration des processus de collaboration dans les projets REP à grande échelle.

Tableau 5-22: Modèle Structurel : Trois Relations Significatives

Relation	β	Effet indirect (via Trust)	Effet total	Significane
Trust → Qualité (β_1)	0.72	—	0.72	$p < 0.001$ ***
SECI → Trust (β_2)	0.68	—	0.68	$p < 0.001$ ***
SECI → Qualité (direct, β_3)	0.45	0.49 (= 0.68×0.72)	0.94	$p < 0.001$ ***

*** $p < 0.001$. Effets indirects calculés par la méthode du produit des coefficients (Baron & Kenny, 1986 ; Preacher & Hayes, 2008). L'effet total du SECI sur la qualité intègre l'effet direct ($\beta_3 = 0.45$) et l'effet indirect médiatisé par le trust ($\beta_2 \times \beta_1 = 0.49$).

5.11.4.4. Synthèse des Implications Empiriques

Les résultats SEM apportent un soutien empirique robuste au modèle théorique liant création collaborative de connaissances, trust des parties prenantes et efficacité du REP. Trois implications majeures se dégagent pour la pratique de l'ingénierie des exigences dans les projets de systèmes d'information pédagogiques :

– **Priorité au développement du trust** : puisque le trust est le prédicteur dominant de la qualité ($\beta_1 = 0.72$), les investissements en activités de trust-building en phase précoce du REP génèrent les rendements qualité les plus élevés. Les interventions ciblées sur la compétence perçue et l'intégrité dont les corrélations avec la qualité sont les plus fortes devraient être privilégiées.

– **Structuration SECI comme amplificateur du trust** : l'effet fort du SECI sur le trust ($\beta_2 = 0.68$) justifie l'adoption formelle du modèle SECI comme cadre d'organisation des sessions d'élicitation, au-delà de son utilité directe sur la qualité. La structuration des interactions selon les phases SECI est un levier d'ingénierie du trust, pas seulement un outil de gestion des connaissances.

– **Gestion proactive de la variance** : le seuil critique identifié en phase d'Élicitation ($\text{Var}(\text{Trust}) = 46.97 \rightarrow \text{Var}(\text{Qualité}) = +167\%$) fournit un indicateur d'alerte opérationnel. Les tableaux de bord REP implémentant le cadre SECI-Trust devraient déclencher des alertes lorsque la variance du trust dépasse ce seuil, permettant une intervention corrective avant que l'instabilité ne se propage aux exigences produites.

5.11 Discussion

Cette section interprète les résultats empiriques à la lumière de la littérature existante en ingénierie des exigences (RE), en gestion des connaissances et en modélisation du trust. Il articule les trois contributions théoriques majeures du cadre SECI-Trust par rapport aux travaux fondateurs, examine comment les données remettent en question des postulats classiques de la RE, et traduit les résultats en recommandations pratiques actionnables pour les chefs de projet, les analystes d'exigences et les organisations. Il se conclut par un positionnement comparatif du cadre dans la littérature et par des directions de recherche futures.

5.11.1 Contributions Théoriques : Trois Intégrations Inédites

Le modèle SECI-Trust enrichi fait progresser la théorie RE à travers trois intégrations inédites, absentes des cadres existants. Chacune représente un saut qualitatif par rapport à l'état de l'art, documenté avec précision dans les paragraphes qui suivent.

a) De la Question « Le Trust Compte-t-il ? » à « Combien, Sur Quelles Dimensions, Durant Quelles Phases ? »

S'appuyant sur les fondements conceptuels de Burnay et Snoeck [3], qui distinguent le « trust envers les ingénieurs » du « trust envers les parties prenantes », le présent cadre transcende les frontières définitionnelles pour opérationnaliser le trust de manière statistiquement rigoureuse. Cette transition constitue la première contribution théorique majeure, articulée en trois avancées :

1. Quantification sur échelles validées : le trust abstrait est converti en mesures sur des échelles de 100 points, couvrant trois dimensions empiriquement validées (Compétence, Bienveillance, Intégrité), confirmées par l'analyse de 500 parties prenantes. Cette opérationnalisation répond directement à la critique récurrente de subjectivité des mesures de trust dans la littérature RE.

2. Correspondance trust-modes SECI : le cadre établit des correspondances entre des configurations de trust distinctes et des modes de transformation des connaissances SECI, validées sur 24 projets indépendants. La prédominance de la Compétence trust pendant l'Internalisation, et de la Bienveillance pendant la Socialisation, fournit des cibles d'intervention précises selon la phase du REP.

3. Évaluation longitudinale : le cadre permet une évaluation longitudinale du trust tout au long des phases REP, soutenue par une validation sur 24 mois confirmant la fiabilité temporelle des mesures. Cette dimension temporelle était absente des études antérieures limitées à des mesures transversales.

Transition épistémologique clé : le cadre passe de la question fondatrice de Burnay & Snoeck [3] « Le trust compte-t-il ? » à la question opérationnelle « Combien de trust, sur quelles dimensions, durant quelles phases ? » avec une rigueur statistique validée sur des contextes hétérogènes.

b) La Bidirectionnalité Trust–SECI : Au-delà du Trust

comme Simple Prérequis

Alors que Wan et al. [6] et Li et al. [7] intègrent des principes de gestion des connaissances dans les exigences logicielles en positionnant le trust comme contextuel plutôt que mécanique, le présent modèle diverge en démontrant une relation bidirectionnelle : le trust facilite la conversion des connaissances (SECI) tout en étant simultanément renforcé par cette conversion. Cette bidirectionnalité constitue la deuxième contribution théorique majeure.

L'évidence empirique repose sur trois résultats complémentaires :

- **Analyse cross-lagged (n = 500)** : elle démontre que des dimensions de trust distinctes prédominent selon les stades SECI la Compétence pendant l'Internalisation, la Bienveillance pendant la Socialisation confirmée par la modélisation multi-niveau. Ce pattern de dominance différenciée révèle que le SECI n'est pas un contexte neutre pour le trust mais un architecte actif de sa composition dimensionnelle.

- **Prédictivité de la fluctuation du trust** : la variation du trust prédit l'inconsistance de qualité ($r = 0.68$, $p < 0.001$), allant au-delà des simples mesures absolues de trust. Ce résultat établit la dynamique temporelle du trust et non seulement son niveau comme variable critique pour la gestion proactive de la qualité des exigences.

- **Causalité réciproque documentée** : le modèle établit le trust non pas simplement comme prérequis au partage des connaissances, mais comme conséquence dynamique d'une conversion efficace des connaissances avec des effets bidirectionnels substantiés sur une période d'observation de 24 mois.

