

## SYSTEME A BASE DE CONNAISSANCES POUR AIDER L'INGENIERIE DES RISQUES EN REPONSE A APPEL D'OFFRES

E. Vareilles <sup>(a,\*), T. Coudert <sup>(b), M. Aldanondo <sup>(c), L. Geneste <sup>(b), D. Guillon <sup>(c), R. Ayachi <sup>(b,d)</sup></sup></sup></sup></sup></sup>

(a) ISAE SUPAERO, Toulouse, France

(b) ENIT Tarbes, LGP, France

(c) IMT Mines Albi, Albi, France

(\*) CA : elise.vareilles@isae-superaero.fr

**RESUME :** *L'élaboration d'une offre, lors d'une réponse à appel d'offres, est un processus complexe, généralement caractérisé par des informations partielles et imprécises ainsi qu'un temps de réponse limité. Adoptant le point de vue des entreprises soumissionnaires, cet article se concentre sur l'ingénierie des risques portant sur les activités du processus de fabrication d'un produit, de sa conception à sa livraison. Plus précisément, cet article propose un système à base de connaissances pour aider à l'identification et l'analyse (probabilité / impact) des risques qui peuvent survenir au cours du processus de fabrication. Cette identification des risques a lieu durant la phase de réponse à appel d'offres, de sorte que les risques identifiés et leurs impacts peuvent être pris en compte dans l'offre faite au client. Grâce au système proposé, les connaissances en matière d'ingénierie des risques peuvent être capitalisées et réutilisées pour aider à l'élaboration de nouvelles offres. Les connaissances en matière d'ingénierie des risques sont structurées par un modèle unifié. Pour aider les décideurs dans leur processus d'ingénierie des risques, une méthode de réutilisation, inspirée du raisonnement par analogie, est proposée pour exploiter les connaissances pertinentes. Le système proposé permet d'obtenir des offres plus précises, moins risquées et dans lesquelles il y a une forte confiance à livrer ce qui a été présenté au client. Ce travail peut être étendu pour modéliser et choisir les meilleures stratégies de mitigation des risques.*

**MOTS-CLES :** *Ingénierie des risques, système à base de connaissances, appel d'offres, raisonnement à partir de cas, réutilisation des connaissances, taxonomie.*

### 1 INTRODUCTION

Répondre à un appel d'offres est un processus complexe où les entreprises soumissionnaires doivent proposer au client potentiel la meilleure réponse en termes de solution technique, prix de la solution et délai de livraison, afin de remporter l'affaire. Cet article s'intéresse au processus de fabrication, allant de la conception à la livraison, qui doit être effectué quand l'appel d'offre est remporté. Une fois qu'une opportunité est détectée et qu'il est décidé d'y répondre sur la base des exigences exprimées dans le cahier des charges, une solution technique doit être élaborée. Sur cette base, une solution d'offre commerciale est rédigée et une proposition d'offre est transmise au client (Chalal et Ghomari 2006). Si elle est acceptée, la solution technique doit être livrée conformément aux exigences du client.

De nos jours, les clients sont friands d'options spécifiques auxquelles les fournisseurs de produits ou de systèmes doivent répondre. Les entreprises soumissionnaires peuvent être confrontées à deux situations lorsqu'elles élaborent des solutions techniques : i) une situation routinière, où les éléments de la solution sont d'ores-et-déjà préconçus, et sont réutilisés dans la solution technique courante ; ou ii) une situation non routinière, où certains éléments de la solution technique doivent être conçus, au moins partiellement, pour satisfaire aux exigences du client. Ces différentes situations, dans le cadre d'un appel d'offres, ont été étudiées dans Sylla et al. (2017).

Dans notre travail, nous nous intéressons aux situations non routinières où un produit (ou un système) doit être livré et où des risques peuvent survenir sur le processus de fabrication associé. Si le fournisseur veut rester

compétitif et avoir confiance en sa capacité à livrer le produit tel qu'énoncé dans le cahier des charges client et proposé en réponse à l'appel d'offre, ces risques doivent être caractérisés et des actions spécifiques doivent être proposées pour les atténuer. Le processus que nous appelons "ingénierie des risques" dans cet article permet de caractériser les risques qui peuvent survenir pendant l'exécution d'un processus de fabrication, pour les évaluer et définir des actions de mitigation (Nguyen et al, 2013).

Dans nos travaux, une offre est composée à la fois d'une solution technique et de son processus de fabrication, caractérisé par une date de mise à disposition et son coût (Guillon et al., 2017). Le processus d'ingénierie des risques consiste à identifier les risques qui peuvent survenir sur chaque tâche du processus de fabrication et à déterminer comment celles-ci peuvent être impactées par ces risques. La réalisation d'un processus d'ingénierie des risques nécessite généralement un haut niveau d'expertise et demande un investissement important en termes de temps et de ressources. Dans cet article, nous proposons d'aider les acteurs en charge de l'ingénierie des risques en définissant un outil à base de connaissances qui exploite de manière conjointe des connaissances expertes et des expériences passées d'ingénierie des risques, afin de caractériser les risques et leurs impacts potentiels. Cela permettra aux entreprises : i) de répondre à un plus grand nombre d'appels d'offres, ii) d'être plus confiantes dans les offres envoyées aux clients et iii) de diminuer le niveau d'expertise requis pour réaliser l'ingénierie des risques. Les contributions de cet article sont les suivantes : (i) un modèle qui permet de capitaliser les connaissances d'experts ou *Connaissances Risque* et les expériences passées ou *Expériences Risque* en matière d'ingénierie des risques qui est conforme à la norme ISO 31000 (ISO, 2009) et (ii)

une méthode pour la réutilisation des connaissances et des expériences passées pour soutenir le processus d'ingénierie des risques (caractérisation des risques, définition des probabilités d'occurrence (Hillson, 2005) et quantification des impacts des risques). L'approche proposée est adaptée du principe CBR (Case-Based reasoning, Aamodt et Plaza, 1994) et permet de capitaliser et de réutiliser les *connaissances risque* et les *expériences risque* (Bergmann, 2002). Le modèle ainsi que la méthode proposée visent à être exploités grâce à un outil informatique.

