
Evaluation orientée coût/valeur du besoin de traçabilité des exigences dans un projet

Catégorie: chercheur

Hamid El-Ghazi^{*}, Saïd Assar^{}**

** Centre de Recherche en Informatique
Université Paris 1 - Panthéon Sorbonne
90, rue de Tolbiac 75013 Paris - France
hamid.el-ghazi@malix.univ-paris1.fr*

***Institut Télécom Sud Paris
Laboratoire CEMANTIC
9, rue C. Fourier 91011 Evry France
said.assar@it-sudparis.eu*

RÉSUMÉ. La traçabilité est reconnue dans l'ingénierie des systèmes comme une démarche incontournable pour garantir l'évolution des produits. Cependant, la grande masse d'information produite généralement lorsqu'on adopte la traçabilité fait que les acteurs du projet y sont réticents ou n'arrivent pas à l'appliquer correctement et à en tirer tous les profits escomptés. Dans ce travail réalisé en milieu industriel, nous proposons une solution qui aide les parties prenantes dans un projet à identifier le sous-ensemble des informations à tracer de telle manière à maximiser la valeur ajoutée et minimiser le coût d'exploitation. La démarche proposée repose sur le calcul du rapport entre une estimation du coût et celle de la valeur de tous les besoins de traçabilité pour choisir un modèle de traçabilité optimal. Elle complète le méta-modèle de traçabilité MV-TMM développé précédemment et utilise la méthode de priorisation des besoins AHP.

ABSTRACT. Traceability is well recognised in system engineering as an inevitable step for guaranteeing product evolution. However, project team members are reluctant to adopt traceability or do not get all the expected added value as the mass of information that is produced is generally too large. In this work realised in an industrial context, we propose a solution which helps project stakeholders in identifying the subset of information to trace in such a way to maximise added-value and minimise usage cost. The proposed method relies on calculating the rate between cost estimation and value estimation of all traceability requirements so that to select an optimal traceability model. This method continues previous work on MV-TMM traceability meta-model and uses AHP prioritisation method.

MOTS-CLÉS : Traçabilité des exigences, processus d'ingénierie, méthodes d'évaluation, coût, valeur, modèle de traçabilité, méta modèle.

KEYWORDS: Requirements traceability, engineering process, evaluation methods, cost, value, traceability models, meta-models.

1. Introduction

La question de la traçabilité se pose dans tout projet d'ingénierie des SI. Tous les acteurs du projet éprouvent à un moment ou à un autre le besoin de savoir et de comprendre pourquoi et par qui telle exigence a été émise, comment elle a été traduite dans la conception du système et par quel(s) fragments(s) du produit final elle a été implantée. Ce besoin s'accroît lorsque les exigences initiales et/ou le système final évoluent. Pour estimer l'impact d'une modification des besoins sur le système et sur son usage, une information minimale de traçabilité est indispensable. Négliger cette traçabilité ou capturer des traces insuffisantes et/ou non structurées mène à une diminution de la qualité globale d'un système. Elle entraîne généralement des révisions inutiles et l'augmentation du coût et du temps de développement (Gotel, 94) (Dick, 05).

Alors que la plupart des standards d'ingénierie (tels que ISO/IEC 12207) recommandent la traçabilité dans leurs processus (Gray, 99) et que les avantages de la traçabilité aient été signalés depuis longtemps (Brooks, 87), sa pratique n'est pas encore très répandue. En effet, la traçabilité génère un volume important de divers types d'information à capturer et à maintenir. L'absence de guidage dans la capture, l'utilisation et la maintenance de ces informations diminuent la motivation des chefs de projets pour intégrer la traçabilité dans les processus de conception et de développement. Ceux-ci considèrent que la création et l'entretien des informations de traçabilité sont très coûteux au regard des bénéfices engendrés (Arkley, 2005).

Nous avons rencontré des problèmes similaires dans le cadre d'un projet de développement d'automate électronique au sein de STAGO¹, entreprise de fabrication de matériel médical. Le besoin de traçabilité était critique pour la validation des documents de conception, le suivi des changements, la gestion des configurations et la maintenance des automates d'analyse sanguine. Une première étape a été l'élaboration d'un méta modèle pour tracer les processus de développement (El-Ghazi, 08) (El-Ghazi & al., 08). Cependant, les utilisateurs ont été réticents à l'utiliser car il générerait une masse d'information coûteuse à gérer et à maintenir. Nous avons alors cherché une solution de filtrage et de sélection pour s'adapter au contexte d'un projet et faire émerger un modèle de traçabilité qui représente un compromis adéquat entre le coût et la valeur de l'effort de traçabilité.

Le travail présenté dans cet article développe une approche pour l'estimation préalable du coût et de la valeur d'un modèle de traçabilité. Le coût est relatif aux efforts nécessaires pour capturer, exploiter et maintenir les informations de traçabilité. La valeur est relative à l'importance de ces informations et au bénéfice escompté pour les différents acteurs d'un projet. Cette estimation préalable du rapport coût/valeur permet la construction d'un modèle de traçabilité adapté aux besoins du projet et ajusté au contexte spécifique de celui-ci (taille et complexité, type d'acteurs, contraintes du domaine, réglementation, etc.).