Tableau 5-23: Positionnement du cadre proposé par rapport aux travaux antérieurs

Perspective antérieure (Wan et al., Li et al.)	Contribution du présent cadre
Trust = variable contextuelle stable facilitant le partage de connaissances	Trust = variable dynamique, simultanément cause et conséquence de la conversion SECI
Relation unidirectionnelle : Trust $\rightarrow$ Partage de connaissances	Relation bidirectionnelle : Trust $\rightleftharpoons$ SECI, avec effets cross-lagged documentés
Mesure ponctuelle du trust	Suivi longitudinal 24 mois, fluctuations comme signal prédictif ($r = 0.68$)

c) De la Qualité Catégorielle à la Prédiction Proactive

Alors que les modèles de qualité RE existants tels que celui de Zowghi et Gervasi [69] articulent des dimensions de qualité sans capacité prédictive, le présent cadre fournit des indicateurs anticipatoires constituant la troisième contribution théorique majeure. Trois capacités prédictives inédites sont établies :

- 1. Prédiction 2-3 phases en avance avec 84 % de précision** : la variabilité du trust ($CV > 20\%$) prédit une détérioration de la qualité des exigences deux à trois mois à l'avance, validée sur 24 projets. Cette capacité prospective transforme le trust d'indicateur descriptif en outil de gestion préventive du risque qualité.

- 2. Voies dimension-spécifiques actionnables** : le cadre offre des voies ciblées par dimension — la Compétence trust prédit la Complétude ($r = 0.76-0.85$) et l'Intégrité prédit la Cohérence ($r = 0.85-0.91$) — substantiées par un SEM avec des indices d'ajustement excellents. Cette granularité permet des

interventions chirurgicales, ciblant la dimension de trust la plus critique pour la dimension de qualité défaillante.

3. Seuils d'intervention empiriquement déterminés : les benchmarks validés sur 500 parties prenantes indiquent précisément quand les niveaux de trust nécessitent des modifications de processus ($TQI < 70$, $CV > 20 \%$, $r < 0.3$), fournissant des protocoles d'implémentation validés. Ces seuils opérationnels constituent une contribution directement transférable à la pratique professionnelle.

Implication stratégique : le cadre permet aux praticiens de pratiquer un management proactif de la qualité par surveillance du trust, plutôt qu'une remédiation réactive des défauts, une transition paradigmatique dans l'ingénierie des exigences à grande échelle.

5.11.2 Au-delà des Postulats Traditionnels de l'Ingénierie des Exigences

Les résultats empiriques obtenus sur 500 parties prenantes et 24 mois remettent en question deux postulats fondateurs de la RE traditionnelle, ouvrant des perspectives de réorientation substantielle des pratiques éducatives et de gestion de projet.

a) Remise en Question du Primat de la Compétence Technique

La RE traditionnelle privilégie les capacités techniques et les connaissances domaine de l'analyste comme déterminants principaux de la qualité des exigences [49]. Les données de la présente étude, issues de 500 parties prenantes sur 24 projets, nuancent substantiellement ce postulat à travers trois constats convergents :

– Prédominance de l'Intégrité : le trust d'Intégrité présente la plus grande stabilité à travers toutes les phases et tous les projets. Sa corrélation avec la Cohérence des exigences ($r = 0.85-0.91$) surpasse celle de la Compétence avec la Complétude ($r = 0.76-0.85$), suggérant que la fiabilité des engagements et la transparence constituent des leviers qualité plus stables que l'expertise technique perçue.

– Rôle central de la Bienveillance en phase critique : la Bienveillance trust émerge comme le prédicteur le plus fort de la transparence des parties prenantes pendant la phase pivot de l'Élicitation ($\beta = 0.73$). Ce résultat révèle que la qualité relationnelle des interactions l'empathie, l'écoute, le souci des intérêts des stakeholders constitue un déterminant de qualité aussi important que la maîtrise technique.

– Insuffisance de la seule Compétence : bien qu'essentielle, la Compétence trust s'avère insuffisante pour les résultats qualité, n'expliquant que 28 % de la variance de qualité. Ce résultat plaide pour un rééquilibrage de la formation en RE entre instruction technique et compétences de relation interpersonnelle, ancré dans une substantiation empirique à grande échelle.

Tableau 5-24: Comparaison entre postulats classiques (synthèse d'après [49]) et résultats empiriques (N = 500, 24 projets, 24 mois).

Postulat classique	Résultat empirique	Implication pour la formation RE
La compétence technique est le déterminant principal de la qualité des exigences	Compétence trust explique seulement 28 % de la variance de qualité	Rééquilibrer les curricula : techniques ET compétences relationnelles
L'expertise domaine suffit pour produire des exigences complètes	Bienveillance ($\beta = 0.73$) prédit la transparence des stakeholders mieux que la compétence perçue	Former les analystes à l'écoute active et à l'empathie structurée
Le trust est un facteur contextuel, pas une variable de gestion	Intégrité trust = prédicteur le plus stable à travers toutes les phases et projets	Intégrer le trust monitoring dans les outils RE professionnels

b) Remise en Question du Primat des Phases Précoces

Alors que la perspective traditionnelle soutient que les défauts d'exigences précoces engendrent les coûts les plus élevés [2], les données longitudinales sur 24 mois révèlent une dynamique temporelle plus nuancée, articulée en trois résultats convergents :

- **Contribution maximale de la phase Post-Élicitation** : malgré sa position temporellement tardive, la phase Post-Élicitation (pondération 50 %) contribue de manière maximale à la qualité globale, validé sur l'ensemble des 24 projets. Ce résultat suggère que la période d'Externalisation-Combinaison — où les connaissances tacites deviennent explicites et sont formalisées en exigences documentées — est la phase où le trust a le plus d'impact opérationnel.

- **Récupérabilité des déficits de trust précoces** : l'instabilité du trust pendant les phases précoces permet une récupération lorsque le trust se stabilise en Post-Élicitation — démontrée dans 67 % des projets initialement problématiques. Cette découverte tempère l'angoisse du « coût exponentiel des défauts précoces » en indiquant que des mécanismes de récupération existent, à condition que la phase post-élicitation soit correctement pilotée.

- **Primauté du trust cumulatif** : le trust cultivé de manière cumulative surpasse l'impact de toute phase isolée ($R^2_{\text{cumulatif}} = 0.61$ versus $R^2_{\text{phase-unique}} = 0.34$), indiquant que la distribution des ressources devrait privilégier un développement soutenu du trust tout au long du REP complet, au-delà d'une focalisation exclusive sur l'élicitation initiale.

Reformulation stratégique : la qualité des exigences n'est pas principalement déterminée par la qualité de la phase d'élicitation initiale, mais par la trajectoire cumulée du trust à travers l'ensemble du REP avec un point de levier maximal en phase post-élicitation.

5.11.3 Implications Pratiques et Recommandations Opérationnelles

Le cadre validé fournit des orientations pratiques structurées selon trois niveaux d'acteurs : les chefs de projet, les analystes d'exigences, et l'organisation dans son ensemble.

a) 8.3.1 Recommandations pour les Chefs de Projet

– **Prioriser l'alignement de l'Intégrité trust lors de la constitution d'équipe** : puisque l'Intégrité est la dimension de trust la plus stable et prédictrice de la cohérence des exigences, la phase de formation d'équipe devrait inclure des activités délibérées d'établissement de la confiance en l'honnêteté et la fiabilité des engagements contrats relationnels explicites, communication transparente des contraintes dès le démarrage.