Dans la littérature, un risque est généralement défini comme un événement incertain qui peut affecter un projet de manière positive ou négative (Hillson, 2005). Dans nos travaux, un risque est un événement perturbateur qui peut apparaître durant la réalisation d'une tâche du processus de fabrication et ses conséquences ou impacts peuvent être quantifiés. Dans Nguyen et al. (2013) et Marmier et al. (2014), les conséquences des risques impactent les descripteurs de projet (ou KPI) tels que le coût, la date de livraison ou la charge de travail. Dans leurs travaux, des méthodes permettant de modéliser et de simuler les risques et leurs impacts, et de les atténuer sont proposées. Toutefois, seules les connaissances des experts sont utilisées pour identifier et définir les risques et leurs impacts.

Parmi les nombreuses méthodes de capitalisation et de réutilisation des connaissances, le retour d'expérience est utilisé dans de nombreux domaines (Bergmann, 2002 ; Kamsu-Foguem et al., 2008). Une expérience est un élément de connaissance contextualisé qui peut être réutilisé dans des contextes similaires. La réutilisation de l'expérience peut être basée sur des taxonomies et des ontologies (par exemple dans Kamsu-Foguem et al., 2008). La méthode CBR est généralement utilisée afin de sélectionner des expériences passées similaires au problème courant, de les adapter à celui-ci et de capitaliser les résultats pour une réutilisation future (Aamodt et Plaza, 1994).

La suite de cet article est structurée de la façon suivante. Dans la section 2, le modèle qui permet de capitaliser les *Connaissances Risque* et les *Expériences Risque* est détaillé. Dans la section 3, les notions de *Connaissances Risque* et d'*Expériences Risque* sont posées. La section 4 permet de présenter notre système à base de connaissances avant, en section 5, de conclure avec les perspectives de ce travail de recherche.

## 2 MODELE DE CONNAISSANCES

Le modèle de connaissances proposé dans ce travail s'inspire de Nguyen et al. (2013) et de Ayachi et al. (2018). Il permet de représenter et de caractériser les différentes entités et leurs relations nécessaires pour modéliser la connaissance des risques sur un processus de fabrication. L'objectif de ce modèle est de capitaliser les connaissances et les expériences en matière d'ingénierie des risques. À partir des informations standard décrites dans Ayachi et al. (2018), des attributs spécifiques sont ajoutés : les valeurs possibles sont issues d'une taxonomie de concepts. Les différentes entités sont décrites dans la section suivante. Elles ne sont liées qu'au processus, aux tâches, aux risques et à leurs impacts.

### 2.1 Entités Risque à capitaliser

Les entités du modèle UML présenté en Figure 1 sont :

- **Delivery Process** : il représente le processus de fabrication global et rassemble l'ensemble des tâches à réaliser pour fabriquer le produit, de la conception à la livraison. Il est décrit par un nom, un coût total et une durée totale. Il est associé à un concept qui représente le type de processus (par exemple, processus de développement d'un nouveau vélo, processus de fabrication d'un vélo standard, etc) ;
- **Task** : elle représente une tâche du processus de fabrication. Chaque tâche est décrite par son nom, son coût et sa durée. Elle est associée à un concept qui permet de décrire plus finement celle-ci, par exemple *Detailed Design*, *Provision*, *Manufacturing* ;
- **Risk** : il correspond à un risque qui peut survenir lors de la réalisation d'une tâche. Il est associé à la tâche sur laquelle le risque peut se produire, nommée *tâche source*. Il est décrit par un nom, une probabilité d'occurrence et un concept correspondant au type de risque, par exemple, *Missing Resources*, *Delay*, *Inadequate Method* ;
- **Impact** : il représente l'impact d'un risque sur une tâche spécifique du processus de fabrication, nommée *tâche cible*. Il est modélisé par l'augmentation de la valeur du coût et/ou de la durée de la tâche cible lorsque le risque correspondant se produit. Deux types d'impact ont été définis : *Additionnal* (la valeur de l'impact est ajoutée à la valeur nominale), *Proportional* (la valeur de l'impact est multipliée par la valeur nominale).

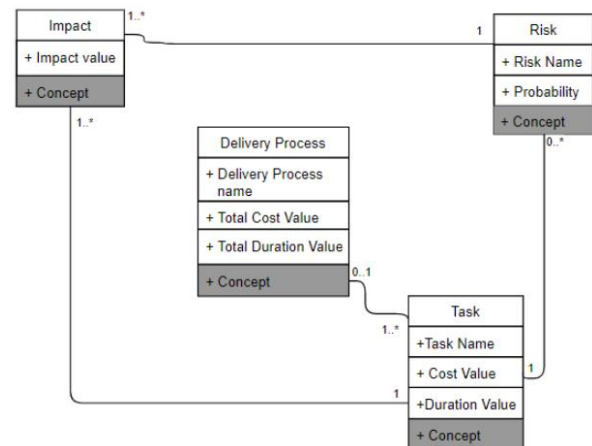


Figure 1 : Modèle UML de risque

Un risque est associé à une seule tâche *source* du processus de livraison. Une tâche *source* peut être liée à plusieurs risques. Un risque est associé à un ou plusieurs impacts et un impact est associé à un seul risque. Un impact est associé à une seule tâche *cible* (c'est-à-dire une tâche impactée). Une tâche *cible* peut être impactée par plusieurs risques et impacts.

