



**HAL**  
open science

# Ingénierie des risques à base de connaissances pour la relation client fournisseur

Rania Ayachi

► **To cite this version:**

Rania Ayachi. Ingénierie des risques à base de connaissances pour la relation client fournisseur. Sciences de l'ingénieur [physics]. Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT, 2020. Français. NNT : 2020INPT0135 . tel-04172471

**HAL Id: tel-04172471**

**<https://theses.hal.science/tel-04172471>**

Submitted on 27 Jul 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Université  
de Toulouse

# THÈSE

En vue de l'obtention du

## DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

**Délivré par :**

Institut National Polytechnique de Toulouse (Toulouse INP)

**Discipline ou spécialité :**

Genie industriel

---

**Présentée et soutenue par :**

Mme RANIA AYACHI

le mercredi 16 décembre 2020

**Titre :**

Ingénierie des risques à base de connaissances pour la relation client  
fournisseur.

---

**Ecole doctorale :**

Systèmes (EDSYS)

**Unité de recherche :**

Laboratoire de Génie de Productions de l'ENIT (E.N.I.T-L.G.P.)

**Directeur(s) de Thèse :**

M. THIERRY COUDERT

M. MICHEL ALDANONDO

**Rapporteurs :**

M. ALI SIADAT, ENSAM - ARTS ET METIERS PARISTECH

M. DAVY MONTICOLO, UNIVERSITÉ LORRAINE

**Membre(s) du jury :**

Mme ELISE VAREILLES, ISAE-SUPAERO, Président

M. LAURENT GENESTE, ECOLE NATIONALE D'INGENIEUR DE TARBES, Membre

M. MAURICE PILLET, UNIVERSITE DE SAVOIE CHAMBERY-ANNECY, Membre

Mme MARIE-HELENE ABEL, UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE DE COMPIEGNE, Membre

M. MICHEL ALDANONDO, ECOLE NLE SUP DES MINES ALBI CARMAUX, Membre

M. THIERRY COUDERT, ECOLE NATIONALE D'INGENIEUR DE TARBES, Membre



# Remerciements

C'est grâce à l'aide de nombreuses personnes que j'ai pu mener cette thèse à son terme.

Je voudrais tout d'abord remercier grandement mon directeur de thèse, Thierry COUDERT, mon co-directeur Michel ALDANONDO ainsi que mes encadrants Elise VAREILLES et Laurent GENESTE pour toute leur aide. Je suis ravie d'avoir travaillé en leur compagnie car outre leur appui scientifique, ils ont toujours été là pour me soutenir et me conseiller au cours de l'élaboration de cette thèse.

Je remercie également Konstantinos KIRYTOPOULOS pour sa participation scientifique ainsi que le temps qu'il a consacré à ma recherche et qui a su inspirer et appuyer les travaux de cette thèse.

Je remercie aussi Davy MONTICOLO, Ali SIADAT, Maurice PILLET, Marie-Hélène ABEL et Yvan BEAUREGARD qui m'ont fait l'honneur de participer à mon jury de thèse en tant que rapporteurs, examinateurs et invité. Ils ont pris le temps de m'écouter et de discuter avec moi. Leurs remarques m'ont permis d'envisager mon travail sous un autre angle. Pour tout cela je les remercie.

Mes remerciements s'adressent également à mes parents et toute ma famille qui ont tout fait pour m'aider, qui m'ont soutenue et surtout supportée dans tout ce que j'ai entrepris.

Je remercie toutes les personnes du centre Génie Industriel de l'IMT Mines Albi et du Laboratoire Génie de Production de l'ENI de Tarbes, avec qui j'ai partagé mes études et notamment ces années de thèse.





# Sommaire

Sommaire .....	4
Liste des figures .....	7
Introduction générale .....	9
Chapitre 1 Cadre des travaux et problématiques scientifiques .....	11
1.1. Cadre de la thèse .....	11
1.1.1. Relation client fournisseur .....	11
1.1.2. Périmètre de travail .....	12
1.1.3. Synthèse du cadre de la thèse .....	16
1.2. Problématique de la thèse .....	16
1.3. Terrain d'application : projet OPERA .....	18
1.4. Synthèse et plan de lecture .....	19
Chapitre 2 Etude bibliographique .....	21
2.1. Risques, ingénierie des risques et élaboration d'offres en relation client fournisseurs .....	21
2.1.1. Premières notions de risques .....	21
2.1.2. Ingénierie des risques et aspects normatifs (ISO 31000) .....	21
2.1.3. Risque en relation client fournisseur .....	24
2.1.4. Risque en élaboration d'offres et en gestion de projet .....	25
2.1.5. Risque en conception de nouveaux produits .....	28
2.1.6. Synthèse de la notion de risque .....	30
2.2. Systèmes à base de connaissances .....	31
2.2.1. Définition générale des systèmes à base de connaissances .....	31
2.2.2. Notion d'expérience et de retour d'expérience .....	32
2.2.3. Synthèse des systèmes à base de connaissances .....	36
2.3. Conclusion du chapitre 2 .....	36
Chapitre 3 Modélisation de la connaissance risque .....	39
3.1. Identification et modélisation des éléments de connaissance nécessaires à la l'ingénierie des risques .....	40
3.1.1. Identification et analyse des éléments nécessaires à l'ingénierie des risques .....	40
3.1.2. Premier modèle de capitalisation des connaissances nécessaires à l'ingénierie des risques	51
3.2. Compléments de modélisation des connaissances pour une ingénierie des risques performante .....	56
3.2.1. Eléments de modélisation du contexte de l'offre et de l'ingénierie des risques .....	56

## Sommaire

3.2.2.	Eléments de modélisation des concepts abstraits .....	58
3.2.3.	Modèle complet pour la connaissance risque.....	71
3.2.4.	Synthèse sur les compléments de modélisation des connaissances pour l'IR .....	72
3.3.	Définition des connaissances de différents niveaux d'abstraction .....	73
3.3.1.	Définition d'une connaissance risque .....	74
3.3.2.	Définition d'une expérience risque.....	76
3.3.3.	Exploitation des connaissances risques et expériences risques.....	78
3.3.4.	Synthèse sur les définitions des connaissances et des expériences risques.....	79
3.4.	Conclusion du chapitre 3 .....	79
Chapitre 4 Exploitation de la connaissance sur les risques capitalisée pour aider l'ingénierie des risques.....		81
4.1.	Identification et analyse des éléments nécessaires à la réutilisation des connaissances capitalisées pour l'ingénierie des risques.....	83
4.1.1.	Définition et adaptation du processus de gestion des risques proposé par la norme ISO 31000	83
4.1.2.	Définition et adaptation des principes de la méthode de CBR .....	85
4.1.3.	Association norme ISO 31000 et CBR pour aider à l'ingénierie des risques .....	86
4.2.	Etape de remémoration des connaissances nécessaires à l'ingénierie des risques.....	86
4.2.1.	Remémoration des connaissances risques .....	87
4.2.2.	Remémoration des expériences risques .....	89
4.2.3.	Synthèse de l'étape de remémoration .....	91
4.3.	Etape de réutilisation des connaissances nécessaires à l'ingénierie des risques .....	91
4.3.1.	Réutilisation des connaissances IR .....	91
4.3.2.	Réutilisation des expériences IR.....	93
4.3.3.	Synthèse de l'étape d'exploitation .....	95
4.4.	Etape de capitalisation des connaissances nécessaires à l'ingénierie des risques .....	95
4.4.1.	Capitalisation des connaissances Risques.....	96
4.4.2.	Capitalisation des expériences Risques.....	97
4.4.3.	Synthèse sur l'étape de capitalisation .....	98
4.5.	Conclusion du chapitre 4 .....	98
Chapitre 5 Exemple de mise en œuvre d'un processus d'ingénierie des risques .....		101
5.1.	Scénario de mise en œuvre d'une aide à l'ingénierie des risques .....	102
5.2.	Création d'une offre, de son processus de réalisation et de son contexte .....	103
5.3.	Identification des risques.....	106
5.4.	Evaluation des risques .....	110
5.5.	Mitigation des risques .....	112
5.5.1.	Création des tâches curatives/préventives.....	112

## Sommaire

5.5.2.	Définition des stratégies locales et des réductions d'impacts .....	113
5.6.	Simulation des scénarios .....	115
5.6.1.	Simulation systématique.....	115
5.6.2.	Simulation de tous les scénarios par risque .....	117
5.6.3.	Simulation personnalisée .....	120
5.6.4.	Vers des éléments d'ergonomie pour aider au choix de stratégie de traitement .....	120
5.7.	Conclusion du chapitre 5 .....	122
Chapitre 6	Conclusion générale et perspectives .....	125
6.1.	Conclusion générale .....	125
6.2.	Limites et perspectives de travail.....	126
Références.....	Références.....	128