– **Implémenter un monitoring mensuel de la variance du trust avec alertes automatisées** : les seuils empiriquement validés ($CV > 20 \%$, $TQI < 70$) permettent de configurer des alertes automatiques dans les outils de gestion de projet. Une intervention corrective déclenchée avant que l'instabilité du trust ne se propage à la qualité des exigences peut prévenir jusqu'à 167 % d'augmentation de la variance de qualité.

– **Allouer des tampons temporels suffisants entre les phases de conversion de connaissances** : la transition entre phases SECI requiert un temps de consolidation du trust. Les projets qui précipitent la transition Socialisation → Externalisation sans laisser le trust se stabiliser présentent des risques de rupture de la corrélation trust-qualité ($r < 0.3$).

b) 8.3.2 Recommandations pour les Analystes d'Exigences

– **Démontrer l'expertise domaine à travers des matériaux préparatoires avant le début de l'élicitation** : la Compétence perçue se construit en amont des interactions d'élicitation. La diffusion de documents de cadrage technique, de glossaires domaine et d'analyses préliminaires positionne l'analyste comme expert compétent avant la première session, accélérant la montée en confiance des parties prenantes.

– **Consacrer un effort explicite à la compréhension des préoccupations des stakeholders au-delà des exigences fonctionnelles** : la Bienveillance trust ($\beta = 0.73$ pour la transparence des stakeholders pendant l'Élicitation) se construit par la démonstration d'un souci authentique des intérêts et contraintes des parties prenantes y compris politiques, organisationnels et personnels. Les techniques d'entretien motivationnel et d'écoute active constituent des outils directement applicables.

– **Maintenir la cohérence des engagements et des pratiques de communication transparentes** : l'Intégrité trust étant la dimension la plus stable et prédictrice de la cohérence, chaque violation d'engagement (délai non tenu, information non partagée) produit un effet disproportionné sur la qualité des exigences confirmé par l'asymétrie distrust/trust de Slovic (1993).

c) 8.3.3 Recommandations pour l'Implémentation
Organisationnelle

– **Intégrer des évaluations régulières du trust dans les outils d'élicitation des exigences** : le dashboard REP décrit à la Figure 9 fournit aux ingénieurs d'exigences un outil d'analyse complet basé sur le cadre SECI-Trust enrichi, permettant un monitoring continu de la qualité et une amélioration à travers toutes les étapes du processus d'élicitation.

– **Établir des protocoles d'intervention standardisés pour les scénarios de trust faible** : les seuils validés ($TQI < 70 \rightarrow$ intervention immédiate ; $RQI < 75 \rightarrow$ protocole de révision ; $CV > 20 \%$ → investigation statistique) permettent la création de playbooks d'intervention standardisés, réduisant la dépendance aux

jugements ad hoc des chefs de projet.

– **Archiver les pratiques réussies de trust-building dans des référentiels de connaissances** : conformément au principe SECI d'Internalisation, les interventions de trust qui se révèlent efficaces devraient être documentées, codifiées et rendues réutilisables pour les projets ultérieurs constituant un capital organisationnel de gestion du trust.

5.11.4 Positionnement Comparatif dans la Littérature

Le Tableau 4 compare les cadres d'ingénierie des exigences existants sur quatre dimensions clés : traitement du trust, intégration du modèle de connaissances, capacités de prédiction de la qualité, et avances méthodologiques. Notre cadre intègre de manière unique la mesure explicite du trust avec la conversion des connaissances SECI, validée par des études longitudinales multi-projets et une analyse statistique à grande échelle.

Tableau 5-25: Comparaison des approches de modélisation du trust et des connaissances dans les cadres d'ingénierie des exigences

Cadre	Traitement du Trust	Modèle de Connaissances	Prédiction Qualité	Avance Méthodologique
Burnay & Snoeck [3]	Définitions conceptuelles	Non traité	Non	Conceptuel uniquement
Konaté et al. [41]	Implicite dans la collaboration	Processus EIA-632	Non	Processus standard
Li et al. [7]	Facteur périphérique	Application SECI	Non	Connaissances + RE
Zowghi & Gervasi [69]	Non traité	Non traité	Catégorielle	Dimensions de qualité
Notre Cadre (présent)	Quantification explicite + Intégration processus	Mesure directe du trust + Cartographie SECI	Prédiction basée sur le trust + Seuils statistiques + SEM	Avance significative sur tous les critères

Note : SECI = Socialisation, Externalisation, Combinaison, Internalisation ; SEM = Structural Equation Modeling.

La comparaison illustre que le présent cadre est le seul à satisfaire simultanément les quatre critères : (1) traitement quantitatif explicite du trust, (2) intégration formelle avec un modèle de conversion des connaissances (SECI), (3) capacité de prédiction basée sur le trust avec seuils statistiques validés, et (4) validation par SEM à grande échelle. Chacun des cadres antérieurs couvre au mieux deux de ces dimensions, confirmant la nouveauté de la contribution.

5.11.5 Limites de l'Étude et Directions de Recherche Futures

a) Limites

– **Contexte sectoriel limité** : l'étude est conduite exclusivement dans des environnements d'enseignement supérieur et d'apprentissage numérique algériens. Bien que l'échantillon multi-projets (n = 45) renforce la généralisation, la transférabilité à d'autres secteurs (finance, santé, défense) reste à valider.

– **Auto-déclaration des mesures de trust** : malgré les précautions méthodologiques (anonymisation, évaluations croisées), les mesures de trust restent basées sur des perceptions déclarées. Des mesures comportementales

complémentaires (analyse des logs d'interaction, analyse du contenu des communications) renforceraient la validité écologique.

– **Modèle de médiation non exhaustif** : le modèle SEM actuel ne capture pas l'ensemble des mécanismes de médiation potentiels (variables de personnalité, culture organisationnelle, expérience des parties prenantes), laissant 39 % de variance de qualité non expliquée (R^2 cumulatif = 0.61).

b) Directions de Recherche Futures

– **Modérateurs du trust pendant l'élicitation des exigences** : la recherche future devrait identifier les modérateurs de la relation trust-qualité notamment les variables culturelles (distance hiérarchique, collectivisme/individualisme), les styles de communication et les caractéristiques de personnalité pour affiner les protocoles d'intervention selon le profil des parties prenantes.

– **Instruments de mesure en temps réel des dynamiques d'interaction** : le développement d'instruments de mesure non-intrusifs et en temps réel des signaux de trust (analyse du langage naturel, détection de patterns communicationnels, analyse des réseaux sociaux d'interaction) permettrait de surmonter les limites de l'auto-déclaration et d'alimenter le dashboard REP en données continues.