Un exemple de processus de fabrication composé de trois tâches (*Detailed Design*, *3D Printing* et *Delivery*) est présenté en Figure 2. La tâche *Detailed Design* est source

du risque R1 (probabilité d'occurrence = 60%). Si R1 se produit, la tâche *3D Printing* est impactée (c'est-à-dire que ses valeurs de coût et/ou de durée peuvent augmenter).

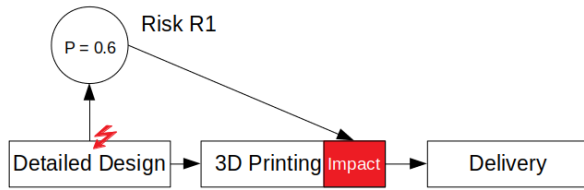


Figure 2 : Exemple de Tâche Source, Risque et Tâche Cible

## 2.2 Taxonomie de risques

Une taxonomie permet de rassembler et de classer les concepts d'un domaine particulier, afin de les capitaliser. Cette classification est une hiérarchie basée sur une relation de spécialisation/généralisation entre les concepts. La taxonomie proposée dans ce travail est représentée dans la Figure 3. A partir du concept Universel, quatre concepts différents sont spécialisés : *Project*, *Task*, *Risk* et *Impact*. Ces concepts doivent être spécialisés en fonction du domaine de l'entreprise (types de processus de fabrication, tâches, risques et impacts).

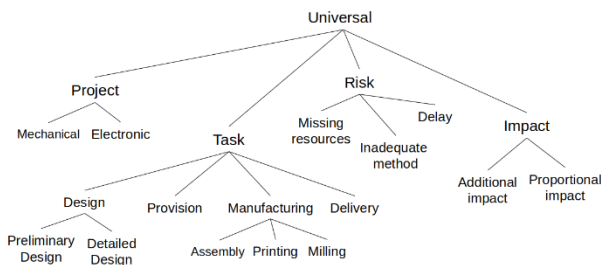


Figure 3 : Taxonomie de concepts Risque

Le concept *Project* est spécialisé en *Mechanical* et *Electronic*. Le concept *Task* est spécialisé en *Design*, *Provision*, *Manufacturing* et *Delivery*. Le concept *Risk* est spécialisé en *Missing Resources*, *Inadequate Method* et *Delay*. Le concept *Impact* est spécialisé en *Additional Impact* et *Proportional Impact*. Tous ces concepts peuvent être utilisés pour générer des instances du modèle (Fig. 1) afin de capitaliser des connaissances spécifiques à chaque concept, qui peuvent être ensuite réutilisées pour aider à l'ingénierie des risques. À cette fin, les définitions de *Connaissances Risque* et *Expériences Risque* sont données dans la section suivante.

## 3 CONNAISSANCES RISQUE VERSUS EXPERIENCES RISQUE

Le modèle d'ingénierie des risques (Fig. 1) permet de capitaliser deux types de connaissances : celles fournies par un expert en risques et celles issues d'expériences passées d'ingénierie des risques. Dans notre approche, ces connaissances sont appelées respectivement *Connaissances Risque* et *Expériences Risque*.

## 3.1 Connaissances Risque

Les *Connaissances Risque* représentent des connaissances d'experts. Par exemple, un expert sait que chaque fois qu'une tâche de concept *Manufacturing* est réalisée, le risque d'avoir des ressources manquantes, concept *Missing Resources*, peut survenir. Cependant, il ne sait pas quel est l'impact d'un tel risque, ni sa probabilité d'occurrence, par exemple. Afin de représenter et de capitaliser ces connaissances, l'expert peut créer une *Connaissance Risque* qui peut être réutilisée par toute personne impliquée dans le processus d'ingénierie des risques. Une *Connaissance Risque* est une instance (partielle) du modèle de la Figure 1 et elle est représentée dans la Figure 4.

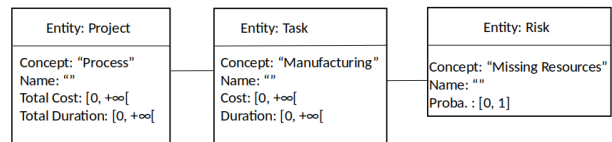


Figure 4 : Exemple de Connaissance Risque

L'entité *Project* est instanciée. Comme il s'agit d'une connaissance valide pour tout type de processus, le concept est *Process*, le nom n'est pas donné et la durée et le coût ne sont pas fournis. Dans l'entité *Task*, le concept de tâche est *Manufacturing* et le nom, le coût et la durée ne sont pas indiqués. Enfin, pour l'entité *Risk*, le concept est *Missing Resources*, le nom n'est pas fourni et la probabilité d'occurrence est inconnue (entre 0 et 1). Cette connaissance risque peut être interprétée comme : "dans le cadre d'un processus de fabrication, pour toute tâche de fabrication, la personne responsable de l'ingénierie des risques doit prendre en compte le risque de manque de ressources".