¹ Diagnostica Stago, 125 avenue L. Roche, 92230 Gennevillier, www.stago.fr

Ce travail relève du domaine de la traçabilité des exigences. Nous abordons un problème peu traité dans les travaux existants. En effet, ces derniers se préoccupent généralement de la recherche de modèle et de méta modèle de représentation des informations de traçabilité (Gotel & al., 97) (Domges & al., 98) (Pohl & al., 99) (Ramesh & al., 01). Ils traitent également des solutions techniques de capture et de maintenance des informations capturés (Antoniol & al., 02) (Egyed & al., 02) (Cleland-Huang & al., 03). Le problème de la définition de modèles de traçabilité adaptables au contexte d'un projet ainsi que le développement de métrique et de méthode pour estimer le coût de tels modèles, ont été identifiés comme des voies de recherche futures à explorer dans le domaine de l'ingénierie de la traçabilité (Antoniol & al., 06) (Oliveto & al., 07).

La suite de cet article se présente comme suit: La section 2 présente brièvement le méta-modèle général de la traçabilité que nous avons développé (El-Ghazi, 08) (El-Ghazi & al. 08) ainsi que le processus sous-jacent à l'instanciation de ce méta-modèle en utilisant les cartes de processus Map (Rolland & al., 99). La section 3 est un bref rappel de la méthode AHP pour l'estimation du coût et de la valeur dans l'ingénierie des besoins et que nous avons adapté à notre problématique (Karlson & al. 97). La section 4 présente le processus d'évaluation coût/valeur que nous avons développé: estimation de la valeur des besoins de traçabilité, et estimation du coût des besoins de traçabilité à l'aide d'une métrique élaboré d'une manière empirique. La section 5 est une étude de cas qui décrit un exemple d'application de l'approche au sein de l'entreprise STAGO. La section 6 conclue l'article en discutant l'apport et le positionnement de notre travail et en évoquant ses perspectives futures.

2. La démarche MV-TMM

La démarche MV-TMM propose un processus intentionnel composé de plusieurs stratégies qui guident les experts de traçabilité à construire un modèle de traçabilité adapté au besoin d'un projet (Figure 1). Les stratégies sont représentées par des flèches et les intentions par des ovales (Rolland & al., 99).

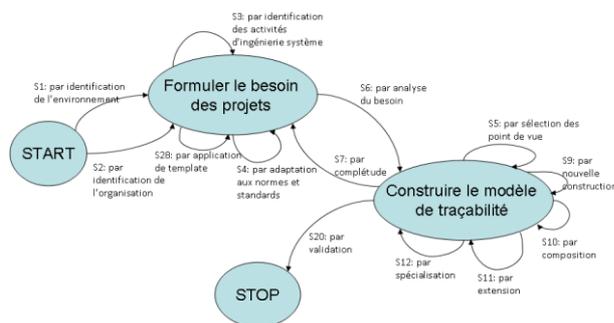


Figure 1. Modèle MAP de la démarche MV-TMM

Le méta-modèle de traçabilité MV-TMM a été obtenu par composition et extension de différents concepts des approches de traçabilité existantes dans le domaine de la gestion des exigences. Ce méta-modèle est présenté dans la figure 2.

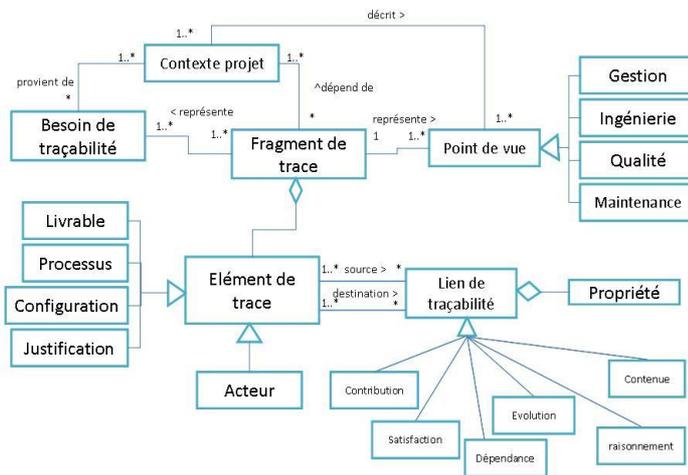


Figure 2. Méta-modèle de traçabilité MV-TMM (El-Ghazi & al., 08)

Le méta modèle est composé des éléments suivants:

- Élément de traçabilité: sont les différents éléments qui décrivent un modèle de traçabilité. Les livrables, les processus, les contributeurs, les configurations, les justifications sont les principaux éléments qui nous permettent de capturer les diverses catégories d'informations de traçabilité dans un projet.
- Contexte projet: caractérise la situation de chaque projet. Ainsi, le modèle construit sera adapté à chaque situation.
- Lien de traçabilité: décrivent les relations entre les informations de traçabilité.
- Point de vue: représente les différents points de vue d'utilisation de la traçabilité. Chaque point de vue se préoccupe d'un aspect de la traçabilité (gestion, ingénierie, etc.)
- Fragment: représente une partie d'un modèle de traçabilité relative à une phase ou à un point de vue d'utilisation. Le modèle générique d'un projet est composé de fragment de modèle.