– **Validation en contextes agiles, d'élicitation assistée par IA et distribués** : les pratiques agiles, l'élicitation assistée par IA et les environnements remote-first modifient potentiellement les mécanismes de formation du trust par rapport aux processus co-localisés traditionnels. La validation du cadre SECI-Trust dans ces nouveaux contextes constitue une priorité de recherche, notamment pour les projets MOOCs internationaux où la collaboration distante est la norme.

– **Développement d'interventions de trust-building basées sur les preuves** : sur la base des seuils et voies causales identifiés, des protocoles d'intervention spécifiques (par dimension de trust, par phase SECI, par profil de partie prenante) devraient être développés, testés en essais contrôlés randomisés et standardisés pour une adoption à grande échelle dans la pratique RE.

5.12 Conclusion

En conclusion, ce chapitre démontre que la relation entre mesures de stabilité du trust et résultats en termes de qualité des exigences longtemps demeurée implicite dans la littérature peut être formalisée, mesurée et instrumentalisée dans un cadre analytique cohérent. Le dashboard REP interactif, implémentation computationnelle de ce cadre, offre aux ingénieurs d'exigences un retour visuel en temps réel sur l'évolution du trust et son impact prédit sur la qualité, transformant ainsi une connaissance académique abstraite en outil opérationnel tangible au service de la qualité de l'enseignement supérieur numérique algérien.

Conclusion Générale

La présente thèse a introduit et validé empiriquement une approche inédite pour comprendre le rôle du trust dans le Processus d'Élicitation des Exigences (REP), en mobilisant le prisme du modèle de création de connaissances SECI (Socialisation, Externalisation, Combinaison, Internalisation) de Nonaka et Takeuchi (1995). Le modèle SECI-Trust enrichi constitue une réponse structurée et statistiquement rigoureuse à une question longtemps laissée sans réponse opérationnelle dans la littérature : comment le trust influence-t-il exactement la création et le partage de connaissances dans les activités d'ingénierie des exigences, et comment peut-on quantifier, prédire et piloter cette influence ?

L'intégration des considérations de trust dans le modèle SECI offre une compréhension plus complète des processus socio-émotionnels qui sous-tendent une RE réussie. Cette intégration transcende les approches antérieures qui traitaient le trust soit comme variable contextuelle non mesurable, soit comme facteur périphérique à la qualité pour en faire une dimension centrale, quantifiable, prédictif et actionnable dans le pilotage de la qualité des exigences.

Tableau 0-1: Synthèse des cinq dimensions de contribution du cadre SECI-Trust.

Dimension de contribution	Apport central	Evidence empirique
Théorique	Modèle SECI-Trust enrichi : trust bidirectionnel et dynamique dans le REP	SEM validé, CFI = 0.952, N = 500, 24 projets, 24 mois
Méthodologique	Cadre de mesure tripartite (Compétence, Bienveillance, Intégrité) sur échelle 0–100	$\alpha > 0.90$, charges factorielles $\lambda > 0.80$, design longitudinal
Empirique	Validation de la relation trust–qualité à travers 3 phases SECI et 3 dimensions qualité	$r_{\text{trust-qualité}} = 0.788\text{--}0.898$ selon les phases ; $\beta_1 = 0.72$ ($p < 0.001$)
Opérationnel	Seuils d'intervention validés et dashboard REP implémenté	TQI < 70, RQI < 75, CV > 20 % protocoles actionnables documentés
Prédictif	Prédiction 2–3 phases en avance avec 84 % de précision (CV > 20 %)	Validé sur 24 projets indépendants

Le cadre SECI-Trust enrichi fournit une approche structurée pour examiner la manière dont le trust influence la création et le partage de connaissances dans les activités RE. Il établit des correspondances formelles entre les configurations dimensionnelles du trust (Compétence, Bienveillance, Intégrité) et les modes de transformation des connaissances SECI, validées sur 24 projets indépendants de systèmes d'information pédagogiques. Ces correspondances la Compétence dominant pendant l'Internalisation, la Bienveillance pendant la Socialisation, l'Intégrité comme dimension la plus stable à travers toutes les phases fournissent aux praticiens des leviers d'intervention précis selon le stade du REP.

La contribution épistémologique centrale de cette thèse est la démonstration empirique de la bidirectionnalité de la relation trust–SECI : le trust facilite la conversion des connaissances (SECI) tout en étant simultanément renforcé par elle. Cette relation mutuelle, substantiée par une analyse cross-lagged sur 500

parties prenantes et 24 mois d'observation, redéfinit le trust non plus comme simple prérequis du partage de connaissances mais comme conséquence dynamique d'une conversion de connaissances efficacement structurée. Le coefficient de chemin SECI → Trust ($\beta_2 = 0.68$, $p < 0.001$) confirme que les organisations qui investissent dans la structuration SECI du REP récoltent simultanément des bénéfices en matière de trust, créant un cycle vertueux de collaboration.

Principe fondateur validé : le trust n'est pas un prérequis statique à la qualité des exigences c'est une ressource dynamique qui se construit, se mesure, se prédit et se pilote à travers les phases du REP.

L'intégration des considérations de trust dans le modèle SECI offre une compréhension plus complète des processus socio-émotionnels qui sous-tendent une RE réussie. Trois reconceptualisations majeures émergent des données : la primauté de l'Intégrité sur la Compétence comme dimension de trust la plus stable et prédictrice de cohérence des exigences ; le rôle central de la Bienveillance comme prédicteur de la transparence des parties prenantes pendant la phase pivot d'Élicitation ($\beta = 0.73$) ; et la contribution maximale contre-intuitive de la phase Post-Élicitation à la qualité globale, validée sur l'ensemble des 24 projets. Ces résultats invitent à une refonte partielle des curricula de formation en RE, en équilibrant instruction technique et développement des compétences relationnelles.

Les travaux futurs devraient se concentrer sur une approche computationnelle facilitant l'intégration avec les systèmes d'intelligence artificielle et d'apprentissage automatique. Cette évolution représente une avancée significative dans le REP, orientée vers des méthodologies d'exécution de projet conscientes des relations interpersonnelles ce que nous désignons par l'expression « Relationship-Aware Project Execution ».

La première direction computationnelle prioritaire concerne le développement de systèmes d'analyse automatisée des patterns de trust en temps réel. Les modèles de traitement du langage naturel (NLP) et d'analyse des réseaux de communication pourraient extraire des signaux implicites de trust à partir des interactions d'élicitation transcriptions de réunions, échanges de courriels, contributions aux systèmes collaboratifs sans recourir à des mesures auto-déclarées. Cette approche permettrait de surmonter les biais de désirabilité sociale et de rappel documentés dans le chapitre 5, tout en alimentant le dashboard REP en données continues et non-intrusives.

– **Modèles NLP pour la détection du trust implicite** : analyse de sentiment, détection de signaux d'accord/désaccord, identification de patterns linguistiques associés aux trois dimensions de trust (Compétence, Bienveillance, Intégrité) dans les corpus de communication d'élicitation.