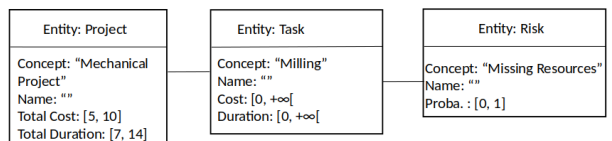


Figure 5 : Exemple de Connaissance Risque plus spécialisée

Les *Connaissances Risque* sont plus ou moins spécialisés selon les entités instanciées, les valeurs des attributs et le niveau des concepts dans la taxonomie (c'est-à-dire leur distance par rapport au concept Universel). La *Connaissance Risque* donnée dans la Figure 5 est plus spécialisée que celle de l'exemple de la Figure 4. Elle peut être interprétée comme "pour tout projet mécanique d'un coût compris entre 5 et 10, et d'une durée comprise entre 7 et 14 jours, y compris tâche de concept *Milling*, le responsable de l'ingénierie des risques doit prendre en compte le risque de concept *Missing Resources*".

On peut observer que l'entité process permet d'exprimer dans quel contexte les connaissances peuvent être utilisées. Une *Connaissance Risque* peut être identifiée par le biais d'un apprentissage par exemple, mais cela n'est pas traité dans cet article.

### 3.2 Expériences Risque

Les *Expériences Risque* représentent les expériences d'ingénierie des risques obtenues lors de la réalisation de processus de fabrication réels. Ce sont des éléments de connaissance contextualisés qui peuvent être réutilisés dans des contextes similaires (Kamsu-Foguem et al., 2008). Après la fin du processus d'ingénierie des risques et/ou après l'exécution du processus de fabrication (c'est-à-dire la livraison du système ou du produit au client), une expérience peut être instanciée à partir du modèle de la Figure 1 et stockée dans une base de connaissances. Cette expérience est appelée *Expériences Risque* et peut être réutilisée en utilisant une méthode inspirée du CBR. Une *Expériences Risque* peut être considérée comme une connaissance qui doit être utilisée dans son contexte spécifique. Une *Expériences Risque* est une connaissance contextualisée qui peut être utilisée dans un contexte similaire. Dans la section suivante, le système à base de connaissances qui permet d'exploiter les deux types de connaissances (*Connaissances Risque* et *Expériences Risque*) est décrit.

## 4 SYSTEME A BASE DE CONNAISSANCES

Le système à base de connaissances proposé s'inspire de la méthode par analogie ou CBR (Case-Based Reasoning) et du processus standard ISO 31000 (ISO 2018) afin d'aider le processus d'ingénierie des risques. L'utilisation de la norme ISO 31000 permet à notre système à base de connaissances d'être conforme aux normes utilisées dans les entreprises. Elle est brièvement présentée dans la section suivante avant la présentation de notre approche CBR.

### 4.1 Processus d'ingénierie des risques

Le processus d'ingénierie des risques développé dans cet article est basé sur le processus de gestion du risque proposé par la norme ISO 31000 (2018). Trois phases principales sont impliquées (Figure 6) : la définition du contexte ou *Establishing the Context*, l'évaluation du risque ou *Risk Assessment* et le traitement du risque ou *Response/Treatment*.

La gestion des risques, dans le processus d'appel d'offres, commence une fois que le contexte est défini et que l'offre est élaborée. Le contexte de gestion des risques est défini par le processus de fabrication dans notre travail. Il peut être complété par des informations sur le client, sur la conjoncture économique de l'offre mais aussi sur le produit ou le système à livrer.

L'évaluation des risques consiste en l'identification, l'analyse et l'évaluation des risques. Tous les risques potentiels qui peuvent survenir au cours de la réalisation du processus de fabrication doivent être : i) identifiés (c'est-à-dire déterminer leur nature, ou concept), ii) analysés et évalués afin de définir leur probabilité et leurs impacts sur le processus. Le traitement des risques consiste à définir la meilleure manière d'atténuer les risques au moyen d'actions préventives et/ou correctives.

Cet article est axé sur la phase d'évaluation des risques ou *Risk Assessment*. Un système à base de

connaissances est proposé afin d'aider les décideurs à mieux identifier et à analyser/évaluer les risques et leurs impacts. La Figure 6 synthétise les liens entre la norme ISO 31000 et la méthode sur nous proposons. Trois phases de la norme ISO 31000 sont supportées par nos propositions (symbolisé par les cubes).

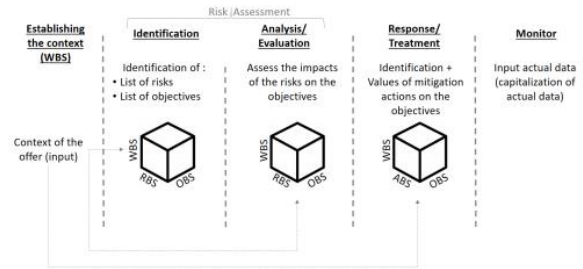


Figure 6 : Ingénierie des risques selon la norme ISO et CBR

La méthode CBR est adaptée à notre travail comme le montre la Figure 7. Elle consiste à identifier les *Connaissances Risque* et les *Expériences Risque* dans la base de connaissances afin de les adapter au processus de fabrication courant. L'approche est appliquée tâche après tâche.