# Liste des figures

Figure 1.1	Processus de réponse à appel d'offres .....	12
Figure 1.2	Processus de réponse à appel d'offres avec définition de la solution technique et du processus de réalisation.....	14
Figure 1.3	Processus de réponse à appel d'offres incluant l'ingénierie des risques .....	17
Figure 1.4	Quelques chiffres clés du projet OPERA, adapté de Guillon (2018) .....	19
Figure 2.1	Processus de gestion des risques issu de l'ISO 31000 .....	22
Figure 2.2	Exemples de scénarios possibles d'occurrences de risques .....	30
Figure 2.3	Modèle de développement de l'ontologie, adapté de Guebitz et al. (2012).....	32
Figure 2.4	Cycle du CBR selon (Aamodt et Plaza, 1994).....	35
Figure 3.1	Exemple de processus de réalisation .....	41
Figure 3.2	Exemple de risques sur le processus de réalisation .....	43
Figure 3.3	Exemple d'impact de risques sur les tâches du processus de réalisation.....	44
Figure 3.4	Scénarios d'occurrence de risques possibles .....	45
Figure 3.5	Exemple de traitement du risque R1 « Kit reçu au lieu d'un assemblage » .....	47
Figure 3.6	Exemple de traitement du risque R2 « Composant endommagé lors de l'installation » .....	48
Figure 3.7	Scénario occurrence R1 avec action curative et non-occurrence R2 avec action préventive .....	50
Figure 3.8	Premier modèle de connaissance risque (modèle UML).....	51
Figure 3.9	Contexte d'une offre commerciale, adapté de (Guillon 2019).....	57
Figure 3.10	Modèle UML complété par une taxonomie pour la capitalisation des connaissances .....	59
Figure 3.11	Taxonomie proposée pour la formalisation de la connaissance risque.....	59
Figure 3.12	Proposition de spécialisation du concept Contexte IR .....	60
Figure 3.13	Proposition de spécialisation du concept Tâche.....	61
Figure 3.14	Proposition de spécialisation du concept Risque Non spécifique à l'ETO.....	63
Figure 3.15	Proposition de spécialisation du concept Risque spécifique à l'ETO .....	65
Figure 3.16	Proposition de spécialisation du concept Tâche Préventive pour les tâches IR non liées à l'ETO .....	67
Figure 3.17	Proposition de spécialisation du concept Tâche Curative pour les tâches IR non liées à l'ETO .....	68
Figure 3.18	Proposition de spécialisation des concepts Tâche Curative et Tâche Préventive pour les tâches IR liées à l'ETO .....	70
Figure 3.19	Proposition de spécialisation du concept Impact .....	70
Figure 3.20	Proposition de spécialisation du concept Stratégie de mitigation .....	71
Figure 3.21	Proposition de spécialisation du concept Réduction Impact.....	71
Figure 3.22	Modèle UML complet de connaissance risque .....	72
Figure 3.23	Instance du diagramme de classes UML représentant un premier exemple de connaissance IR .....	75
Figure 3.24	Instance du diagramme de classes UML représentant un second exemple de connaissance IR .....	75
Figure 3.25	Instance du modèle représentant un premier exemple d'expérience IR .....	77
Figure 3.26	Instance du modèle représentant un deuxième exemple d'expérience IR .....	78
Figure 4.1	Raisonnement à Partir de Cas, adapté de la norme (Aamodt et Plaza 1994).....	82
Figure 4.2	Phases d'ingénierie des risques, adapté de la norme ISO 31000 .....	84
Figure 4.3	Intégration de la norme ISO 31000 et du CBR .....	86

## Liste des figures

Figure 4.4 Exemple de Processus de réalisation courant (cas cible).....	88
Figure 4.5 Exemple de Connaissance IR capitalisée (cas source) .....	88
Figure 4.6 Exemple d'expérience IR capitalisée (cas cible) .....	90
Figure 4.7 Distribution des Expériences IR selon les concepts des risques et leurs probabilités .....	91
Figure 4.8 Exemple de réutilisation d'une Connaissance IR récupérée.....	93
Figure 4.9 Distribution des expériences IR pour un risque Rik selon les concepts des tâches impactées et les concepts des impacts.....	94
Figure 4.10 Exemple 1 de connaissances IR invalides et interdites par la règle de cohérence .....	96
Figure 4.11 Exemple 2 de connaissances IR invalides et interdites par la règle de cohérence .....	97
Figure 4.12 Exemple 3 de connaissances IR invalides et interdites par la règle de cohérence .....	97
Figure 5.1 Diagramme de séquence pour un exemple d'ingénierie des risques .....	103
Figure 5.2 Processus de réalisation de la machine spéciale .....	104
Figure 5.3 Définition du contexte de l'offre « Machine spéciale » .....	104
Figure 5.4 Création d'une nouvelle tâche appelée « Design » .....	105
Figure 5.5 Choix du concept « Design » pour la tâche EO .....	105
Figure 5.6 Ajout des valeurs des métriques liées à la nouvelle tâche EO « Design ».....	106
Figure 5.7 Processus de réalisation complet édité dans le logiciel OPERA.....	106
Figure 5.8 Sélection du concept pour le nouveau risque appelé « Mauvais consommable du fait d'une erreur opérationnelle » .....	107
Figure 5.9 Création du risque appelé « Kit reçu au lieu d'un assemblage » .....	108
Figure 5.10 Sélection du concept « Echec/Panne de la ressource technique » pour le second risque .	108
Figure 5.11 Création du deuxième risque nommé « Composant endommagé lors de l'installation ».	109
Figure 5.12 Processus de réalisation avec les deux risques créés.....	109
Figure 5.13 Exploitation de connaissances IR et d'expériences IR .....	110
Figure 5.14 Ajout des impacts pour le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » .....	110
Figure 5.15 Ajout impacts pour le risque « Composant endommagé lors de l'installation ».....	111
Figure 5.16 Distribution des valeurs d'impacts sur la durée de la tâche « Produce ».....	111
Figure 5.17 Sélection d'un concept de la tâche curative pour le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » .....	112
Figure 5.18 Création de la tâche curative appelée « Assemblage ».....	112
Figure 5.19 Concept tâche préventive pour le risque « Composant endommagé lors de l'installation » .....	113
Figure 5.20 Création de la tâche préventive appelée « Design Carter » .....	113
Figure 5.21 Processus de réalisation avec les deux tâches de mitigation.....	113
Figure 5.22 Création de la stratégie locale curative pour le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » .....	114
Figure 5.23 Définition des réductions d'impacts associées à la stratégie locale curative .....	114
Figure 5.24 Création de la stratégie locale préventive pour le risque « Composant endommagé lors de l'installation ».....	114
Figure 5.25 Définitions des réductions d'impacts associées à la stratégie locale préventive.....	115
Figure 5.26 Première simulation des scénarios .....	116
Figure 5.27 Simulation des scénarios possibles pour le premier risque.....	118
Figure 5.28 Simulation des scénarios possibles pour le deuxième risque.....	119
Figure 5.29 Simulation d'un scénario personnalisé .....	120
Figure 5.30 Scénarios de risque stratégie Inaction .....	121
Figure 5.31 Scénarios de risque stratégies curative et préventive .....	121
Figure 5.32 Scénarios de risque stratégie globale mixte .....	122

# Introduction générale

Nos travaux de thèse se déroulent dans le cadre de la relation client-fournisseur. Nous nous intéressons plus précisément au processus d'élaboration d'offre que le fournisseur suit pour répondre à un besoin client ou à un appel d'offres.

En ce qui concerne le type de relation client-fournisseur, nous nous situons plutôt en « business to business » (B2B) bien que certaines de nos propositions puissent s'appliquer en « business to customer » (B2C). Le client est donc le plus souvent une entreprise. Le fournisseur qui répond au besoin client ou à l'appel d'offres est appelé une entreprise soumissionnaire.

Dans nos travaux, nous nous limitons aux systèmes et produits tangibles issus principalement de processus manufacturiers (grues, machines-outils, moteurs...). De plus nous considérons des situations industrielles de type ingénierie à la commande (ETO) pour lesquelles l'élaboration de l'offre nécessite une activité d'ingénierie ou de conception plus ou moins conséquente.

Lorsque le client accepte l'offre soumise par le fournisseur, l'offre devient alors une affaire et le fournisseur doit finaliser sa conception, réaliser et livrer le système demandé en respectant les exigences techniques et fonctionnelles ainsi que les délais et coûts définis dans l'offre.

Pour élaborer une offre en situation ETO, l'activité d'ingénierie ou de conception nécessaire est plus ou moins approfondie. Soit le fournisseur étudie en détail la solution technique ainsi que son processus de réalisation/livraison, soit il effectue seulement les choix clés sans entrer dans le détail. La première manière de faire, équivalente à une forme de conception détaillée, procure au fournisseur une grande confiance dans son offre. La seconde manière, assimilable à une forme de conception préliminaire, est par contre beaucoup plus risquée. En effet, la seule définition des choix clés ne constitue en aucun cas une conception détaillée. En conséquence une fois l'offre acceptée par le client, le fournisseur qui doit finaliser la conception n'a aucune garantie de succès de cette tâche. Le risque de ne pas arriver à finaliser, réaliser et fournir ce qui a été promis dans l'offre est réel.

Afin de minimiser et/ou de prendre en compte ces risques, une phase de revue ou d'ingénierie des risques peut être conduite lors de l'élaboration d'offre pour permettre aux entreprises soumissionnaires d'être plus confiantes dans leurs offres. Cette ingénierie des risques est le plus souvent réalisée par un expert humain (expert risque) qui exploite sa propre connaissance pour identifier les risques, évaluer leurs impacts et mettre en œuvre les actions de mitigation.