– **Analyse des réseaux sociaux d'interaction** : extraction de métriques de centralité, de réciprocité et de densité de réseau comme proxies comportementaux du trust relationnel complétant les mesures perceptuelles auto-déclarées.

– **Détection d'anomalies dans les patterns de trust** : algorithmes de détection automatique des ruptures dans les trajectoires de trust (chutes brusques de corrélation, pics de variance) correspondant aux alertes CV > 20 % et TQI < 70 identifiées dans le cadre.

La deuxième direction computationnelle concerne le développement d'algorithmes d'optimisation de la composition d'équipe basés sur les profils de

trust. Les résultats empiriques démontrent que les configurations dimensionnelles de trust diffèrent selon les phases SECI et les rôles : un système de recommandation pourrait identifier, pour chaque projet et chaque phase, la composition d'équipe optimisant les niveaux de trust projetés et minimisant les risques de variance excessive.

- **Profils de trust des parties prenantes** : construction de modèles individuels de trust (propension, stabilité, sensibilité contextuelle) à partir des données longitudinales, permettant des appariements stratégiques partie prenante–analyste maximisant la compatibilité de trust.

- **Optimisation multi-objectifs de la composition d'équipe** : algorithmes évolutionnaires ou de programmation linéaire intégrant les contraintes de compétences techniques, de disponibilité et de compatibilité de trust pour identifier des compositions d'équipe Pareto-optimales.

- **Apprentissage par renforcement pour l'adaptation dynamique** : systèmes d'adaptation continue de la composition d'équipe en réponse à l'évolution des niveaux de trust au cours du projet, permettant des réajustements proactifs avant que les seuils critiques ne soient franchis.

La troisième direction computationnelle et la plus transformatrice, concerne la prédiction proactive des défis collaboratifs avant leur matérialisation. Le cadre a démontré que la variabilité du trust ($CV > 20\%$) prédit une détérioration de la qualité des exigences 2 à 3 mois à l'avance avec 84 % de précision. L'intégration de modèles prédictifs plus sophistiqués réseaux de neurones récurrents, modèles de séries temporelles multivariées pourrait étendre ces capacités prédictives et affiner les seuils d'intervention.

- **Modèles de séries temporelles pour la prédiction du trust** : LSTM (Long Short-Term Memory) ou Transformer appliqués aux trajectoires longitudinales de trust pour prédire l'évolution des métriques TQI et RQI sur les phases futures du REP.

- **Systèmes d'alerte précoce intelligents** : intégration des prédictions dans le dashboard REP sous forme d'alertes contextualisées non seulement « le trust est faible » mais « la dimension Intégrité risque de chuter en phase Post-Élicitation, ce qui compromet la Cohérence des exigences intervention recommandée : [protocole spécifique] ».

- **Apprentissage fédéré inter-projets** : partage de patterns de trust appris à travers de multiples projets et organisations (avec préservation de la confidentialité) pour construire des modèles prédictifs généralisables un référentiel collectif de connaissance sur les dynamiques de trust en RE.

Tableau 0-2: Feuille de route computationnelle pour la prochaine génération du cadre SECI-Trust, horizon de recherche 2026–2032.

Axe computationnel	Technologie cible	Apport au cadre SECI-Trust	Horizon temporel
Analyse automatisée des patterns de trust	NLP, analyse de réseaux sociaux, détection d'anomalies	Mesure non-intrusive et continue du trust implicite	Court terme (2–3 ans)
Optimisation de la composition d'équipe	Algorithmes évolutionnaires, apprentissage par renforcement	Appariements stratégiques partie prenante–analyste	Moyen terme (3–5 ans)
Prédiction proactive des défis collaboratifs	LSTM, Transformers, apprentissage fédéré	Alertes contextualisées et recommandations d'intervention	Moyen–long terme (4–7 ans)

L'ensemble des contributions de cette thèse converge vers une vision unifiée : le passage d'une ingénierie des exigences technocentrée vers une ingénierie des exigences consciente des relations interpersonnelles « Relationship-Aware Requirements Engineering » (RARE). Cette transition paradigmatique se manifeste à travers trois glissements conceptuels documentés empiriquement.

Tableau 0-3: Tableau de transition paradigmatique RE Traditionnelle → Relationship-Aware Requirements Engineering (RARE), synthèse des apports conceptuels de la thèse.

RE Traditionnelle	RE Consciente des Relations (RARE)
Le trust est un facteur contextuel implicite, difficile à mesurer	Le trust est un construit quantifiable, tridimensionnel et pilotable
La compétence technique de l'analyste est le déterminant principal de la qualité	L'Intégrité et la Bienveillance sont des prédicteurs aussi déterminants que la Compétence
La qualité des exigences dépend principalement de la phase d'élicitation initiale	La qualité est une propriété cumulée du REP complet, avec un levier maximal en Post-Élicitation
La gestion de la qualité est réactive (correction des défauts constatés)	La gestion de la qualité est proactive (surveillance du trust, prédiction 2–3 phases en avance)
Les outils RE mesurent uniquement l'avancement technique	Les outils RE intègrent des dashboards de monitoring du trust en temps réel
La formation RE cible exclusivement les compétences techniques et méthodologiques	La formation RE équilibre instruction technique et développement des compétences relationnelles

Cette évolution vers la RARE ne représente pas un rejet des fondements techniques de la RE, mais leur enrichissement par une couche relationnelle formalisée, mesurable et intégrée dans les outils et pratiques professionnels. Le dashboard REP implémentant le cadre SECI-Trust matérialise cette vision en offrant aux ingénieurs d'exigences un outil d'analyse complet permettant un monitoring continu et une amélioration de la qualité à travers toutes les étapes du processus d'élicitation.

Cette thèse a démontré qu'il est possible et nécessaire de traiter le trust non comme une variable « douce » échappant à la mesure, mais comme un construit rigoureusement quantifiable dont les effets sur la qualité des exigences sont documentables, prédictibles et actionnables. Les 500 parties prenantes, les 45 projets, les 1 500 observations longitudinales et les 24 mois de suivi empirique ne sont pas seulement des chiffres : ils représentent la démonstration que la relation humaine au cœur de l'élicitation des exigences peut être étudiée avec la même rigueur que les artefacts techniques qu'elle produit.

En intégrant le trust dans le modèle SECI, cette recherche contribue à la construction d'une discipline de l'ingénierie des exigences plus complète une discipline qui reconnaît que les systèmes d'information sont avant tout des systèmes humains, et que leur qualité dépend autant de la confiance entre les personnes qui les conçoivent que de la sophistication des outils qu'elles utilisent. C'est dans cet esprit que les perspectives computationnelles esquissées dans cette conclusion analyse IA des patterns de trust, optimisation de la composition d'équipe, prédiction proactive des défis collaboratifs trouvent leur sens : non pas pour remplacer le jugement humain, mais pour le rendre plus informé, plus anticipatif et plus efficace au service de la qualité des systèmes d'information de demain.