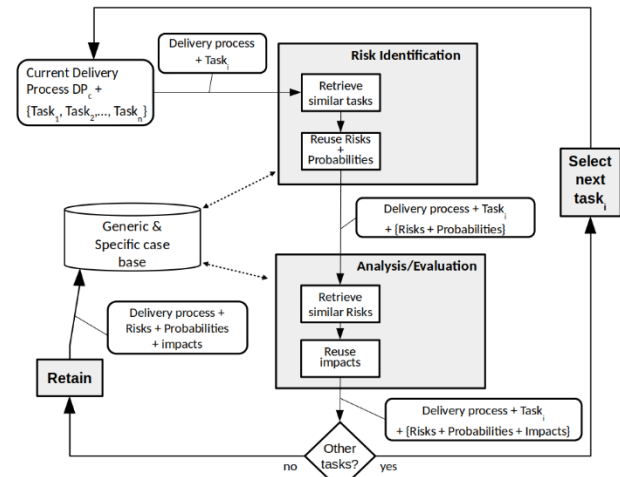


Figure 7 : Approche inspirée du CBR appliquée à l'ingénierie des risques

Une tâche (cas cible - tâche  $i$ ) est sélectionnée dans le processus fabrication courant. Pour ce couple (concept Taks et concept Process), les connaissances pertinentes (*Connaissances Risque* et *Expériences Risque*) sont remontées de la base de connaissances. Les risques sont identifiés à partir de ces connaissances et adaptés au cas cible de la tâche  $i$ . Ensuite, la probabilité est obtenue selon le même principe : lorsque des risques similaires sont liés à une tâche similaire dans les connaissances pertinentes, la probabilité peut être calculée. Enfin, à partir de ces connaissances, les impacts peuvent être adaptés au processus de fabrication courant.

Lorsque toutes les tâches du processus de fabrication ont été traitées, la mitigation des risques peut être réalisée au moyen du même principe. Les tâches de mitigation peuvent être identifiées à partir de tâches similaires avec



des risques similaires et adaptées au processus courant. Notons que le traitement des risques n'est pas approfondi dans cet article.

Une fois toutes les tâches traitées, le processus d'ingénierie des risques est terminé. Il peut être stocké dans la base de connaissances après validation par un expert, si celui-ci le juge intéressant à capitaliser. Si l'offre est acceptée, le processus de fabrication va se dérouler et des risques peuvent survenir (phase *Monitoring* Figure 6). Les attributs peuvent alors être mis à jour avec des données réelles pour ce processus. Cette phase de suivi des affaires et de peuplement de la base de connaissances n'est pas abordé dans cet article.

## 4.2 Identification des risques

Cette section détaille la phase d'identification des risques.

### 4.2.1 Recherche des risques pertinents

La phase d'identification des risques nécessite un cas cible défini par une tâche  $i$  et un processus de fabrication courant  $DP_c$  (couple  $(Task_i, DP_c)$ ). La phase de recherche permet d'identifier les cas source (connaissances pertinentes) de la base de connaissances, qui peuvent être soit des *Connaissances Risque*, soit des *Expériences Risque*. Afin de les comparer avec le cas cible, la phase de recherche se base sur les concepts de la tâche  $i$  et de  $DP_c$ . Le concept de la tâche  $i$  est noté  $C(Task_i)$  et celui du processus  $DP_c$ ,  $C(DP_c)$ . Selon le type des connaissances source (*Connaissances Risque* ou *Expériences Risque*), la phase de réutilisation diffère.

**Connaissances Risque** : Soit  $DP_g$  le processus de fabrication du cas source et  $DP_c$  le processus de fabrication du cas cible. Soit la tâche  $j$  issue d'une *Connaissances Risque* qui doit être comparée à la tâche  $i$  du cas cible. Si le concept de la tâche  $i$  est égal ou plus spécialisé que le concept de la tâche  $j$  et si le concept du processus de fabrication actuel est égal ou plus spécialisé que le concept du processus de fabrication issu de la *Connaissances Risque* ( $(C(Task_i) \leq C(Task_j)) \wedge (C(DP_c) \leq C(DP_g))$ ), alors tous les risques liés à la tâche  $j$  de la *Connaissance Risque* sont réutilisés (ils sont copiés dans le processus courant). Cela signifie qu'il existe une *Connaissance Risque* avec des concepts plus généraux pour la tâche et pour le processus de fabrication courant. Il s'agit donc d'une connaissance qui doit être utilisée : tous les risques liés à ce concept de tâche doivent être réutilisés.

**Expériences Risque** : une *Expérience Risque* est liée à un processus de fabrication spécifique ( $DP$ ) et elle doit être comparée au cas cible. Dans cette situation, la mesure de similarité de Wu et Palmer (1994) entre deux concepts  $C1$  et  $C2$  sont utilisés :  $sim(C1, C2) = 2 * \text{profondeur}(C_{\text{com}}) / (\text{profondeur}(C1) + \text{profondeur}(C2))$ . L'expression  $(C_k)$  correspond au nombre d'arcs entre le concept de base *Universel* et le concept  $C_k$  dans la taxonomie.  $C_{\text{com}}$  est le parent commun le plus proche de  $C1$  et  $C2$  dans la taxonomie. Par conséquent, la similarité entre le processus cible ( $DP_c, Task_i$ ) et le processus source ( $Task_j, DP_s$ ) est calculée en multipliant la similarité entre les concepts des tâches et la similarité entre les concepts des processus

de fabrication :  $sim(\text{cible}, \text{source}) = sim(C(Task_i), C(Task_j)) \times sim(C(DP_c), C(DP_s))$ .

Toutes les *Expériences Risque* qui sont similaires au processus cible sont présentées au responsable de l'ingénierie des risques qui peut ensuite choisir de réutiliser ou non les risques associés. Lorsqu'un risque est réutilisé, toutes les valeurs des attributs doivent être adaptées. Le concept est conservé, mais le nom du risque et la valeur de la probabilité doivent être modifiés. Pour la valeur de probabilité, la liste des *Expériences Risque* récupérés est utilisée.

La réutilisation des *Connaissances Risque* et des *Expérience Risque* est décrite dans les sections suivantes.