Ce cadre étant posé, nos travaux de thèse ont pour finalité d'assister la personne chargée de la phase d'ingénierie des risques. Nous proposons donc d'assister cette personne par un système à base de connaissances qui sera un support pour l'identification, l'évaluation et la mitigation des risques.

Ainsi, nous souhaitons répondre à deux questions de recherche :

1. Quelle est la connaissance nécessaire à l'ingénierie des risques en élaboration d'offre, comment la modéliser pour pouvoir la capitaliser et la réutiliser ?

2. Comment réutiliser la connaissance formalisée et capitalisée pour aider l'ingénierie des risques lors d'une réponse à un appel d'offres ?

Deux contributions sont issues des questions de recherche évoquées ci-dessus et proposées dans notre thèse.

1. La première contribution est un modèle de connaissance pour l'ingénierie des risques. Ce modèle permet de formaliser, de structurer et de capitaliser dans une même base de connaissance, les connaissances de l'expert risque et les expériences issues d'ingénieries des risques passées.
2. La deuxième contribution propose une approche de réutilisation qui permet, à l'aide de recherches dans la base de connaissances et d'expériences, d'aider la personne en charge de l'ingénierie des risques.

Nos travaux se sont déroulés dans le cadre du projet ANR OPERA (**O**utils logiciels et **P**roc**E**ssus pour la **R**éponse à **A**ppels d'offres), financé par l'Agence Nationale de la Recherche. Le projet OPERA s'intéresse à la relation client fournisseur et vise à permettre aux entreprises soumissionnaires de proposer des offres plus précises, plus rapides et avec une plus grande confiance.

Ce mémoire se décompose en cinq chapitres. Le premier chapitre définit le cadre général de nos travaux de thèse et pose notre problématique. Le deuxième chapitre positionne nos travaux par rapport aux travaux existants. Le troisième chapitre présente notre première contribution et détaille le modèle des connaissances pour l'ingénierie des risques. Le quatrième chapitre expose l'approche de réutilisation des connaissances et expériences d'ingénierie des risques, constituant la deuxième contribution de notre thèse. Le cinquième chapitre est une mise en situation de nos propositions sur un exemple complet d'ingénierie des risques. Une conclusion générale et des perspectives sont proposées à la fin de ce document.

# Chapitre 1

## Cadre des travaux et problématiques scientifiques

Nos travaux de recherche s'intéressent à l'ingénierie des risques en relation client fournisseur, et plus particulièrement en réponse à appel d'offres. Le domaine étant très vaste, ce premier chapitre vise à cadrer nos travaux de recherche, à poser notre problématique scientifique et à introduire le plan de lecture de ce mémoire.

### 1.1. Cadre de la thèse

Cette première section vise à définir la relation client fournisseur et plus particulièrement la réponse à appel d'offres ainsi qu'à positionner notre travail au regard des différentes définitions, situations industrielles et pratiques adoptées.

#### 1.1.1. Relation client fournisseur

Le client et le fournisseur sont deux entités qui doivent s'associer afin de satisfaire à la fois le besoin du client et les capacités du fournisseur lors de la commande d'un produit ou service. Le client peut être une personne physique (ex. un particulier ou un client final) ou une personne morale (ex. une entreprise). Dans ces deux cas, le client entre en contact avec le ou les fournisseurs pour répondre à un besoin donné. Le besoin du client est exprimé sous forme d'exigences fonctionnelles ou techniques et peut correspondre soit à un artefact tangible (produit ou système) soit à un artefact intangible (service) (Guillon 2019). Les exigences sont regroupées dans un cahier des charges qui conduit, après études et itérations, à la rédaction d'un contrat clarifiant le maximum d'informations possible et engageant les deux entités sur leurs parties respectives.

La relation client fournisseur ne cesse de se développer depuis des décennies (Lascelles et al. 1989), (Waldman et al. 1998), (Sardana et al. 2010), (Bi et al. 2017). De nos jours il existe deux contextes qui décrivent la relation client fournisseur :

- la relation B2C désigne la relation « Business to Customer » : c'est la relation entre une entreprise et une personne physique ou consommateur final. Cette relation n'implique pas, en général, une grande nécessité d'ingénierie ou d'options de conceptions nouvelles pour le fournisseur. Le catalogue de solutions est suffisamment diversifié pour satisfaire un grand nombre de consommateurs finaux.
- la relation B2B désigne la relation « Business to Business » : c'est la relation entre une entreprise et une personne morale ou une autre entreprise qui revendra le produit ou service commandé ou l'utilisera pour en fabriquer d'autres. Contrairement à la relation de type B2C, la relation B2B, met souvent le fournisseur devant un défi de compétitivité où le produit ou service commandé nécessite une phase d'ingénierie pour

répondre au besoin spécifique du client. Réaliser la phase d'ingénierie implique une prise de risque potentielle par le fournisseur.

Nos travaux de thèse s'intéressent à tout type de relation client-fournisseur où une phase d'ingénierie est nécessaire pour réaliser le produit ou service commandé par le client, que celui-ci soit un consommateur final (B2C) ou une entreprise (B2B). Néanmoins, nous nous intéressons surtout à la relation B2B.

La réponse à appel d'offres est un cas particulier de la relation client fournisseur, dans le sens où les délais sont bien plus courts pour étudier la solution proposée au client et où plusieurs entreprises sont en compétition pour remporter l'appel d'offres.

Dans le cadre de nos travaux de thèse, nous prenons le point de vue du fournisseur, c'est-à-dire de l'entreprise soumissionnaire qui élabore l'offre et la soumet en temps contraint au client potentiel. Nous nous limitons aux offres qui portent sur des produits physiques ou des systèmes tangibles, mécaniques ou mécatroniques, nommés indifféremment Systèmes dans la suite du mémoire, principalement issus de processus manufacturiers et nécessitant au moins une phase d'ingénierie ou conception.

### 1.1.2. Périmètre de travail

Dans cette section, nous positionnons nos travaux de recherche selon les différentes étapes du processus de réponse à appel d'offres, nous définissons la notion d'offres que nous utiliserons par la suite de ce mémoire, nous clarifions le concept d'ingénierie « légère » à la commande ou light-ETO et nous évoquons deux pratiques rencontrées en industrie pour élaborer la solution proposée au client. Une synthèse intermédiaire conclut cette section en reprenant les postulats posés.

#### 1.1.2.1. Composants principaux de l'offre

Dans leurs travaux, Krömker et al. (1997) définissent le processus de réponse à appels d'offre par l'identification des exigences du client, le développement d'une solution technique (ce que le fournisseur fournit à ses clients), l'estimation d'un coût et d'une date de livraison ainsi que la spécification des conditions commerciales avant de rédiger l'offre et approuver le contrat.

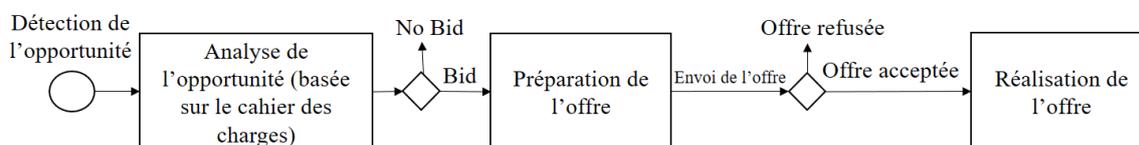


Figure 1.1 Processus de réponse à appel d'offres

Comme le décrit la figure 1.1, le processus de réponse à appel d'offres commence par la détection d'une opportunité et l'analyse des spécifications et exigences du client (cahier des charges). Une fois que l'entreprise soumissionnaire décide de la poursuite du processus de réponse à appel d'offres (Bid), elle élabore sa réponse qui, envoyée au client, peut être acceptée ou pas. Si l'offre est acceptée, l'entreprise soumissionnaire doit finaliser la conception et réaliser la solution en étant dans l'obligation de respecter les coûts et délais proposés lors de la soumission de l'offre. L'acceptation d'une offre par un client est basée sur plusieurs métriques

tels que le coût, la qualité, le délai de livraison et parfois l'empreinte carbone (Cerutti et al. 2016). Bien que nos propositions soient compatibles avec tout type de métriques, nous ne considérerons que les deux métriques de délai et de coût dans nos propositions.

Levin et al. (2001) et Guillon et al. (2018) définissent une offre par deux composantes étroitement liées :

- une solution technique qui correspond à la composition physique du système et son architecture sous forme de nomenclature (Hegge et al. 1991) répondant aux exigences du client. La solution technique est associée au coût système correspondant à l'ensemble des coûts des sous-systèmes et composants de sa nomenclature,
- un processus de réalisation qui est composé de l'ensemble de toutes les tâches à réaliser pour obtenir le système, conformément au cahier des charges, et le livrer au client : de la conception à la livraison chez le client, voire à sa maintenance. Le processus de réalisation est indispensable à l'offre, car il permet de mieux estimer le délai de mise à disposition de la solution technique, de compléter le coût système avec un coût processus, en tenant compte plus particulièrement des coûts de conception si besoin, et d'identifier les risques majeurs pris par l'entreprise soumissionnaire.