Le trust n'est pas l'opposé de la rigueur technique, c'est son substrat socio-émotionnel indispensable. L'ingénierie des exigences du futur sera à la fois plus rigoureuse techniquement et plus consciente relationnellement, grâce à des cadres comme le SECI-Trust qui rendent le facteur humain mesurable, prédictible et actionnable.

Publication

Article de revues internationales avec comite de lecture et de sélection

Belhachem, H., Chikh, A. (2026). Trust-enhanced Socialization, Externalization, Combination, and Internalization model for quantitative requirements elicitation: Longitudinal validation in higher education projects. Ingénierie des Systèmes d'Information, Vol. 31, No. 4, pp. 1069-1085.
<https://doi.org/10.18280/isi.310405>

Bibliographie

- [1] Wahbeh, A., Sarnikar, S., El-Gayar, O. (2020). A socio-technical-based process for questionnaire development in requirements elicitation via interviews. *Requirements Engineering*, 25(3): 295-315. <https://doi.org/10.1007/s00766-019-00324-x>
- [2] Firesmith, D. (2007). Common requirements problems, their negative consequences, and the industry best practices to help solve them. *Journal of Object Technology*, 6(1): 17-33. Retrieved from http://www.jot.fm/issues/issue_2007_01/column2.
- [3] Burnay, C., Snoeck, M. (2017). Trust in requirements elicitation: How does it build, and why does it matter to requirements engineers? *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing*: 1094-1101. <https://doi.org/10.1145/3019612.3019750>
- [4] Nonaka, I., Toyama, R., Konno, N. (2000). SECI, Ba and leadership: A unified model of dynamic knowledge creation. *Long Range Planning*, 33(1): 5-34. [https://doi.org/10.1016/S0024-6301\(99\)00115-6](https://doi.org/10.1016/S0024-6301(99)00115-6)
- [5] Mayer, R.C., Davis, J.H., Schoorman, F.D. (1995). An integrative model of organizational trust. *Academy of Management Review*, 20(3): 709-734. <https://doi.org/10.5465/amr.1995.9508080335>
- [6] Wan, J., Zhang, H., Wan, D., Huang, D. (2010). Research on knowledge creation in software requirement development. *Journal of Software Engineering and Applications*, 3(5): 487-494. <https://doi.org/10.4236/jsea.2010.35055>
- [7] Li, X.M., Liu, Y.S., Yang, L.W. (2005). Research on software requirement management based on knowledge management. *R&D Management*, 2: 28-32. <https://doi.org/10.1007/s11769-005-0033-7>
- [8] Quinteros, D.M. (2023). Predictive modelling of employee attrition using deep learning. *Acadlore Transactions on AI and Machine Learning*, 2(4): 212-225. <https://doi.org/10.56578/ataiml020404>
- [9] Aranda, G.N., Vizcaino, A., Cechich, A., Piattini, M. (2005). A cognitive-based approach to improve distributed requirements elicitation processes. In *Fourth IEEE Conference on Cognitive Informatics, (ICCI 2005)*, Irvine, CA, USA, pp. 322-330. <https://doi.org/10.1109/COGINF.2005.1532648>
- [10] Chakraborty, S., Sarker, S., Sarker, S. (2010). An exploration into the process of requirements elicitation: A grounded approach. *Association for Information Systems*. <https://doi.org/10.17705/1jais.00225>
- [11] Zowghi, D., Gervasi, V. (2003). On the interplay between consistency, completeness, and correctness in requirements evolution. *Information and Software Technology*: 993-1009. [https://doi.org/10.1016/S0950-5849\(03\)00100-9](https://doi.org/10.1016/S0950-5849(03)00100-9)
- [12] Nuseibeh, B., Easterbrook, S. (2000). Requirements engineering. *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering*: 35-46. <https://doi.org/10.1145/336512.336523>
- [13] Alkhomsan, M.N., Baslyman, M., Alshayeb, M. (2024). Eliciting and modeling emotional requirements: A systematic mapping review. *PeerJ Computer Science*, 10: e1782. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1782>
- [14] Sharma, R., Biswas, K.K. (2013). Resolving inconsistency and incompleteness issues in software requirements. *Managing Requirements Knowledge*: 245-263. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34419-0_11
- [15] Zowghi, D., Coulin, C. (2005). Requirements elicitation: A survey of techniques, approaches, and tools. *Engineering and Managing Software Requirements*: 19-46. https://doi.org/10.1007/3-540-28244-0_2
- [16] 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/10.1080/07421222.2004.11045786>
- [17] Pohl, K., Starke, G., Peters, P. (1995). Workshop summary first international workshop on requirements engineering: Foundation of software quality (REFSQ'94). *SIGSOFT Software Engineering Notes*, 20(1): 39-45. <https://doi.org/10.1145/225907.225912>
- [18] Fogg, B.J. (1999). Persuasive technology. *Communications of the ACM*, 42(5): 26-29. <https://doi.org/10.1145/301353.301396>
- [19] Liu, Z.H. (2025). From data to knowledge: A denoising autoencoder and stacking-based framework for customer retention. *Information Dynamics and Applications*, 4(4): 224-237. <https://doi.org/10.56578/ida040404>
- [20] Sutcliffe, A.G., Ryan, M. (1998). Experience with SCRAM, a scenario requirements analysis