3. Rappel de la méthode AHP

La méthode AHP a été développée par T. Saaty (Saaty, 80). Elle a été initialement appliquée dans le domaine d'ingénierie logicielle (Karlsson, 96), (Karlsson & al., 97). C'est une méthode de prise de décision dans des situations où

on doit choisir entre plusieurs besoins dont l'importance pour l'utilisateur et le coût de développement sont variables et peuvent présenter de grands écarts. Un utilisateur peut exprimer le besoin d'une fonctionnalité dont le coût de réalisation est très élevé alors que l'apport de cette fonctionnalité sera minimal. A l'inverse, une fonctionnalité facilement réalisable peut avoir une très grande importance pour les utilisateurs finaux. La méthode AHP permet d'établir une priorisation des besoins selon le rapport entre le coût estimé de réalisation d'un besoin et son importance.

La méthode utilise des matrices de "combinaison binaire" pour calculer le coût et la valeur des besoins. Le processus d'évaluation est composé de deux phases principales pour prioriser les besoins suivant le couple coût/valeur :

- Application de la matrice de 'combinaison binaire' par les membres d'un projet pour estimer la valeur relative et le coût d'implantation de chaque besoin.
- Grâce à une représentation des résultats sous la forme d'un diagramme coût/valeur, les responsables d'un projet établissent un ordonnancement des besoins et choisissent ceux ayant le meilleur rapport coût/valeur.

Nous avons choisi d'utiliser la méthode AHP car elle permet d'obtenir une appréciation facile de chaque évaluation. De plus, elle guide ses utilisateurs dans les différentes étapes de calcul.

4. Le processus d'évaluation coût/valeur

La figure 3 montre les différentes étapes de notre processus d'évaluation. Il est composé de deux chemins distincts qui peuvent être faits séparément: le premier chemin (à droite) consiste à évaluer chaque besoin de traçabilité selon sa valeur, tandis que le deuxième chemin (à gauche) permet l'évaluation de son coût.

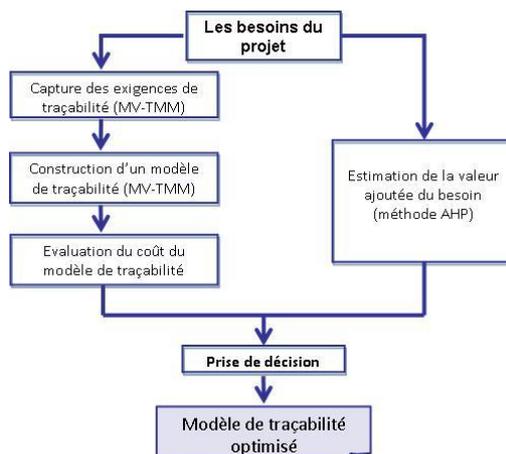


Figure 3. Processus d'évaluation coût/valeur des besoins de traçabilité

L'évaluation de la valeur d'un besoin de traçabilité est faite par les acteurs du projet. Elle se fait par application directe des matrices de combinaison binaires de la méthode AHP. En revanche, l'évaluation du coût du besoin de traçabilité nécessite un traitement avancé. Le besoin de traçabilité est traduit en termes d'exigences de traçabilité et aboutit à la construction d'un modèle qui satisfait tous les besoins exprimés. L'estimation du coût des besoins de traçabilité revient ensuite à évaluer le coût d'implantation et de gestion des éléments composants ce modèle. Alors que dans la méthode AHP la phase d'évaluation des coûts se fait directement par les experts logiciels, elle nécessite dans notre approche une phase intermédiaire de construction de modèle qui va guider l'estimation du coût.

4.1. Estimation de la valeur des besoins de traçabilité

L'estimation de la valeur d'un besoin de traçabilité consiste à donner des valeurs relatives à chaque besoin afin de mesurer son importance par rapport aux autres besoins de traçabilité. Le tableau 1 introduit les mesures proposées par la méthode AHP pour la détermination de la valeur de chaque besoin par rapport aux autres.

Valeur	Interprétation
1	Les exigences i et j ont une valeur égale.
3	L'exigence i a une valeur peu élevée par rapport à celle de j.
5	L'exigence i a une valeur plus élevée que celle de j.
7	L'exigence i a une valeur très élevée par rapport à celle de j.
9	L'exigence i a une valeur extrêmement élevée par rapport à celle de j.
2, 4, 6, 8	Ce sont des valeurs intermédiaires entre les valeurs impaires
Réciproques	Si la valeur de i est moins élevée que j

Tableau 1. Métrique pour comparer les valeurs relatives de deux besoins

Les membres du projet construisent une matrice ayant une ligne et une colonne pour chaque besoin de traçabilité. Cette matrice de "combinaison binaire" est ensuite complétée par les valeurs du tableau 1 au niveau de chaque intersection ligne i et colonne j ($i \neq j$). La matrice subit par la suite plusieurs transformations avant d'aboutir à la valeur absolue de chaque besoin vis-à-vis du projet. Ce processus de transformation sera illustré brièvement dans l'étude de cas.