Quand les exigences client conduisent à une solution technique d'ores et déjà présente dans le catalogue de l'entreprise soumissionnaire, le délai de mise à disposition et le coût du processus de réalisation ne présentent que peu d'incertitudes : le délai de mise à disposition est standard et ajusté par rapport à certains attributs clés du système, comme dans la plupart des situations B2C. Lorsque les exigences client conduisent à une solution technique inédite, qui nécessite une phase de conception (plus ou moins importante), le délai de mise à disposition et le coût du processus de réalisation doivent être étudiés plus précisément, pour estimer au mieux la charge de travail nécessaire à la conception, l'impact de la conception sur la fabrication, l'ensemble des ressources associées, et ainsi proposer au client, au travers de l'offre, un délai de mise à disposition et un coût (incluant les coûts de la solution technique et du processus de réalisation) réalistes. Comme nous nous plaçons du côté du fournisseur, le fait d'avoir une meilleure estimation du délai de mise à disposition, permet à l'entreprise soumissionnaire d'être plus confiante sur le fait de pouvoir livrer ce qui a été proposé au client.

Comme illustré dans la figure 1.2, nous considérons que l'élaboration de l'offre doit prendre en compte la solution technique ainsi que son processus de réalisation.

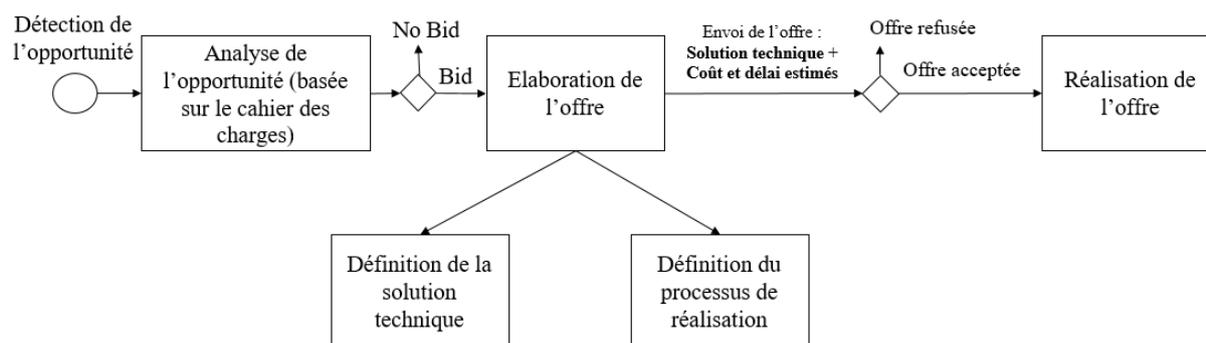


Figure 1.2 Processus de réponse à appel d'offres avec définition de la solution technique et du processus de réalisation

Par la suite, nous proposons le premier postulat sur lequel sont basés nos travaux de recherche.

#### Postulat 1 : Constitution d'une offre

Une offre est constituée de deux parties étroitement liées : une solution technique (ou nomenclature du système) et un processus de réalisation (ou ensemble de tâches à réaliser pour mettre à disposition la solution technique).

#### **1.1.2.2. Situation ETO versus situation CTO**

Les exigences du client peuvent principalement conduire à deux situations industrielles : (1) soit la solution technique nécessite une activité de conception, (2) soit elle est directement présente dans le catalogue de solutions de l'entreprise soumissionnaire (Johnsen et Hvam 2019). La première situation s'apparente à une ingénierie à la commande ou *Engineer-to-Order* (Brière-Côté et al. 2010), noté ETO dans la suite de ce mémoire. En situation ETO, les exigences du client impactent l'ensemble du processus de réalisation et la solution technique nécessite une phase de conception ou d'ingénierie plus ou moins importante avant la fabrication et la mise à disposition. La seconde situation s'apparente plus à de la configuration à la commande ou *Configure-to-Order* (CTO), où les composants du système peuvent être configurés à la commande, fabriqués à la commande ou *Make-to-Order* (MTO) et/ou assemblés à la commande ou *Assemble-to-Order* (ATO), selon les exigences du client et les capacités de l'entreprise soumissionnaire.

Nos travaux de thèse portent plus particulièrement sur les situations impliquant une ingénierie à la commande (ETO) « légère ». Par ETO légère, nous entendons que la plus grande partie des sous-systèmes et/ou composants du système composant la solution technique existent dans le catalogue de composants ou articles de l'entreprise soumissionnaire : ils sont soit configurés à la commande (CTO), soit assemblés à la commande (ATO) et/ou soit fabriqués à la commande (MTO). La solution technique est ainsi composée de sous-systèmes principalement standards, mais inclut un certain nombre de sous-systèmes et/ou de composants spécifiques au client. Ces sous-systèmes et composants spécifiques au client seront nommés « Élément ETO » dans la suite de ce mémoire. Ces éléments ETO sont l'un des points forts pour la compétitivité du fournisseur : ils permettent à l'entreprise soumissionnaire d'adapter son catalogue de solutions standards aux spécificités des clients potentiels (Sylla 2018). Par conséquent, comme une large partie de la solution technique est constituée de systèmes et composants standards, nous

considérons que la phase de conception de la solution technique est plutôt routinière (Chandrasekaran 1986). Ceci signifie que la conception du système exploite un maximum de solutions ou principes de solutions techniques déjà éprouvés, en les adaptant ou en les complétant si nécessaire.

Par la suite, nous proposons le deuxième postulat sur lequel sont basés nos travaux de recherche.

### Postulat 2 : B2B et ETO légère

Nos travaux se situent dans un contexte de réponse à appel d'offres, en relation B2B ou B2C avec une phase d'ingénierie, en situation ETO « légère » et en conception routinière.

#### **1.1.2.3. Conception détaillée versus conception préliminaire**

La mise en concurrence des entreprises de plus en plus systématique fait que les appels d'offres sont de plus en plus nombreux (Sylla et al. 2017.a). Le temps accordé par le client au fournisseur pour renvoyer la proposition d'offre est généralement réduit (Kröker 1998). Ces facteurs mettent les fournisseurs sous pression et génèrent deux pratiques :

- dans la première, le fournisseur étudie en détail le cahier des charges du client et réalise un travail de conception détaillé, tant pour la description de la solution technique que pour son processus de réalisation. Il peut ainsi vérifier que son offre répond aux exigences techniques (fonctionnalités et performances) et établit précisément le délai de mise à disposition ainsi que le coût de la solution (coût système et processus de réalisation). Si le client accepte l'offre, le fournisseur aura une grande confiance dans sa capacité de réaliser l'offre en respectant les termes proposés,
- dans la seconde, le fournisseur examine plus succinctement le cahier des charges client et effectue une conception préliminaire en identifiant les principes clés de la solution technique et / ou les choix clés à mettre en œuvre pour le système et le processus de réalisation. Ne pas étudier en détail l'offre (c'est-à-dire de ne pas concevoir en détail la solution technique et son processus de réalisation), implique une plus grande prise de risques. Si le client accepte l'offre, le processus de réalisation peut ne pas être exécuté dans le respect des besoins et critères techniques du client, dans notre cas le coût et le délai (Sylla et al. 2017.b).

La première pratique nécessite une charge de travail importante de la part de l'entreprise soumissionnaire, qui ne sera pas valorisée si le client refuse l'offre. La deuxième pratique est beaucoup moins lourde en termes de charge de travail. Elle entraîne, cependant, un risque considérable pour le fournisseur de ne pas être en mesure de réaliser l'offre proposée et acceptée par le client (en termes de fonctionnalités, de coût et de délai de livraison). Ces deux pratiques se retrouvent dans différentes entreprises, dépendant principalement du rapport entre le nombre d'offres acceptées et le nombre total d'offres soumises. Un ratio élevé a tendance à conduire à une approche de conception détaillée, tandis qu'un ratio faible conduit à une approche de conception préliminaire (Botero et al. 2012).

Nos travaux de thèse se situent dans le cadre de la seconde pratique (ne pas étudier l'offre en détail) et vise à minimiser le risque que le fournisseur n'arrive pas à réaliser l'offre proposée une fois que celle-ci est acceptée par le client.

Par la suite, nous proposons le troisième postulat sur lequel sont basés nos travaux de recherche.

Postulat 3 : Conception préliminaire

Nos travaux se situent dans le cadre d'une forme de conception préliminaire.

**1.1.3. Synthèse du cadre de la thèse**

Dans cette section, trois postulats nous permettent de cadrer et de définir le périmètre de notre travail de recherche :

**P1** : Une offre est composée d'une solution technique et d'un processus de réalisation.

**P2** : Nos travaux se situent dans un contexte de réponse à appel d'offres, en relation B2B ou B2C, en situation ETO « légère » et en conception routinière.

**P3** : Nos travaux se situent dans le cadre d'une forme de conception préliminaire.

Nos travaux concernent donc l'étape d'élaboration d'offres en réponse à appel d'offres en adoptant le point de vue du fournisseur, en relation B2B ou B2C avec une phase d'ingénierie, en situation ETO « légère » et en conception routinière. Afin de permettre aux entreprises soumissionnaires de proposer des offres plus précises et avec une plus grande confiance, nous considérons qu'une offre se compose d'une solution technique et d'un processus de réalisation associé sur lequel une activité d'ingénierie des risques doit avoir lieu.