- method. In *Proceedings of IEEE International Symposium on Requirements Engineering: RE'98*, Colorado Springs, CO, USA, pp. 164-171. <https://doi.org/10.1109/ICRE.1998.667822>
- [21] Sommerville, I., Sawyer, P. (1997). Viewpoints: principles, problems and a practical approach to requirements engineering. *Annals of software engineering*, 3(1): 101-130. <https://doi.org/10.1023/A:1018946223345>
 - [22] Marsh, S., Atele-Williams, T., Basu, A., Dwyer, N., Lewis, P. R., Miller-Bakewell, H., & Pitt, J. (2020). Thinking about trust: people, process, and place. *Patterns*, 1(3). <https://doi.org/10.1016/j.patter.2020.100039>
 - [23] Schilke, O., Reimann, M., Cook, K.S. (2021). Trust in social relations. *Annual Review of Sociology*, 47(1): 239-259. <https://doi.org/10.1146/annurev-soc-082120-082850>
 - [24] Hall, S., McQuay, W. (2010). Review of trust research from an interdisciplinary perspective-psychology, sociology, economics, and cyberspace. *Proceedings of the IEEE 2010 National Aerospace & Electronics Conference*: 18-25. <https://doi.org/10.1109/NAECON.2010.5712918>
 - [25] Räisänen, J., Ojala, A., Tuovinen, T. (2021). Building trust in the sharing economy: Current approaches and future considerations. *Journal of Cleaner Production*, 279: 123724. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123724>
 - [26] Artz, D., Gil, Y. (2007). A survey of trust in computer science and the semantic web. *Journal of Web Semantics*, 5(2): 58-71. <https://doi.org/10.1016/j.websem.2007.03.002>
 - [27] Morrone, A., Tontoranelli, N., Ranuzzi, G. (2009). How good is trust?: Measuring trust and its role for the progress of societies. *OECD Statistics Working Papers*
 - [28] Lewicki, R., Bunker, B.B. (1996). Developing and Maintaining. *Trust in organizations: Frontiers of theory and research*, 114.
 - [29] Marsh, S., Dibben, M.R. (2003). The role of trust in information science and technology. *Annual Review of Information Science and Technology (ARIST)*, 37: 465-98. <https://www.learntechlib.org/p/96318/>.
 - [30] Flanagin, A.J., Winter, S., Metzger, M.J. (2020). Making sense of credibility in complex information environments: The role of message sidedness, information source, and thinking styles in credibility evaluation online. *Information, Communication & Society*, 23(7): 1038-1056. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2018.1547411>
 - [31] Sundar, S.S. (2008). *The MAIN model: A heuristic approach to understanding technology effects on credibility* (pp. 73-100). Cambridge, MA: MacArthur Foundation Digital Media and Learning Initiative.
 - [32] Ginsca, A. L., Popescu, A., Lupu, M. (2015). Credibility in information retrieval. *foundations and trends® in information retrieval*, 9(5): 355-475. <https://doi.org/10.1561/15000000046>
 - [33] Wierzbicki, A., Adamska, P., Abramczuk, K., Papaioannou, T., Aberer, K., Rejmund, E. (2014). Studying web content credibility by social simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 17(3): 6. <https://doi.org/10.18564/jasss.2496>
 - [34] Beldad, A., de Jong, M., Steehouder, M. (2010). How shall I trust the faceless and the intangible? A literature review on the antecedents of online trust. *Computers in Human Behavior*, 26(5): 857-869. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.03.013>
 - [35] Nielsen, B.B. (2004). The role of trust in collaborative relationships: A multi-dimensional approach. *M@n@gement*, 7(3): 239. <https://doi.org/10.3917/mana.073.0239>
 - [36] Briggs, R.O., Kolfshoten, G., De Vreede, G.-J. (2006). Defining key concepts for collaboration engineering. *Americas Conference on Information Systems*. Retrieved from. <https://aisel.aisnet.org/amcis2006/17>
 - [37] D'Amour, D. (1997). Structuration de la collaboration interprofessionnelle dans les services de santé de première ligne au Québec. *Santé Communautaire*. <https://doi.org/10.71781/1498>
 - [38] Gray, B., Wood, D.J. (1991). Collaborative alliances: Moving from practice to theory. *The Journal of applied behavioral science*, 27(1): 3-22. <https://doi.org/10.1177/0021886391271001>
 - [39] Rebetez, C., Bétrancourt, M., Sangin, M., Dillenbourg, P. (2010). Learning from animation enabled by collaboration. *Instructional science*, 38(5): 471-485. <https://doi.org/10.1007/s11251-009-9117-6>
 - [40] Potin, Y. (2007). Travail coopératif: quand la distance permet le rapprochement. Article paru dans *Centre de Ressources en Economie-Gestion (CREG) de l'académie de Versailles*.
 - [41] Konaté, J., Sahraoui, A.E.K., Kolfshoten, G.L. (2014). Collaborative requirements elicitation: A process-centred approach. *Group Decision and Negotiation*, 23(4): 847-

877. <https://doi.org/10.1007/s10726-013-9350-x>
- [42] Briggs, R.O., de Vreede, G.-J., Nunamaker, J.F. (2003). Collaboration engineering with thinkLets to pursue sustained success with group support systems. *Journal of Management Information Systems*, 19(4): 31-64. <https://doi.org/10.2307/40398605>
- [43] Messaoudi, M. (2022). A model for viewpoint control in requirements elicitation. *Journal of Computer Science and Technology Studies*, 4(1): 66-71. <https://doi.org/10.32996/jcsts.2022.4.1.8>
- [44] Kolfshoten, G.L., Briggs, R.O., De Vreede, G.J., Jacobs, P.H., Appelman, J.H. (2006). A conceptual foundation of the thinkLet concept for Collaboration Engineering. *International Journal of Human-Computer Studies*, 64(7): 611-621. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2006.02.002>
- [45] De Vreede, G.J., Briggs, R.O. (2005). Collaboration engineering: designing repeatable processes for high-value collaborative tasks. In *Proceedings of the 38th annual Hawaii international conference on system sciences*, Big Island, HI, USA, pp. 17c-17c. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2005.144>
- [46] Martin, J.N. (2000). Processes for engineering a system: An overview of the ANSI/EIA 632 standard and its heritage. *Systems Engineering*, 3(1): 1-26. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6858\(2000\)3:1<1::AID-SYS1>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6858(2000)3:1<1::AID-SYS1>3.0.CO;2-0)
- [47] Seidler-de Alwis, R., Hartmann, E. (2008). The use of tacit knowledge within innovative companies: Knowledge management in innovative enterprises. *Journal of Knowledge Management*, 12(1): 133-147. <https://doi.org/10.1108/13673270810852449>
- [48] Adenfelt, M., Lagerström, K. (2006). Enabling knowledge creation and sharing in transnational projects. *International Journal of Project Management*, 24(3): 191-198. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.09.003>
- [49] Aurum, A., Daneshgar, F., Ward, J. (2008). Investigating knowledge management practices in software development organisations – An Australian experience. *Information and Software Technology*, 50(6): 511-533. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2007.05.005>
- [50] Sherehiy, B., Karwowski, W. (2006). Knowledge management for occupational safety, health, and ergonomics. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 16(3): 309-319. <https://doi.org/10.1002/hfm.20054>
- [51] Thomas, J.C., Kellogg, W.A., Erickson, T. (2001). The knowledge management puzzle: Human and social factors in knowledge management. *IBM Systems Journal*, 40(4): 863-884. <https://doi.org/10.1147/sj.404.0863>
- [52] Mishra, J., Morrissey, M.A. (1990). Trust in employee/employer relationships: A survey of west Michigan managers. *Public Personnel Management*, 19(4): 443-486. <https://doi.org/10.1177/009102609001900408>
- [53] Garousi, V., Giray, G., Tuzun, E. (2020). Understanding the knowledge gaps of software engineers. *ACM Transactions on Computing Education*, 20(1): 1-33. <https://doi.org/10.1145/3360497>
- [54] Popadiuk, S., Choo, C.W. (2006). Innovation and knowledge creation: How are these concepts related? *International Journal of Information Management*, 26(4): 302-312. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2006.03.011>
- [55] Baldé, M., Ferreira, A.I., Maynard, T. (2018). SECI driven creativity: The role of team trust and intrinsic motivation. *Journal of Knowledge Management*, 22(8): 1688-1711. <https://doi.org/10.1108/JKM-06-2017-0241>
- [56] Fatima, S., Khand, Q.U., Siddique, J.A., Memon, Z.A. (2017). Improvement of requirement elicitation process through cognitive psychology. *Sukkur IBA Journal of Computing and Mathematical Sciences*, 1(1): 108-113. <https://doi.org/10.30537/sjcms.v1i1.13>
- [57] He, F., Han, S. (2006). A method and tool for human-human interaction and instant collaboration in CSCW-based CAD. *Computers in Industry*, 57(8-9): 740-751. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2006.04.003>
- [58] Wang, K.Y., Clegg, S. (2002). Trust and decision making: Are managers different in the People's Republic of China and in Australia? *Cross Cultural Management: An International Journal*, 9(1): 30-45. <https://doi.org/10.1108/13527600210797334>
- [59]
- [60] von Krogh, G. (2009). Individualist and collectivist perspectives on knowledge in organizations: Implications for information systems research. *The Journal of Strategic Information Systems*, 18(3): 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2009.08.001> Wu, W.-L., Lee, Y.-C. (2016). How to make a knowledge-sharing group: A group social capital perspective. *Personnel Review*, 45(3): 523-538. <https://doi.org/10.1108/PR-12-2013-0227>
- [61] Gottesdiener, E. (2003). Requirements by collaboration: Getting it right the first time.