4.2. Estimation du coût des besoins de traçabilité

Le coût d'un besoin est estimé en se basant sur un modèle de traçabilité qu'il faut construire. Ce modèle est obtenu par instanciation du méta-modèle MV-TMM (figure 2). L'estimation du coût des besoins de traçabilité revient ainsi à estimer le coût d'implantation des éléments du modèle de traçabilité obtenu. Cette estimation est construite par addition des coûts individuels de chaque élément du modèle.

Le coût d'une information de traçabilité dépend de la catégorie et de la nature de celle-ci. Une information relative à un livrable est moins coûteuse à gérer et à maintenir qu'une information de traçabilité de type justification. Ce coût dépend aussi de la nature de l'information (tel que formel/informel), de la manière avec laquelle l'information est enregistrée (telle que automatiquement/manuellement), de la fréquence de modification (telle que élevée/faible), etc. Ces différents facteurs affectant le coût d'une information de traçabilité ont été signalés dans plusieurs travaux existants sur la traçabilité (Gotel & al., 97) (Pohl & al., 99) (Ramesh & al., 01) (Antoniol & al., 02) (Hayes & al., 03) (Cleland-Huang & al., 03).

Le tableau 2 présente une codification sur une échelle de 1 à 9 des différentes composantes de coût pour chaque catégorie d'information de traçabilité. Les cinq catégories d'information correspondent aux éléments génériques de traçabilité définis dans le méta-modèle MV-TMM (figure 2). La construction de ce tableau a été faite d'une manière empirique dans le cas du projet STG au sein de l'entreprise STAGO. Les valeurs indiquées sont spécifiques au contexte technique et méthodologique de ce projet. Ils dépendent en effet des outils utilisés dans le processus de conception et de développement ainsi que du processus lui-même et des artéfacts générés et manipulé par celui-ci.

Le coût associé à un aspect particulier d'une catégorie d'information peut être très variable. Par exemple, une information de justification qui est de nature informel est considérée comme ayant un coût plus élevé (+5) que le coût d'une information de même nature pour une information de catégorie livrable (+3). Ces variations sont dues à la nature intrinsèquement distincte des catégories d'information.

Catégorie d'information	Attributs de l'information	Qualification (+coût) de l'attribut		
		Formel (+1)	Semi formel (+2)	Informel (+3)
Livrable	Nature du livrable	Formel (+1)	Semi formel (+2)	Informel (+3)
	Type d'enregistrement	Manuel (+1)	Semi-auto (+2)	Auto (+5)
	Effort de traitement	Facile (+2)	Moyen (+4)	Important (+7)
Justification	Nature de la justification	Formel (+1)	Semi-Formel (+3)	Informel (+5)
	Type d'enregistrement	Manuel (+1)	Semi-auto (+2)	Auto (+5)
	Effort de traitement	Facile (+2)	Moyen (+4)	Important (+7)
Configuration	Fréquence des modifications	Faible (+2)	Moyenne (+3)	Elevé (+4)
	Effort de traitement	Facile (+2)	Moyen (+3)	Important (+5)
	Complexité du processus	Séquentiel (+5)		Multi-chemin (+7)
Processus	Type d'enregistrement	Manuel (+3)	Semi-auto (+5)	Auto (+7)
	Effort de traitement	Facile (+2)	Moyen (+5)	Important (+9)
Lien de traçabilité	Type d'enregistrement	Auto (+3)	Semi-auto (+5)	Manuel (+7)
	Effort de traitement	Facile (+2)	Moyen (+5)	Important (+7)

Tableau 2. Métrique pour l'estimation du coût

5. Etude de cas: développement d'un automate d'analyse sanguine chez STAGO

Cette section présente l'application de notre processus d'évaluation du besoin dans le cadre du projet STG de l'entreprise STAGO.

5.1. Capture du besoin

La première étape de notre processus d'évaluation consiste à capturer le besoin du projet. La démarche MV-TMM propose des directives pour aider à la capture de ce besoin. Nous avons appliqué la directive stratégique S2 qui consiste à réaliser des interviews avec les responsables du projet afin de spécifier le besoin de chacun. Le tableau 3 illustre le résultat obtenu après l'application de la stratégie.