**1.2. Problématique de la thèse**

Étant donné que nous nous situons dans une situation ETO « légère » et dans le cadre d'une conception préliminaire, que nous adoptons le point de vue de l'entreprise soumissionnaire, le risque que nous considérons dans ces travaux de thèse est : « de ne pas arriver à réaliser l'offre en respectant les exigences et les termes de l'offre envoyée au client ». Nous considérons cependant que le fournisseur sera toujours en capacité d'honorer le cahier des charges regroupant les exigences fonctionnelles et performance, mais pas nécessairement dans les délais et les coûts initialement prévus et acceptés par le client.

Par la suite, nous proposons le quatrième postulat sur lequel sont basés nos travaux de recherche.

Postulat 4 : Risque considéré

Nous considérons dans ces travaux de thèse qu'en complément des risques opérationnels liés à tout processus de réalisation, le risque majeur à prendre en compte est de ne pas arriver à réaliser l'offre en respectant les exigences et les termes de l'offre envoyée au client.

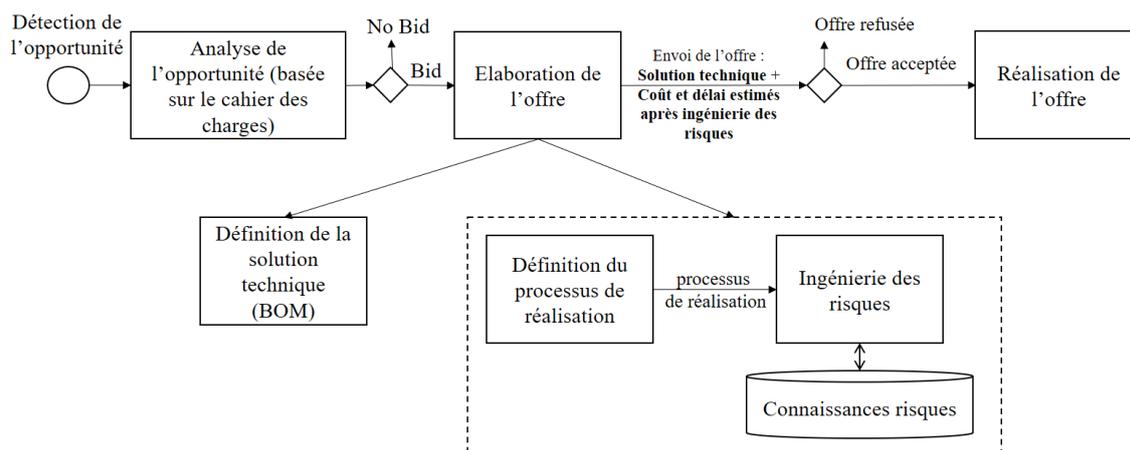


Figure 1.3 Processus de réponse à appel d'offres incluant l'ingénierie des risques

Dans le but de faire face au risque que le fournisseur ne soit pas en mesure de réaliser l'offre proposée et acceptée par le client, notre objectif est d'aider les entreprises soumissionnaires à mieux élaborer leurs offres en incluant une ingénierie des risques, supportée par un système à base de connaissances, comme le montre la figure 1.3. Le système à base de connaissances apportera un support à l'identification et la mitigation des risques sur le processus de réalisation d'une offre en cours de réalisation.

En matière d'ingénierie des risques, nous suivons les recommandations fournies par certains travaux scientifiques examinés dans le chapitre II, considérant le risque comme un concept événementiel. De plus, l'ingénierie des risques que nous proposons s'inscrit dans la logique et la démarche préconisées par la norme ISO 31000 où : identifier les risques, les analyser (identifier les facteurs impactés par les risques), les évaluer (estimer les dégâts engendrés par les risques) et les traiter (définition des actions de mitigation), sont les activités principales.

Pour autant que nous le sachions, et ceci sera abordé dans l'étude bibliographique (Chapitre II), actuellement dans les entreprises, l'ingénierie des risques lors de la réponse à appel d'offres est réalisée par un expert risque humain, qui utilise sa propre connaissance pour identifier les risques et leurs probabilités (Hillson et al. 2004), évaluer les impacts de ces risques sur les coûts et délais (Chen et al. 2015), et prendre les décisions et les mesures de traitement.

Notre but est par conséquent d'aider la personne en charge de l'ingénierie des risques avec un système à base de connaissances. Notre problématique de recherche se décompose alors en deux questions de recherche :

**Question de recherche 1.** quelle est la connaissance nécessaire à l'ingénierie des risques en élaboration d'offre, comment la modéliser pour pouvoir la capitaliser et la réutiliser ?

**Question de recherche 2.** comment réutiliser la connaissance formalisée et capitalisée pour aider l'ingénierie des risques lors d'une réponse à un appel d'offres ?

Ces deux questions de recherche donnent lieu à deux contributions :

**Contribution 1.** proposition d'un modèle de connaissance pour l'ingénierie des risques.

Le modèle proposé permet de capitaliser et de stocker dans une même base de connaissances, des connaissances risques, très souvent issues d'une expertise humaine et des expériences risques, correspondant à des ingénieries des risques déjà menées lors d'appels d'offre précédents,

**Contribution 2.** proposition d'une approche de réutilisation de la connaissance capitalisée afin d'aider l'ingénierie des risques. L'approche définie consiste à identifier et proposer à la personne en charge de l'ingénierie des risques, les connaissances pertinentes, qui peuvent être des connaissances risques ou des expériences risques (Clermont et al. 2018), afin d'aider l'ingénierie des risques en cours.

### 1.3. Terrain d'application : projet OPERA

Les travaux de cette thèse se sont déroulés dans le cadre du projet ANR OPERA (**O**utils logiciels et **P**roc**E**ssus pour la **R**éponse à **A**ppels d'offres) : [www.opera.mines-albi.fr](http://www.opera.mines-albi.fr), financé par l'Agence Nationale de la Recherche et soutenu par les pôles ViaMéca Aerospace Valley. Quelques chiffres clés du projet OPERA sont donnés dans la figure 1.4. Le projet OPERA s'intéresse à la relation client fournisseur et vise à permettre aux entreprises soumissionnaires de proposer des offres plus précises, plus rapides et avec le plus de confiance possible.

Dans ce projet, trois laboratoires de recherche sont impliqués ainsi que quatre partenaires industriels. Les laboratoires de recherche sont :

- LGP : le Laboratoire Génie de Production de l'ENI de Tarbes équipe SDC, travaille sur la gestion des expériences et des connaissances ainsi que sur la gestion des risques et le traitement des incertitudes,
- CGI : le Centre de Génie Industriel d'IMT Mines Albi, travaille sur la formalisation des connaissances à l'aide de modèles tels que les problèmes de satisfaction de contraintes ainsi que sur la gestion des risques,
- ESTIA Recherche : l'Estia Recherche Bidart travaille sur la conception de systèmes et le déploiement de systèmes d'aide à la décision en entreprise.

Les partenaires industriels impliqués dans le projet OPERA sont à la fois dans le domaine des services et des systèmes :

- AES : Automatismes Études Services, est un bureau d'études en automatismes industriels et systèmes de levage (principalement portuaires) basé à Mérignac,
- Mécanuméric : Mécanuméric, basé à Albi, conçoit et réalise des équipements de découpe à commande numérique pour l'industrie, l'éducation et le dentaire,
- Altran : Altran, basé à Toulouse, est une entreprise de conseil en ingénierie qui accompagne les entreprises dans leurs processus de création et développement de nouveaux produits et services.
- Axsens BTE : Axsens BTE, basé à Toulouse, est un cabinet de conseil et de formation, spécialisé dans les domaines de la Supply Chain, le Lean, le 6-sigma, les méthodes industrielles et la logistique.

Les quatre entreprises partenaires du projet ANR OPERA sont quotidiennement confrontées à des appels d'offres, soit publics, soit privés, avec chacun leurs spécificités. La diversité des entreprises du consortium permet la proposition d'un outil générique qui couvre un large spectre des situations industrielles rencontrées.

Informations clefs	Chiffres clefs
Financement ANR	❖ 4 partenaires industriels
Agrément des Pôles Aerospacevalley et ViaMéca	❖ 3 laboratoires de recherches
	❖ 3 thèse
	❖ 48 mois : Novembre 2016 à Novembre 2020
	❖ 1.35 M€ de budget
	❖ 15 publications scientifiques en Mai 2019

Figure 1.4 Quelques chiffres clés du projet OPERA, adapté de Guillon (2018)

Chacune de nos contributions sera illustrée par un exemple inspiré du cas d'étude de « Mécanuméric ».

#### 1.4. Synthèse et plan de lecture

La suite de ce mémoire est organisée en cinq chapitres.