### 4.2.2 Exploitation des Connaissances Risque

La Figure 8 représente le processus cible correspondant à un processus de fabrication appelé "Industry 4.0" (concept = *Mechanical*) composé de trois tâches :

- *Printer programming* (concept = *Detailed Design*),
- *3D printing* (concept = *Printing*),
- *Transport to China*, (concept = *Delivery*).

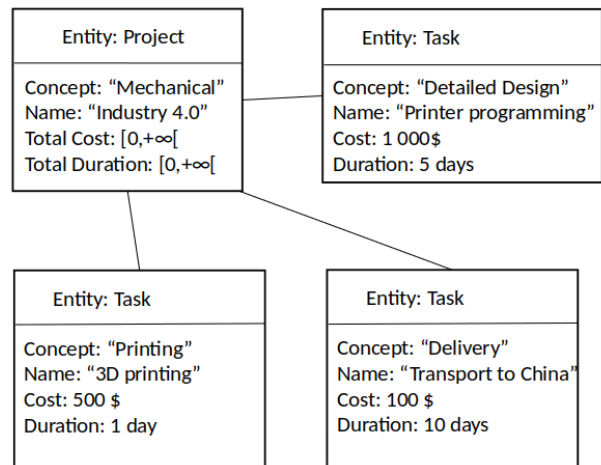


Figure 8 : Exemple de processus cible

La première phase de recherche permet de retrouver la *Connaissances Risque* représentée dans la Figure 9.

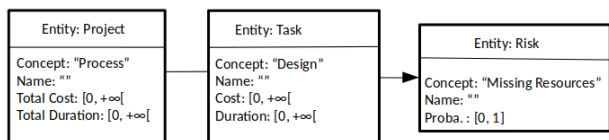


Figure 9 : Exemple de recherche de Connaissances Risque

Dans cette *Connaissance Risque*, une tâche générique (concept = *Design*) est liée à un risque générique (concept = *Missing Resources*). Elles sont liées à un processus générique (concept = *Process*). Le concept de la tâche *Printer programming* du processus cible est plus spécialisé que le concept de la tâche de la *Connaissance Risque* ( $\text{Detailed Design} \leq \text{Design}$ ). Pour les processus de livraison, nous avons :  $\text{Mechanical} \leq \text{Process}$ . Par conséquent, la *Connaissances Risque* doit être réutilisée. Le concept de risque *Missing Resources* est réutilisé dans le processus

cible et l'entité est adaptée avec le nom *Machine unavailable* pour le risque (Figure 10).

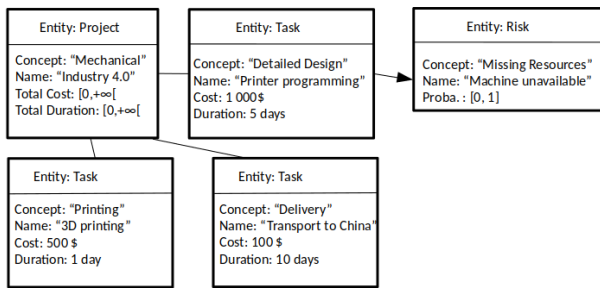


Figure 10 : Adaptation d'un risque issu d'une Connaissance Risque

En utilisant les *Expériences Risque* pertinentes, d'autres risques peuvent également être ajoutés. L'adaptation doit être poursuivie afin de définir la probabilité de chaque risque ajouté.

#### 4.2.3 Exploitation des Expériences Risque

Les *Expériences Risque* représentent les expériences passées d'ingénierie des risques réalisée sur des processus réels. Elles sont stockées dans l'outil logiciel. Les *Expériences Risque* retrouvées par l'outil sont similaires aux processus cible. Les *Expériences Risque* sont présentées à la personne en charge de l'ingénierie des risques qui peut ou pas les ajouter au processus de fabrication courant. Afin d'aider cette personne à choisir les risques à ajouter et aussi à évaluer leur probabilité d'occurrence, les informations remontées des *Expériences Risque* peuvent être exploitées. Une répartition des *Expériences Risque* remontées se fait suivant la taxonomie des risques. Pour chaque risque, des scores sont calculées automatiquement à partir de la somme des similarités au processus cible. Dans la Figure 11, à partir de dix *Expériences Risque* remontées au regard du processus cible de la Figure 8, deux concepts de risque différents ont été identifiés.

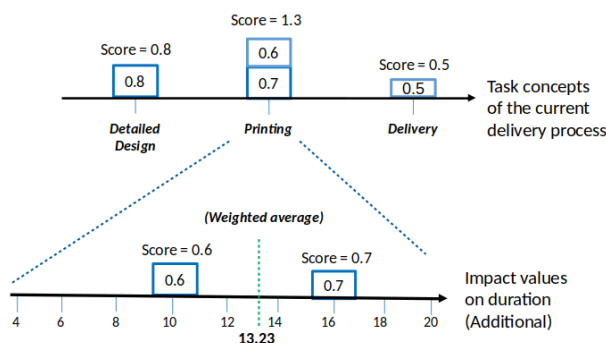


Figure 11 : Distribution des Expériences Risque selon la valeur de leur probabilité

Les *Expériences Risque* sont représentées par des rectangles contenant leur similarité. Dans notre exemple, trois des *Expériences Risque* similaires pour lesquelles aucun risque ne s'est produit sur la tâche de concept *Design* ou similaire sont remontées. Pour le concept *Missing Resources*, trois tâches similaires ont été remontées (similarité au concept *Design* : 0,9, 0,8 et 0,5 ; Score = 2,2).