Id	Besoin de traçabilité	Origine
B1	Vérifier que toutes les exigences clients ont été tenues	Chef de projet
B2	S'assurer que le besoin est correctement implémenté	Chef de projet
B3	S'assurer que les exigences ont été allouées aux composants du système	Architecte
B4	Vérifier la cohérence entre les interfaces des composants	Architecte
B5	Avoir une justification des choix de conception	Ingénieur de la qualité
B6	Connaitre l'origine de chaque exigence	Ingénieur de la qualité
B7	Mesurer la progression du développement	Sponsor
B8	Adaptation rapide vis-à-vis des changements du besoin clients	Chef de projet
B9	Suivi du processus de prise de décision	Ingénieur de la qualité

Tableau 3. Besoin des responsables du projet

5.2. Evaluation de la valeur du besoin

L'évaluation de la valeur du besoin est obtenue par application directe de la méthode AHP. Elle consiste remplir la matrice de "combinaison binaire" en comparant les valeurs entre les besoins (tableau 4). Les responsables peuvent remplir la matrice dans n'importe quel ordre. La matrice a une forme symétrique, c'est-à-dire, qu'à chaque valeur dans les cellules de la matrice correspond une valeur réciproque. Les valeurs des couples $(B_i, B_i) \{i = 1, 2 \dots 9\}$ sont égales à 1.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
B1	1	1/3	6	8	5	9	7	4	6
B2	3	1	5	7	4	8	6	3	5
B3	1/6	1/5	1	3	1/3	5	1/7	1/9	1/4
B4	1/8	1/7	1/3	1	1/3	1/5	3	1/6	4
B5	1/5	1/4	3	3	1	2	4	1/5	6
B6	1/9	1/8	1/5	5	1/2	1	3	1/4	5
B7	1/7	1/6	7	1/3	1/4	1/3	1	5	4
B8	1/4	1/3	9	6	5	4	1/5	1	2
B9	1/6	1/5	4	1/4	1/6	1/5	1/4	1/2	1

Tableau 4. Matrice "comparaison binaire" de la méthode AHP

La matrice de "combinaison binaire" subit plusieurs transformations avant l'établissement de la valeur du besoin. A partir des informations obtenues des tableaux intermédiaires, la méthode AHP calcule la valeur de chaque besoin en divisant les valeurs de la colonne "Somme des colonnes" par le nombre de colonne (9 colonnes dans notre cas).

La figure 4 montre sous la forme d'un graphe la valeur de chaque besoin par rapport aux autres besoins. On voit aisément par exemple que le besoin B2 ("s'assurer que le besoin est correctement implémenté") est celui qui est jugé comme étant le plus important, alors que le besoin B9 ("suivi du processus de prise de décision") est jugé comme étant le moins important.

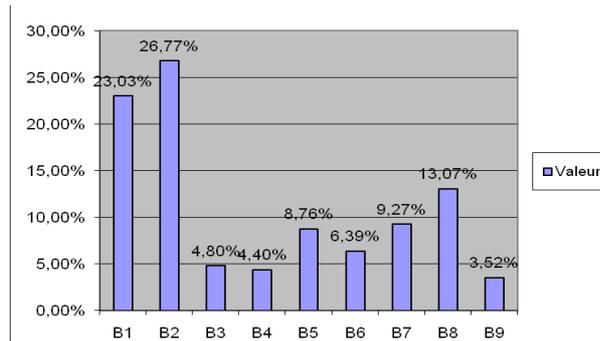


Figure 4. Valeur relative de chaque besoin

5.3. Evaluation du coût du besoin

Le processus d'évaluation du coût est composé de trois étapes : (1) traduction du besoin projet en termes d'exigences, (2) construction d'un modèle de traçabilité, et (3) mesure du coût d'implémentation des éléments du modèle de traçabilité.

5.3.1 Traduction du besoin en exigences de traçabilité

La traduction du besoin projet en exigences de traçabilité est obtenue par application de la directive stratégique S4 proposé par la démarche MV-TMM. Cette directive propose des directives pour aider à la décomposition des besoins en exigences. Prenons par exemple le besoin B2 du Chef de projet ("S'assurer que le besoin des clients est correctement implémenté"). Le chef de projet est à l'origine de ce besoin, il souhaite avoir un moyen pour s'assurer que le besoin de ces clients est correctement implémenté.

Les experts de traçabilité appliquent la stratégie S4 de la démarche MV-TMM et traduisent ce besoin en proposant deux exigences de traçabilité :

- **Treq2:** Capturer les informations de traçabilité permettant de s'assurer que le besoin client est correctement implémenté.
- **Treq3:** Créer une relation de traçabilité entre le besoin et son implémentation (spécification, conception, développement).

Besoin	Exigence de traçabilité
B1	Treq1 : Capturer les informations de traçabilité permettant la vérification de l'état des exigences des clients
B2	Treq2 : Capturer les informations de traçabilité permettant de s'assurer que le besoin client est correctement implémenté Treq3 : Créer une relation de traçabilité entre le besoin et son implémentation (spécification, conception, développement)
B3	Treq4 : Créer une relation d'allocation entre les exigences et les composants du système
B4	Treq5 : Créer une relation de dépendance entre les interfaces des composants du système
B5	Treq6 : Capturer les informations de justification des choix de conception
B6	Treq7 : Capturer les informations de justification de l'origine de chaque exigence
B7	Treq8 : Capturer les informations sur l'évolution des différents livrables du projet.
B8	Treq9 : Capturer les informations de gestion des changements du besoin client
B9	Treq10 : Enregistrer les étapes et les livrables associés aux processus de prise de décision dans le projet.