Le chapitre 2 est une étude bibliographique qui vise à positionner nos travaux par rapport à l'existant scientifique. Il pose les définitions de risque en général, en relation client fournisseur, en élaboration d'offre, en gestion de projet et en conception de nouveaux produits (NPD : New Product Design). La deuxième partie de ce chapitre aborde les systèmes à base de connaissances. Une synthèse, résumant la position de nos travaux par rapport à l'existant scientifique et appuyant les détails de notre problématique, est donnée à la fin de ce chapitre.

Le chapitre 3 définit notre première contribution et répond à la première question de recherche : quelle connaissance est nécessaire à l'ingénierie des risques, comment la modéliser pour la capitaliser et la réutiliser ? En effet, ce troisième chapitre définit les entités nécessaires pour capitaliser la connaissance en ingénierie des risques ainsi que les entités nécessaires pour faciliter sa réutilisation. Les deux types de connaissance, que le modèle proposé permet de capitaliser sont des connaissances risques provenant de l'expertise humaine et des expériences risques provenant des expériences passées de l'ingénierie des risques. Une mise en situation des éléments décrivant la première contribution est proposée dans un exemple illustratif afin de faciliter la compréhension.

Le chapitre 4 présente notre deuxième contribution et répond à la deuxième question de recherche : comment réutiliser la connaissance formalisée et capitalisée dans la base de connaissance pour aider l'ingénierie des risques lors d'une réponse à un appel d'offres ? Ce quatrième chapitre explique l'approche de réutilisation de connaissance proposée et met l'accent sur le fait que des méthodes de retour d'expériences et un standard (ISO 31000) sont intégrés, adaptés et développés pour obtenir l'approche proposée. Une mise en situation des éléments décrivant la deuxième contribution est proposée dans un exemple illustratif afin de faciliter la compréhension.

## Cadre des travaux et problématiques scientifiques

Le chapitre 5 présente une mise en situation de nos propositions. Celle-ci exploite les travaux du projet OPERA et englobe tous les éléments proposés dans ce travail. Il s'appuie sur une application informatique que nous avons développée dans le cadre de cette thèse.

Le chapitre 6 conclut ce mémoire et ouvre sur des perspectives pour des recherches futures.

# Chapitre 2

## Etude bibliographique

Nous nous intéressons donc à la capitalisation et à l'exploitation des connaissances nécessaires à l'ingénierie des risques lors de l'élaboration d'offres en relation client fournisseur. En conséquence l'analyse de l'existant scientifique est décomposée en deux parties. Dans un premier temps (section 2.1), les travaux associés aux notions de risque et d'ingénierie des risques en élaboration d'offre sont étudiés et discutés. Ensuite, (section 2.2), ce sont les travaux relevant des systèmes à base de connaissances pour l'aide à l'ingénierie qui sont abordés. Une conclusion termine ce second chapitre.

### **2.1. Risques, ingénierie des risques et élaboration d'offres en relation client fournisseurs**

Cette section va progressivement converger vers notre besoin. Après une première brève introduction de la notion de risque, nous abordons la gestion de risque par son aspect normatif. Nous nous intéressons ensuite aux risques en relation client fournisseur, en élaboration d'offre, en gestion de projet, pour terminer par les risques en conception de nouveaux produits.

#### **2.1.1. Premières notions de risques**

Selon plusieurs standards et travaux de recherche de différents domaines, tels que Collins et Simonds (1979), Godfrey et Halcrow (1996), un risque est par définition une condition incertaine ou un évènement incertain qui vient perturber un projet ou un processus et qui affecte au moins un des objectifs. Selon Botero (2014), un risque est décrit comme (i) un accident venant d'un évènement imprévu avec des conséquences humaines comme la mort, l'invalidité et des blessures graves ou (ii) une cause définie comme un évènement à l'origine d'un autre évènement négatif. Hillson (2002) propose d'étendre cette définition, et de considérer un risque comme un évènement incertain qui peut affecter un projet positivement comme négativement. Outre ces approches qu'il est possible de qualifier d'évènementielles, d'autres auteurs comme Ward et Chapman (2003) proposent de transformer le risque en incertitude. Le problème de gestion de risques devient alors un problème de gestion des incertitudes.

Dans notre travail, nous nous plaçons dans une approche évènementielle et définissons le risque comme un évènement perturbant qui impacte une tâche du processus de réalisation de l'offre. La notion de risque positif n'est pas considérée dans notre travail ainsi que les risques à l'origine d'autres risques.

#### **2.1.2. Ingénierie des risques et aspects normatifs (ISO 31000)**

L'ISO 31000 est une norme qui a été mise en place pour décrire un processus détaillé de gestion des risques pouvant être appliqué sur diverses gammes d'activités, de stratégies et de décisions. En effet, tout organisme a la possibilité d'appliquer les lignes directrices fournies par la norme ISO 31000 en adaptant ces dernières à son contexte spécifique. Du fait de son large domaine

d'application, la norme ISO 31000 a été associée à plusieurs travaux de recherche. Dans Sepp et al. (2015), une adaptation de l'ISO 31000 est proposée pour faire face aux incertitudes et pour évaluer les risques dans le domaine des hydrocarbures. Une analyse critique de l'utilisation de la norme ISO 31000 pour gérer les risques est proposée par Lalonde et al. (2012). Ces derniers discutent les retours d'expériences d'experts de plusieurs secteurs et suggèrent que la gestion des risques devrait être considérée avant tout comme une approche basée sur la pratique devant prendre en compte les spécificités et les propres hypothèses des experts. Nous allons maintenant détailler les quatre phases principales (figure 2.1) du processus de gestion des risques proposé par ISO31000

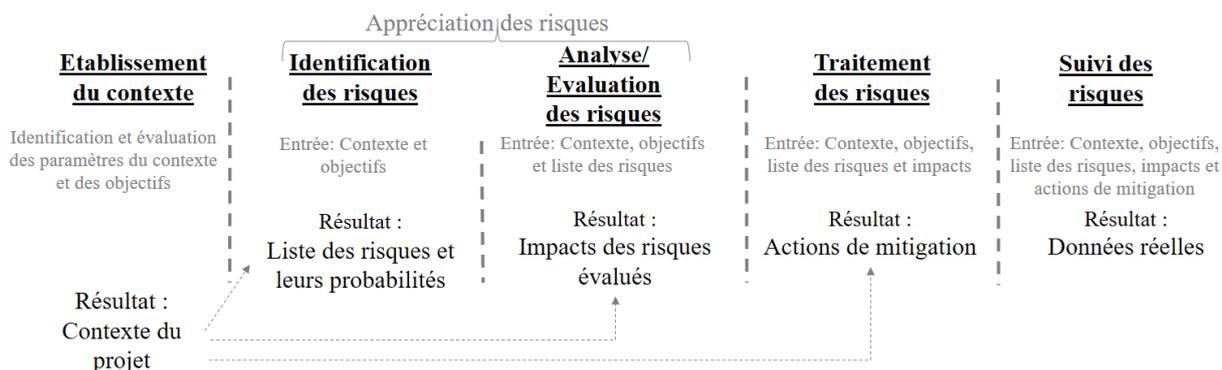


Figure 2.1 Processus de gestion des risques issu de l'ISO 31000

- Phase 1 : Etablissement du contexte

Chaque organisme déployant ce processus doit tout d'abord définir son contexte. Le contexte décrit l'environnement externe à l'organisme (tout acteur externe en interaction avec l'organisme et influençant l'atteinte de ses objectifs) ainsi que l'environnement interne (ex. le cadre organisationnel, les pratiques propres à l'organisme et les objectifs et ressources considérés). Ceci se concrétise par l'identification de paramètres fondamentaux associés aux environnements internes et externes. Suivant le domaine d'application de l'organisme, ses objectifs et son environnement, ces paramètres sont alors valués. Ces paramètres ont un rôle principal lors de l'appréciation des risques (la seconde étape du processus). Landquist et al. (2013) ont proposé de définir des niveaux de tolérance au risque lors de l'établissement du contexte. Cette notion de contexte n'est pas reprise systématiquement par tous les auteurs. Par exemple, Fischhoff (1995) initialise directement les étapes de développement de la gestion des risques indépendamment de l'étape de l'établissement du contexte. Aven et al. (2003) émettent de même, indépendamment du contexte, des recommandations sur le choix de l'approche de résolution des problèmes de décision impliquant des risques et des incertitudes. L'établissement du contexte définit le périmètre du projet et joue, par la suite, un rôle très important pour réussir les autres phases du processus de gestion des risques.

- Phase 2 : Appréciation des risques

Cette phase permet d'identifier les risques à considérer et d'évaluer les conséquences de leurs occurrences.

- Phase 2.1 : Identification des risques :

cette phase correspond à l'identification des risques, à la caractérisation de leur occurrence par une probabilité et suivant le cas par une criticité. Cette identification est basée le plus souvent sur des risques prédéfinis. Plusieurs travaux de recherche proposent différentes approches pour mémoriser ces risques prédéfinis. Nous pouvons citer les matrices de risques (Smith et al. 2009), (Ni et al. 2010) et (Abul-Haggag et al. 2013) qui visent à mémoriser ou capitaliser les risques et leurs criticités, qui ont été initialement proposées par « Electronic System Center, US Airforce » (Garvey et al. 1998). Grâce à leur large domaine d'application elles ont été adoptées par plusieurs organisations (Ni et al. 2010). D'autres approches de capitalisation à base de risques prédéfinis étroitement liées aux outils issus des systèmes d'information seront discutées en section 2.2.