Pour le concept *Delay*, quatre tâches similaires ont été remontées (similarité au concept *Design* : 0,8, 0,7, 0,7 et 0,8 ; Score = 3,0) et trois tâches similaires ont été remontées sans aucun risque associé (similarité : 0,5, 0,5 et 0,5 ; Score = 1,5). En ce qui concerne les scores, si le choix de réutiliser un risque est fait, la probabilité peut être évaluée. Pour un concept de risque donné, la probabilité est la moyenne pondérée des probabilités où les pondérations sont données par le score obtenu par chaque valeur de probabilité. Dans la Figure 11, pour le concept *Missing Resources* la probabilité correspondant à chaque *Expériences Risque* est représentée. Une tâche (similarité : 0,9) a été associée au risque *Missing Resources* avec une valeur de probabilité de 0,4. Deux tâches (similarité : 0,8 et 0,5) ont été associées à ce risque avec une valeur de probabilité de 0,8. La probabilité du risque *Missing Resources* associé à la tâche *Detailed design* (Figure 8) est calculée en utilisant la moyenne pondérée des opération. Le processus courant est alors mis à jour avec ce nouveau risque et un nom doit lui être donné. La Figure 12 illustre le processus courant après adaptation où le nom du risque a été défini *Machine unavailable* et sa probabilité est de 0,58.

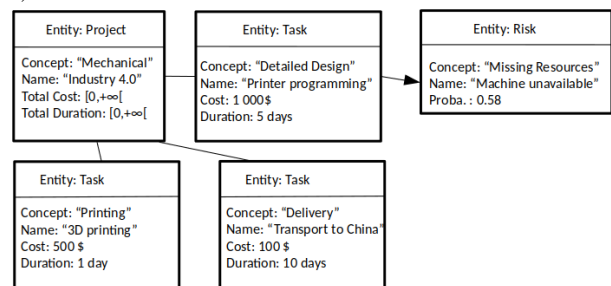


Figure 12 : Adaptation de la probabilité d'un risque

#### 4.3 Evaluation des impacts des risques

Le processus cible pour cette phase est le processus de fabrication courant  $DP_c$ , la tâche  $i$  et les risques associés ( $y$  compris leurs probabilités d'occurrence). L'objectif est de définir quelles sont les tâches cibles et comment leurs valeurs de coût et/ou de durée sont impactées par les risques. Par conséquent, la recherche est effectuée de manière itérative (Task<sub>i</sub>, Risk<sub>ik</sub>). Si  $n$  risques sont associés à la tâche  $i$ ,  $n$  recherches doivent être effectuées.

##### 4.3.1 Exploitation des connaissances Risque

La recherche permet d'obtenir des *Connaissances Risque* et des *Expériences Risque* pertinentes à partir de la base de connaissances. Seules les connaissances pour lesquelles le concept de processus, le concept de tâche, le concept de risque et le concept de tâche impactée sont égaux ou plus généraux que ceux du processus cible sont remontées. La Figure 12 représente un processus cible et la Figure 13 représente une *Connaissance Risque* extraite de la base de connaissances.

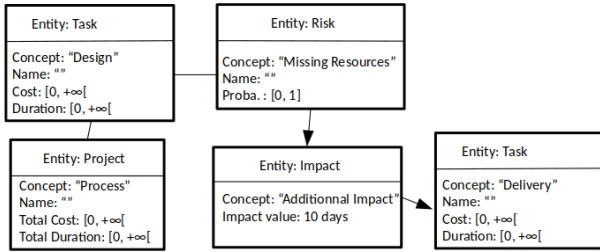


Figure 13 : Connaissance Risque avec impact sur une tâche cible

On peut vérifier que (Mechanical ≤ Process), (Detailed design ≤ Design), que les concepts de risque sont identiques (Missing Resources) et qu'il y a une tâche du processus cible qui a le même concept que celui de la tâche impactée (Delivery). Ensuite, l'impact de la Connaissance Risque est réutilisé. La durée de la tâche Delivery sera augmentée de 10 jours si le risque nommé Machine unavailable ayant pour concept Missing Resources se produit (Figure 14).

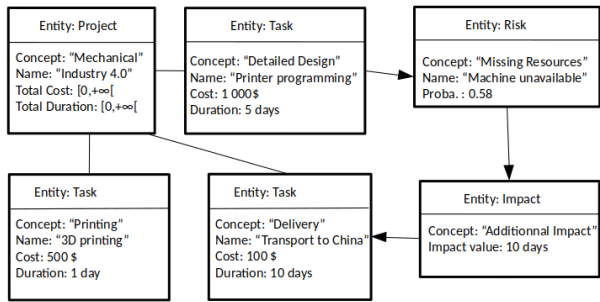


Figure 14 : Réutilisation d'un impact d'une Connaissance Risque

#### 4.3.2 Exploitation des Expériences Risque

Les impacts des Expériences Risque remontées peuvent être réutilisés ou non par la personne en charge de l'ingénierie des risques. Pour chaque Expérience Risque remontée, une mesure de similarité est calculée :  $\text{sim}(\text{cible}, \text{source}) = \text{sim}(C(DP_c), C(DP_s)) \times \text{sim}(C(\text{Task}_i), C(\text{Task}_j)) \times \text{sim}(C(\text{Risque}_k), C(\text{Risque}_m)) \times \text{sim}(C(\text{Task}_q), C(\text{Task}_r))$ . La tâche  $r$  est une tâche impactée de l'Expérience Risque et la tâche  $q$  est une tâche du processus de fabrication courant. La répartition des Expériences Risque remontées selon les concepts des tâches du processus de fabrication étudié est construite (Figure 15). Pour chaque concept, un score (somme des similarités) est calculé. Afin d'aider à définir les valeurs d'impact, une distribution des Expériences Risque remontées par rapport aux valeurs d'impact est représentée avec les scores. Une moyenne pondérée peut également être utilisée afin de calculer la valeur d'un impact des Expériences Risque. Dans la Figure 15, les trois concepts de tâches du cas cible représenté dans la Figure 8 sont représentés avec les différentes Expériences Risque (rectangles) et leurs similarités. La tâche du processus de fabrication de concept Printing a le score le plus élevé. Elle peut être réutilisée en tant que tâche impactée. La valeur de l'impact peut être déduite