Tableau 5. Traduction du besoin projet en exigences de traçabilité

Le tableau 5 montre la liste des exigences obtenues après la traduction de chaque besoin.

Cette traduction du besoin en exigences de traçabilité aide les experts de traçabilité à donner une signification plus claire du besoin dans la terminologie de leur domaine.

5.3.2 Construction du modèle de traçabilité

A partir des exigences de traçabilité identifiées dans la section précédente, nous pouvons déduire la liste des informations de traçabilité nécessaire pour construire un modèle de traçabilité. L'expert de traçabilité doit sélectionner les informations de traçabilité qui répond à chaque exigence parmi les cinq catégories d'information proposé par le méta modèle de la démarche MV-TMM (Livrable, Processus, Acteur, Justification, Configuration). Dans le cas de l'exigence Treq2, les informations de traçabilité seront par exemple :

- Livrable : Plan de test, Rapport d'essai
- Lien : Besoin client -> Plan test, Plan de test -> Rapport d'essai

Le tableau 6 montre les informations de traçabilité issues de chaque exigence de traçabilité (les exigences de traçabilité sont identifiées par TreqNuméro).

La construction du modèle de traçabilité est un processus qui consiste à regrouper l'ensemble des informations de traçabilité dans un modèle générique du projet. Nous avons appliqués les directives stratégiques S9, S10, S11 S12, de la démarche MV-TMM afin de construire ce modèle.

La figure 5 montre le résultat obtenu en assemblant les différentes informations du tableau 6. La notation graphique utilisée pour la description du modèle est citée dans la légende.

Exigence	Catégorie d'information de traçabilité associée à l'exigence		
Treq1	Livrable	Attribut	
	Besoin client	Statut	
Treq2	Livrable	Lien (source -> destination)	
	Plan de test, Rapport d'essai	Besoin client -> Plan test Plan de test -> Rapport d'essai	
Treq3	Livrable	Lien (source -> destination)	
	Spécification, Conception, Code source SW, Plan HW	Besoin -> Spécification, Spécification-> Conception, Conception-> Code source, Conception-> Plan HW	
Treq4	Livrable	Lien (source -> destination)	
	Composantes système	Besoin client-> Composantes système	
Treq5	Livrable	Lien (source -> destination)	
	Interface, Composante	Interface -> Composante, Interface-> Interface	
Treq6	Justification	Lien (source -> destination)	
	Preuve	Preuve-> Conception	
Treq7	Justification	Lien (source -> destination)	
	Origine	Exigence-> Origine	
Treq8	Lien (source -> destination)		
	Livrable -> Livrable		
Treq9	Evolution	Lien (source -> destination)	
	Changement	Changement -> Livrable	
Treq10	Processus	Justification	Lien (source -> destination)
	Processus de décision	Décision	Processus de décision -> Décision, Décision -> Livrable

Tableau 6. Informations de traçabilité issues des exigences

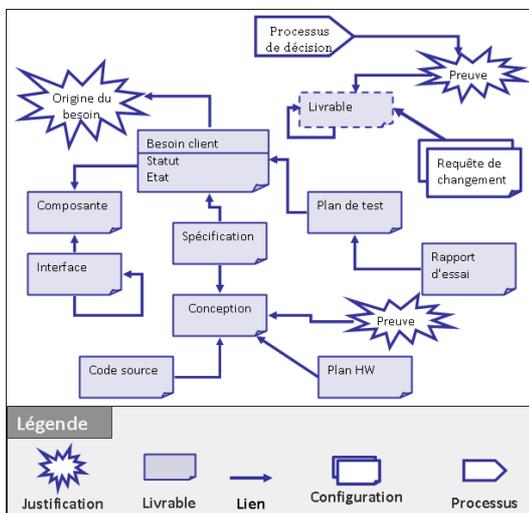


Figure 5. Modèle de traçabilité non optimisé

Le tableau 7 indique le résultat obtenu pour le calcul du coût du besoin.

Besoin	Exigence de traçabilité	Information de traçabilité	Coût unitaire	Coût Total
B1	Treq1	Besoin client	3	3
B2	Treq2	Plan de test	5	8
		Rapport d'essai	3	
	Treq3	Spécification	5	29
		Conception	7	
		Code source	11	
		Plan HW	6	
B3	Treq4	Composante	1	1
B4	Treq5	Interface	1	1
B5	Treq6	Preuve	4	4
B6	Treq7	Origine	2	2
B7	Treq8	Lien	9	9
B8	Treq9	Changement	5	5
B9	Treq10	Décision	3	12
		Processus de décision	9	

Tableau 7. Evaluation du coût des besoins de traçabilité

La figure 6 montre un graphe qui représente le pourcentage du coût de chaque besoin par rapport aux autres besoins.