○ Phase 2.2 : Analyse/Evaluation des risques :

cette phase permet de classer l'importance des risques pour éventuellement prioriser leur prise en compte et leur traitement. L'évaluation des risques peut être quantitative et/ou qualitative. Selon Luko (2014), cette évaluation est le plus souvent basée sur des approches de type chaîne de Markov, simulation de Monte Carlo ou encore réseaux Bayésiens. Dans Rollason et al. (2010), l'appréciation du risque est, en premier lieu assimilée à une analyse du risque qui est définie par la détermination de son niveau (extrême, élevé, moyen, faible), puis en deuxième lieu associée à une évaluation du risque qui est définie par la détermination de son acceptabilité (acceptable, tolérable ou intolérable, inacceptable). Selon Hirman et al. (2019), l'évaluation des risques peut être aussi bien qualitative (impacts forts, moyens, ou faibles) que quantitative (valeur de l'impact sur l'objectif impacté).

● Phase 3 : Traitement des risques

Une fois le contexte établi et les risques analysés et évalués, un traitement peut être recherché pour réduire les conséquences de leur occurrence (Norrman et al. 2004). La norme ISO 31000 définit une phase de traitement des risques pour les maîtriser. Dans Barafort et al. (2018), le traitement des risques commence par sélectionner et privilégier des options de traitement des risques, traiter les risques avant ou après leurs apparitions, c'est-à-dire de manière préventive ou corrective. Par la suite, le traitement des risques consiste à préparer et implémenter un plan de traitement faisant appel à des stratégies de traitement (correctives, préventives ou mixtes) et associant diverses actions de mitigation pour réduire les conséquences des risques (Zuo et al. 2018).

● Phase 4 : Suivi des risques

Cette dernière phase permet de mesurer la performance des stratégies de traitement des risques choisies et implémentées à l'étape précédente (Hawksley 1999). Dans Barafort et al. (2018), le suivi consiste à vérifier et superviser le déroulement de la mise en œuvre de la stratégie et de comparer le déroulement effectif à ce qui avait été planifié et estimé. Ceci permet de déterminer une forme d'efficacité et/ou de pertinence des plans établis auparavant pour prendre ultérieurement de bonnes décisions. De manière assez similaire, Amir-Heidari et al. (2017), proposent que le suivi soit basé sur la mesure de

valeurs d'indicateurs de performances clés (KPI) et également de comparer les valeurs estimées des KPIs avec les valeurs réelles.

Notre approche et nos contributions s'inscriront dans les deux phases de l'appréciation des risques et de traitement des risques du processus précédemment discuté pour lesquelles nous identifierons, caractériserons et structurerons les connaissances clés.

### **2.1.3. Risque en relation client fournisseur**

La relation client fournisseur puise certaines racines chez les acteurs chargés du marketing. Par conséquent, plusieurs travaux de recherche concernant les risques en relation client fournisseur sont basés sur des approches issues du marketing. Selon Ryals et al. (2005) et Ryals et al. (2007), les risques en relation client fournisseur sont avant tout liés au client, par exemple : les risques de perte de fidélisation du client ou le risque de volatilité des flux de revenus futurs. Dans leurs travaux, des approches de gestion du risque mettant en œuvre des formes de profilage client sont également proposées pour répondre à la question « Faisons une offre ou non » (Bid no bid ?).

La relation client fournisseur mène aussi à des considérations logistiques. Dans Thun et al. (2011), la chaîne d'approvisionnement est décrite comme vulnérable. Les risques principaux pouvant alimenter cette vulnérabilité sont la mondialisation, l'externalisation ainsi que l'augmentation de la diversité des produits demandés par les clients entraînant une plus grande complexité logistique. Ceci conduit à des questions logistiques de type « que produire ? », « où produire ? » et « où stocker ? ».

La relation client fournisseur aborde également des problèmes de sélection de fournisseurs. Dans Lee (2009), un modèle analytique est proposé pour la sélection des fournisseurs. Les critères et spécifications requis par les clients sont considérés dans ce modèle, mais aussi les opportunités, les coûts et les risques auxquels les clients doivent faire face s'ils choisissent un fournisseur spécifique. L'objectif de ce modèle est de surmonter l'incertitude et l'ambiguïté dans le processus de prise de décision humaine lors de la sélection des fournisseurs par les clients.

La confiance est de même un facteur lié au risque. De Ruyter et al. (2001) étudient des facteurs liés à l'engagement et la confiance sur les intentions des clients de rester dans la relation et motivent leur travail par le niveau de complexité et le risque possible dans les relations avec les clients sur les marchés de haute technologie. Un modèle pour gérer les risques de perte de fidélisation client est proposé. Ce modèle inclut les aspects du produit demandé par le client, les activités de gestion des relations, les variables du marché ainsi que les antécédents de confiance, d'engagement et d'intention de rester du client.

Lacoste (2014) étudie la relation entre entreprises (la relation B2B) afin de gérer les tensions qui résultent des coopérations et des concurrences. Un cas de référence est proposé pour gérer les risques entre entreprises. Lacoste (2014) utilise une étude de cas pour gérer les tensions entre la coopération avec les « fournisseurs privilégiés » et leurs concurrents sur les prix avec les « challengers » invités, dans une situation d'appel d'offres concurrentielle.

La relation client fournisseur peut aussi être classifiée suivant la nature des relations compétitives, transactionnelles (discrètes) ou collaboratives (relationnelles) (Vinaja 2004), ou

encore en fonction des niveaux des investissements spécifiques de l'acheteur et du fournisseur (Bensaou 1999). Hallikas et al. (2005) classifient la relation client fournisseur en trois catégories, (i) les relations non stratégiques, dans lesquelles la dépendance mutuelle et les risques sont relativement faibles, (ii) les relations stratégiques, dans lesquelles la dépendance mutuelle et les risques sont élevés et (iii) les relations asymétriques, dans lesquelles la dépendance et les risques des fournisseurs sont élevés et la dépendance et les risques de l'acheteur sont faibles. Hallikas et al. (2005) dissocient également clairement les risques « client » et les risques « fournisseur » et ils insistent sur la nécessité de prendre en compte le point de vue fournisseur.

Notre travail s'inscrit dans la continuité des travaux de Lacoste (2014) et Hallikas et al. (2005) car nous nous situons dans une relation client fournisseur B2B et nous considérons fondamentalement le point de vue du fournisseur.

#### **2.1.4. Risque en élaboration d'offres et en gestion de projet**

En ce qui concerne les risques en l'élaboration d'offres, nous avons identifié un petit nombre de travaux s'intéressant au problème tel que nous l'avons formulé. C'est-à-dire des travaux en rapport avec une ingénierie des risques du processus de réalisation d'une offre lorsque cette offre est un couple solution technique et processus de réalisation.

Botero (2014) étudie la gestion des risques dans le processus de réponse à appel d'offres. Il décrit la phase de l'élaboration de la réponse technique par le développement de la solution à présenter au client. Il insiste sur la nécessité d'anticiper le futur développement du produit afin d'élaborer une offre robuste. Ce même auteur propose une approche de réponse à appel d'offres en considérant qu'il est important de satisfaire les besoins et objectifs du client, mais également ceux du prestataire, car ce dernier peut être amené à s'engager dans des processus d'exécution très pénalisants pour satisfaire le client.

Les travaux sur les risques en élaboration d'offre se basant sur le processus de réalisation étant très peu nombreux, et étant donné que nous considérons l'offre comme une sorte de conception préliminaire, les travaux sur les risques en gestion de projet ont été investigués.

Outre la norme ISO 31000 déjà évoquée (section 2.1.1), il existe des guides pour la gestion des risques tel que le PMBOK (Project Management Institute 2008). PMBOK est un guide qui décrit l'importance du plan de contrôle défini par le processus de gestion des risques. Le processus de gestion des risques proposé par ce guide, très similaire à celui de l'ISO 31000, commence par l'identification du risque, définit ensuite la phase de la mesure ou de la quantification du risque et finalement le traitement du risque.

Dans ce courant de travaux, De Falco et al. (1998) et Raz et al. (2000) mettent l'accent sur l'importance du suivi d'un processus ou d'un projet surtout si la planification mise en place évolue au cours du temps. Azis et al. (2012) confirment que le budget initial d'un projet peut être dépassé de 5 à 10% en termes de coût du fait de l'occurrence de risques pouvant survenir lors de la réalisation. Selon ces auteurs, le suivi permet, en cas de besoin, de modifier ou gérer les éléments principaux du projet qui impactent le projet suivant le triplet (coût, durée, ressources).