de la distribution, partie inférieure de la Figure 15, avec la valeur moyenne pondérée de 13,23 jours supplémentaires (les pondérations sont les scores).

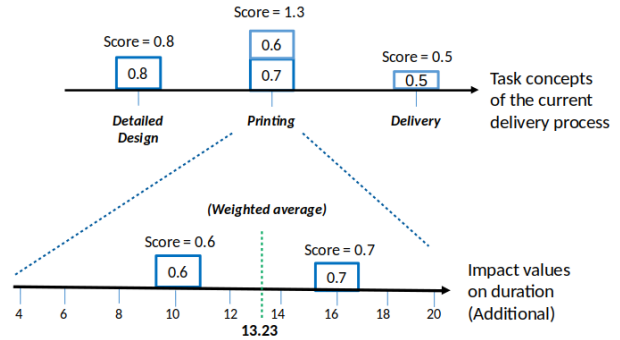


Figure 15 : Distribution des Expériences Risque selon la valeur de leurs impacts

## 5 CONCLUSION

Cet article propose un modèle pour la formalisation et la capitalisation des connaissances en matière d'ingénierie des risques. Un modèle UML a été proposé pour modéliser la connaissance sur la base d'entités où certaines valeurs d'attributs sont choisies dans une taxonomie de concepts. Les principes de Connaissance Risque et Expérience Risque ont été détaillés. Une approche pour la réutilisation de connaissances liées au risque a été proposée. Elle s'inspire de la méthode CBR et la norme ISO 31000. Les Connaissances Risque et Expériences Risque sont identifiées dans une base de connaissances et proposées à la personne en charge de l'ingénierie des risques. Le modèle proposé a été implémenté dans un outil logiciel appelé OPERA, et l'approche proposée a été testée sur des cas d'utilisation issus du monde industriel.

Dans ce travail, le processus d'ingénierie des risques est limité à l'identification et à l'évaluation des risques. Ce travail peut être étendu au traitement des risques. Le modèle ainsi que l'approche de réutilisation proposée pourront être étendu à l'identification des actions de mitigation des risques, à leurs stratégies de traitement ainsi qu'à leurs réductions d'impacts résultant des actions de mitigation.

De plus, le modèle proposé ici concerne l'ingénierie des risques en réponse à appel d'offres. Il serait intéressant d'identifier comment étendre ce modèle aux relations client-fournisseur de façon plus générique.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier les partenaires du projet ANR-16-CE10-0010-01 OPERA pour leur investissement dans la co-construction de ce modèle de capitalisation des risques supportant le processus d'ingénierie des risques.

## REFERENCES

- Aamodt, A. and E. Plaza, 1994. *Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches*. AI Commun. 7, pp. 39–59.
- Ayachi, R., D. Guillon, F. Marmier, É. Vareilles, M. Aldanondo, T. Coudert, L. Geneste, and Y. Beauregard, 2018. Towards a Knowledge based Support for Risk Engineering When Elaborating Offer in Response to a Customer Demand. In IIEEM 2018 – International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Bangkok, Thailand, pp. 1056–1060.
- Bergmann, R., 2002. *Experience Management*, LNAI 2432, pp. 25–44.
- Chalal, R. and A. R. Ghomari, 2006. *An approach for a bidding process knowledge capitalization*. In Proceedings of world academy of science, engineering and technology, Volume 13, pp. 293–297.
- Guillon, D., A. Sylla, E. Vareilles, M. Aldanondo, E. Villeneuve, C. Merlo, T. Coudert, and L. Geneste, 2017. *Customer supplier relation: Towards a constraint-based model for bids*. In 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), pp. 1067–1071.
- Hillson, D., 2005. *Assessing risk probability: Alternative approaches*. In PMI Global Congress proceedings, Prague, Czech Republic.
- ISO (2018). *Risk Management – Principles and Guidelines: ISO 31000*.
- Kamsu-Foguem, B., T. Coudert, C. Beler, and L. Geneste, 2008. *Knowledge formalization in experience feedback processes: An ontology-based approach*. Computers in Industry 59 (7), 694–710.
- Marmier, F., I. Deniaud, and D. Gourc, 2014. *Strategic decision-making in npd projects according to risk: Application to satellites design projects*. Computers in Industry 65, 1107–1114.
- Nguyen, T.-H., F. Marmier, and D. Gourc, 2013. *A decision-making tool to maximize chances of meeting project commitments*. International Journal of Production Eco-nomics 142, 214–224.
- Sylla, A., E. Vareilles, T. Coudert, K. Kirytopoulos, M. Aldanondo, and L. Geneste, 2017. *Readiness, feasibility and confidence: how to help bidders to better develop and assess their offers*. International Journal of Production Research 55 (23), 7204–7222.
- Wu, Z. and M. Palmer, 1994. *Verb semantics and lexical selection*. In 32nd. Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico, pp. 133–138.