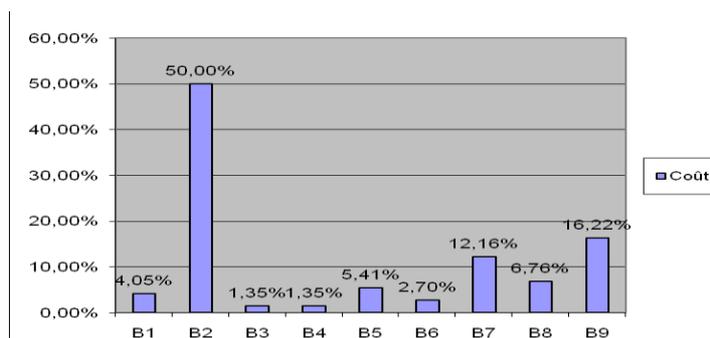


Figure 6. Pourcentage du coût de chaque besoin

5.3.4 Prise de décision

L'étape finale du processus d'évaluation consiste à représenter le coût et la valeur dans un seul graphe. Ce graphe guide les responsables du projet pour choisir les besoins les plus importants qui ne dépassent pas les contraintes de coût du projet. La prise de décision correspond donc à un choix sur la base des informations obtenues par application de notre solution. La figure 7 montre un graphe de l'ensemble des besoins représentés avec le couple (coût, valeur). Le graphe visualise le coût et la valeur de chaque besoin par rapport aux autres besoins.

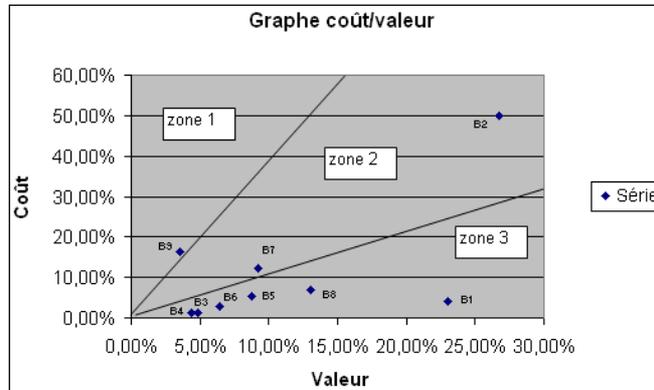


Figure 7. Graphe coût/valeur du besoin projet

Analyse du graphe :

La méthode AHP propose de diviser le graphe de la figure 7 en trois zones pour faciliter son analyse:

- Zone 1 : Représente les besoins dont le rapport coût/valeur est élevé (le rapport coût/valeur dépasse 2)
- Zone 2 : Représente les besoins dont le rapport coût/valeur est moyen (le rapport coût/valeur entre 0,5 et 2)
- Zone 3 : Représente les besoins dont le rapport coût/valeur est faible (le rapport coût/valeur inférieur à 0,5)

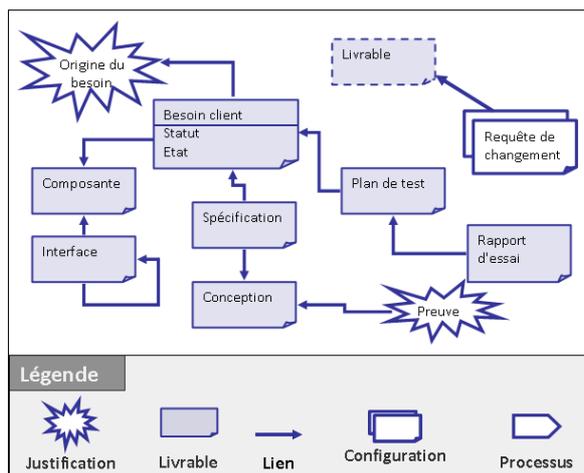


Figure 8. Modèle de traçabilité après optimisation

Le besoin B9 se situe dans la zone 1, les besoins B2 et B7 se situent dans la zone 2, tandis que les besoins de B1, B3, B4, B5, B6, B8 se situent dans la zone 3. A partir de ces informations, les responsables d'un projet sont capables de prioriser les besoins suivant le rapport coût/valeur. S'ils choisissent par exemple d'implémenter l'ensemble du besoin à l'exception de B2, B7, B9, alors la valeur du modèle de traçabilité envisagée sera d'environ 80% tandis que son coût sera réduit de 44%. La figure 8 montre le modèle de traçabilité obtenu par la non prise en compte des besoins B2, B7, B9. Les éléments manquants dans la figure 8 par rapport au précédent (figure 4) sont : Code source, Plan HW, Processus de décision, Décision, Lien d'évolution.

5. Conclusion

Nous avons présenté dans cet article une méthode qui permet aux responsables d'un projet d'ingénierie de déterminer, selon les caractéristiques du projet et les besoins des parties prenantes de celui-ci, la structure optimale du modèle de traçabilité. Notre approche adapte la méthode AHP à la problématique spécifique de la traçabilité et repose sur la démarche MV-TMM qui guide la création d'un modèle de traçabilité à partir d'un ensemble de besoins initiaux. Elle a été développée et appliquée dans le cadre d'un projet d'ingénierie industrielle au sein d'une entreprise de construction de matériel médical.