- IEEE Software, 20(2): 52-55. <https://doi.org/10.1109/MS.2003.1184167>
- [62] Evans, M.M. (2013). Is trust the most important human factor influencing knowledge sharing in organisations? *Journal of Information & Knowledge Management*, 12(4): 1350038. <https://doi.org/10.1142/S021964921350038X>
- [63] Nonaka, I., Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195092691.001.0001>
- [64] Canedo, E.D., Mendes, B.C. (2020). Software requirements classification using machine learning algorithms. *Entropy*, 22(9): 1057. <https://doi.org/10.3390/e22091057>
- [65] Attah, R.U., Pacifico, B.M., Gonzalez-Orozco, G.I. (2024). Best practices in project management for technology driven initiatives: A systematic review of market expansion and product development techniques. *International Journal of Engineering Research and Development*, 20(11): 1350-1361.
- [66] Al-Rawas, A., Easterbrook, S.M. (1996). A field study into the communications problems in requirements engineering. In *Conference on Professional Awareness in Software Engineering*.
- [67] Heydt, H.J., Alessi, R.S. (2002). Tools for requirements discovery, creation, and elicitation. *INCOSE International Symposium*, 12(1): 554-564. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2002.tb02510.x>
- [68] Calefato, F., Ebert, C. (2019). Agile collaboration for distributed teams. *IEEE Software*, 36(1): 72-78. <https://doi.org/10.1109/MS.2018.2874668>
- [69] Zowghi, D., Gervasi, V. (2002). The three Cs of requirements: Consistency, completeness, and correctness. In *International Workshop on Requirements Engineering: Foundations for Software Quality*, Essen, Germany: Essener Informatik Beitiage, pp. 155-164.
- [70] Leffingwell, D. "Calculating the Return on Investment from more Effective Requirements Management", *American Programmer*, vol. 10, no. 4, pp. 13-16, 1997

Résumé

L'élicitation des exigences est une phase critique et complexe du cycle de développement d'un système, souvent mal gérée et reconnue comme source d'erreurs. Le processus d'élicitation des exigences (REP) étant de nature informelle, un ensemble d'exigences peut s'avérer incorrect, incomplet et incohérent pour toutes les parties prenantes. Il est donc souvent difficile d'extraire les exigences avec précision. Comprendre le processus socio-émotionnel associé au REP est essentiel pour améliorer les performances de l'équipe et, par conséquent, la qualité des exigences. En effet, nous émettons l'hypothèse qu'un faible niveau de confiance dans la structure organisationnelle peut avoir un impact négatif sur la qualité des exigences. De plus, la littérature récente affirme qu'il n'existe pas suffisamment d'études axées sur la confiance et la qualité des exigences. Ce travail de recherche vise à examiner l'impact de la confiance verticale et horizontale sur la création de connaissances pendant le REP, qui est basé sur le modèle S.E.C.I. de socialisation, d'externalisation, de combinaison et d'internalisation. Il s'appuie sur une étude de cas qui analyse les manifestations de la confiance interpersonnelle et organisationnelle pendant les conversations REP menées dans le cadre du projet de formation en ligne Mooc Computer Science.

Mots clés : *Exigences, Elicitation, Confiance, Connaissance, S.E.C.I, Collaboration .*

Abstract

Requirements elicitation is a critical and complex phase in the system development cycle that is often mistreated and often recognized as error-prone. As the requirements elicitation process (REP) is informal by nature, a set of requirements may be incorrect, incomplete, and inconsistent for all stakeholders. Therefore, it is often difficult to accurately extract requirements. Understanding the socio-emotional process associated with REP is key to increasing team performance and, consequently the requirements quality. Indeed, we hypothesize that low levels of trust in the organizational structure can negatively impact requirements quality. Furthermore, recent literature claims that there are not enough studies focusing on trust and requirements quality. This research work aims to examine the impact of vertical and horizontal trust on knowledge creation during REP, which is based on the S.E.C.I. model of socialization, externalization, combination, and internalization. It is supported by a case study that analyzes the manifestations of interpersonal and organizational trust during REP conversations conducted in the context of the Mooc Computer Science online training project.

Keywords : *Requirements, Elicitation, Trust, Knowledge, S.E.C.I, Collaboration.*

ملخص

يعد استخلاص المتطلبات مرحلة حاسمة ومعقدة في دورة تطوير النظام، وغالبًا ما يتم التعامل معها بشكل غير (REP) خاطئ وغالبًا ما يُنظر إليها على أنها عرضة للأخطاء. نظرًا لأن عملية استخلاص المتطلبات رسمية بطبيعتها، فقد تكون مجموعة المتطلبات غير صحيحة أو غير كاملة أو غير متسقة بالنسبة لجميع أصحاب المصلحة. لذلك، غالبًا ما يكون من الصعب استخراج المتطلبات بدقة. إن فهم العملية الاجتماعية هو المفتاح لزيادة أداء الفريق، وبالتالي جودة المتطلبات. في الواقع، نفترض أن REP والعاطفية المرتبطة بـ انخفاض مستويات الثقة في الهيكل التنظيمي يمكن أن يؤثر سلبًا على جودة المتطلبات. علاوة على ذلك، تشير الأدبيات الحديثة إلى عدم وجود دراسات كافية تركز على الثقة وجودة المتطلبات. يهدف هذا البحث إلى دراسة للتنشئة الاجتماعية S.E.C.I. ، استنادًا إلى نموذج REP تأثير الثقة الرأسية والأفقية على إنشاء المعرفة أثناء التعبير الخارجي والدمج والاستيعاب. ويدعمه دراسة حالة تحلل مظاهر الثقة بين الأفراد والمنظمات أثناء Mooc Computer Science. التي أجريت في سياق مشروع التدريب عبر الإنترنت REP محادثات

الكلمات المفتاحية: المتطلبات، الاستنباط، الثقة، المعرفة، S.E.C.I، التعاون