Cette méthode répond à une problématique reconnue dans le domaine de la traçabilité et qui est relative à la difficulté pratique à intégrer la traçabilité dans les processus d'ingénierie. Elle peut être incorporée dans tout processus d'ingénierie, elle nécessite la définition préalable d'une métrique pour l'estimation des coûts des éléments du méta-modèle selon le contexte d'usage. Dans le cadre de notre projet, cette métrique a été définie empiriquement selon le contexte de celui-ci et le contexte organisationnel et industriel de l'entreprise STAGO. La recherche d'un modèle générique pour l'estimation du coût est une des perspectives de notre travail. Un autre travail futur consistera à multiplier l'expérimentation de notre approche pour valider d'une part et affiner d'autre part, l'usage et la pratique de la méthode présentée ici au sein de la démarche MV-TMM.

7. Bibliographie

- Antoniol G., Canfora G., Casazza G., De Lucia A., Merlo E. "Recovering Traceability Links between Code and Documentation" *IEEE Transactions on Software Engineering*, 28(10), October, 2002, p. 970 – 983.
- Antoniol G., Berenback B., Eyged A. E., Ferguson S., Maletic J. M., Zisman A. Z., "Grand Challenges in Traceability " Center of Excellence for Traceability, Technical Report COET-GCT-06-01-0.9, September 10, 2006, disponible au <http://www.traceabilitycenter.org/files/COET-GCT-06-01-0.9.pdf> (accédé 29/01/2009)
- Arkley P., Riddle S., "Overcoming the Traceability Benefit Problem," *Proceedings of the 13th IEEE International Requirements Engineering Conference*, 2005, p.385 – 389.

- Brooks F.P., "No Silver Bullet Essence and Accidents of Software Engineering" *IEEE Computer*, 20(4), April 1987, p. 10 – 19.
- Cleland-Huang J., Change C., Christensen M., "Event-Based Traceability for Managing Evolutionary Change" *IEEE Trans. on Software Eng.*, 29(9), Sept. 2003, p.796- 810.
- Dick J., "Design Traceability" *IEEE Software*, 38(12), December 2005, p. 14 – 16.
- Domges R., Pohl K., "Adapting Traceability Environments for Project Specific Needs", *Communications of the ACM*, vol. 41, pp. 54-63, 1998.
- Egyed A., Grunbacher P., "Automating Requirements Traceability: Beyond the Record and Replay Paradigm", *Proceedings of the 13th IEEE International Conference on Automated Software Engineering, 2002*, pp. 163-171.
- El Ghazi H., "MV - TMM: A Multi View Traceability Management Method" *Proceedings 32nd Annual IEEE International Computer Software and Applications (COMPSAC '08)*, July 28 -Aug. 1 2008, IEEE Computer Society, p. 247 – 254.
- El Ghazi H., Assar S., "A multi view based traceability management method" *2nd Int. Conf. on Research Challenges in Information Science (RCIS'08)*, 3-6 June 2008, p. 393 – 400.
- Hayes J., Dekhtyar A., Osborne J., "Improving Requirements Tracing via Information Retrieval", *11th IEEE Int. Conf. on Requirements Eng. (RE'03)*, 2003, p.138-147.
- Gotel O., Finkelstein A., "An analysis of the requirements traceability problem" *1st IEEE International Conf. on Requirements Eng. (RE'94)*, 1994, p.94 – 101.
- Gotel O. Finkelstein A., "Extended Requirements Traceability: Results of an Industrial Case Study", *3rd IEEE International Conf. on Requirements Eng. (RE'97)*, 1997, p. 169-178.
- Gray L., "A Comparison of IEEE/EIA 12207, ISO/IEC 12207, J-STD-016, and MIL-STD-498 for Acquirers and Developers" Abelia Corporation, Technical Report, 1999, disponible au http://www.abelia.com/docs/122_016.pdf, (accédé le 29/01/2009)
- Karlsson J., "Software Requirements Prioritizing" *2nd Int. Conf. on Requirements Engineering (RE'96)*, 15-18 April 1996, p. 110-116.
- Karlsson J., Ryan K., "Cost-Value Approach for Prioritizing Requirements." *IEEE Software* 14(5), September/October 1997, p. 67-74.
- Oliveto R., Antoniol G., Marcus A., Hayes J., "Software Artefact Traceability: the Never-Ending Challenge" *IEEE International Conference on Software Maintenance, 2007, (ICSM 2007)*, 2-5 Oct. 2007, p. 485 – 488.
- Pohl K., Weidenhaupt K., Domges R., Haumer P., Jarke M., and Klamma R., "PRIME– Toward Process-Integrated Modeling Environments," *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 8(4), Oct. 1999, p.343 – 410.
- Ramesh B., Jarke M., "Toward reference models for requirements traceability" *IEEE Transactions on Software Engineering*, 27(1), January 2001, p. 58 – 93.
- Rolland C., Prakash N., Benjamin A. "A multi-model view of process modelling" *Requirements Engineering Journal*, 1999, p. 169 – 187.
- Saaty T. L., *The Analytic Hierarchy Process*. New York, NY: McGraw-Hill, 1980.