#### **2.1.4.1. Caractérisation du risque en gestion de projet**

En gestion de projet le risque est le plus souvent défini par :

- un nom : Dans Willams (1994) le nom du risque est représenté sous forme de texte (ex. « fournisseur fait faillite »).
- une probabilité : Botero (2014) a utilisé la notion de détectabilité ou probabilité de détection. Manotas (2017) a aussi utilisé la notion de détectabilité ou contrôlabilité du risque. Quant à Desroches (2008), il a utilisé la notion de vraisemblance qui est une mesure de confiance pour l'occurrence de l'évènement. C'est la probabilité de pouvoir détecter le risque avant, pendant ou après son apparition.
- Willams (1994) définit un risque, en plus de son nom, par des valeurs binaires décrivant la possibilité d'occurrence ou non de l'évènement. Manotas (2017) a aussi évoqué la probabilité d'occurrence de l'évènement redouté ou recherché.
- Hillson et al. (2004) proposent un cadre de référence pour la définition de la probabilité d'occurrence du risque. Ils pensent que la crédibilité et la valeur du processus de gestion des risques sont mieux évaluées si la probabilité est quantifiée avec soin, contrairement aux cas où la probabilité est basée sur une estimation grossière.

Manotas (2017) propose deux types d'identification des risques, (i) une identification fonctionnelle (ex. un dysfonctionnement informatique) et (ii) une identification interne (ex. risques organisationnels) et externe (ex. risques politiques, risques liés au marché ou risques juridiques).

Pour den Braber et al. (2002), Desroches (2008) et Marmier (2014), l'identification du risque en gestion de projets commence par bien définir les objectifs du projet ainsi que le contexte organisationnel. Desroches (2008) propose de mettre en place un facteur d'identification de risque. Marmier (2014) insiste sur le fait que l'identification du contexte doit être considérée dans la prise des décisions sur les différentes alternatives possibles pour la planification d'un projet.

Dans notre travail, l'identification des risques est basée sur le contexte de l'offre et sur la description de l'offre (solution technique et processus de réalisation). Les notions de détectabilité de risque ne sont pas considérées. Une notion de concept de risque sera proposée pour permettre l'abstraction et une meilleure exploitation des connaissances.

#### **2.1.4.2. Evaluation des conséquences du risque en gestion de projet**

Après l'identification des risques, une évaluation de ses effets sur le projet est en général nécessaire.

Desroches (2008) évalue le risque par une gravité. Elle est mesurée par rapport aux conséquences de l'évènement et du risque survenu. En plus de la gravité, qui est liée principalement au risque lui-même et qui permet de décider si le risque est grave ou non, une mesure de criticité est proposée (Desroches 2008). Cette criticité est déduite du couple (vraisemblance, gravité).

Manotas (2017) définit la gravité du risque par les gains ou les pertes résultants du risque.

Dans Marmier (2014), un système appelé PPR<sup>2</sup> (Produit, Processus, Ressources, Risques) a été proposé. Il représente les éléments à prendre en compte dans la prise de décision sur la planification d'un projet. Le PPR<sup>2</sup> a pour objectif que la conception et/ou le pilotage d'un projet prenne en compte non seulement les décisions mais aussi les effets et les conséquences de celles-ci. Il en résulte que la planification d'un projet et la prise de décision dans cette phase deviennent beaucoup plus difficiles avec la prise en compte des aléas, des incertitudes et des risques. Marmier (2014) propose également d'identifier l'ensemble des scénarios d'occurrence de risques possibles afin d'évaluer ces derniers et de déterminer les bonnes décisions à prendre.

Dans Provitolo et al. (2011), les effets d'un risque sont appelés des dommages. Les auteurs ont décrit la différence entre un risque et un accident par le type des dommages de l'évènement, (i) les dommages avec lesquels on décrit et on quantifie des pertes effectives, définissent un accident et (ii) les dommages avec lesquels on décrit et on quantifie des pertes potentielles, définissent un risque.

Botero (2014) dénomme les effets des risques comme des conséquences. Il a aussi introduit une notion d'« éléments vulnérables », ce sont les éléments qui peuvent subir les conséquences des risques.

Dans notre travail, les conséquences d'un risque seront décrites par des impacts. Un risque survient sur une tâche du processus de réalisation et impacte une ou plusieurs tâches de ce même processus de réalisation. C'est ce que nous appelons tâches impactées ou tâches cibles.

### **2.1.4.3. Traitement du risque en gestion de projet**

Après l'identification et l'évaluation des risques, des actions de mitigation doivent être établies.

Comme décrit précédemment, Desroches (2015) évalue les risques par leurs criticités. Si la criticité est acceptable, il propose de passer à la gestion des risques résiduels, sinon l'expert propose une action corrective. Il apparaît dans ce travail que la gestion du risque n'a lieu qu'après l'occurrence du risque, c'est pour cela que la plupart des auteurs préfèrent parler d'actions correctives (actions qui se mettent en exécution après l'occurrence du risque) et pas d'actions préventives.

Dans Provitolo et al. (2011), un méta-modèle est proposé pour la gestion des risques et des catastrophes. Le méta-modèle proposé considère les systèmes constitués d'éléments qui peuvent être cibles d'éventuels évènements et de types différents : physiques, vivants, organisationnels ou liés aux infrastructures (ex. bâti, équipement ou réseaux). Dans ce travail, la gestion des risques propose des actions préventives pour mitiger les risques et réduire leurs probabilités, mais pas d'actions correctives.

Botero (2014) évoque la phase de communication et de concertation. Pendant toutes les étapes de la gestion du risque, il faut répondre à des questions concernant les causes, les conséquences, et les choix et mesures pour prendre en compte les risques. Une concertation avec le client est toujours nécessaire pour que toutes les parties prenantes comprennent les raisons des choix des actions de mitigation.

Selon la norme ISO 9001, trois types d'actions qualité peuvent être menées afin de remédier à un défaut ou à une non-conformité, les actions préventives, correctives ou curatives. Les actions préventives et correctives visent à éviter que le défaut ne se reproduise soit, avant l'occurrence du défaut (préventive), soit après l'occurrence du défaut (corrective). Ces actions améliorent les processus, tandis que l'action curative vise simplement à corriger la non-conformité, après l'occurrence du risque, sans améliorer le processus.

Dans notre travail, la mitigation des risques se fait par la mise en place de stratégies de traitement. Chaque stratégie peut avoir un ou deux types d'actions de mitigation, (i) des actions préventives qui sont exécutées avant l'occurrence du risque et qui peuvent réduire sa probabilité et/ou ses impacts et (ii) des actions curatives qui sont exécutées après l'occurrence du risque et qui réduisent uniquement les impacts.

### **2.1.5. Risque en conception de nouveaux produits**

Dans le premier chapitre « Cadre de travail » de ce mémoire, nous avons expliqué que nous considérons des situations d'élaboration d'offre nécessitant une activité d'ingénierie que nous avons appelée ETO pour « Engineer To Order. ». Ceci nous amène à nous intéresser aux travaux de recherche existant dans le domaine de la conception de nouveaux produits (NPD). Dans ce domaine, de nombreux travaux de recherche expliquent comment les risques sont toujours présents et sont cruciaux pour la définition de nouveaux produits.

Ogawa et al. (2006) considèrent que les risques en conception de nouveaux produits sont clairement définis et que des stratégies de traitement de ces risques doivent être proposées en impliquant le client dans la phase de conception de produit.

Pour Rush et Roy (2000), l'analyse des risques évolue avec l'évolution et l'avancement du processus ou de l'activité de conception de produit. Il en ressort que plus la conception du produit avance, plus l'estimation des risques et de leurs conséquences est digne de confiance.

Kwak et al. (2005) s'intéressent aux développements de produits axés sur la technologie. Ils insistent sur le fait que pour des projets à caractère technologique et innovant les phases de planification et de conception doivent être particulièrement bien contrôlées. Ils proposent une méthode basée sur une technique d'estimation paramétrique pour déterminer les paramètres du projet tels que le coût ou les délais.

Oehmen et al. (2014) proposent un suivi le processus de gestion des risques calqué sur l'ISO 31000 en conception de nouveaux produits (NPD). Ils discutent l'importance de la gestion des risques dans le succès des projets en conception de nouveau produit. Ils soutiennent que les processus de gestion de risque, prenant en compte des facteurs risques innovants, technologiques et organisationnels, améliorent la performance de la conception de nouveaux produits.

Pour Ahmad et al. (2013), les projets en conception de nouveaux produits doivent avoir recours à des pratiques de conception et de gestion des risques qui dépendent avant tout des caractéristiques du nouveau produit plutôt que des pratiques et/ou solutions universelles.

Dans notre travail, nous retenons, parmi l'ensemble des travaux investigués et par rapport à notre problème de risque dans l'élaboration de l'offre, les travaux de (Fang et al. 2012), (Marmier et al. 2013) et (Nguyen et al. 2013) nous ont permis de fixer un cadre pour notre travail. Fang et al. (2012) proposent un système d'aide à la décision pour la modélisation et la gestion de ce qu'ils ont appelé projets à risques. Ce travail préconise la simulation événementielle pour l'évaluation des conséquences des risques grâce au logiciel de simulation à événements discrets ARENA. Les travaux de Nguyen et al. (2013) et Marmier et al. (2013) proposent un processus complet de gestion des risques également soutenu de même par une simulation de type placement de tâche au plus tôt.

Ces auteurs proposent d'identifier et de caractériser pour chaque risque :

- (i) l'événement associé au risque avec sa probabilité d'occurrence,
- (ii) les impacts de l'occurrence de cet événement, sous forme de variation de durée et de coût de certaines tâches du projet. Cela permet de calculer par simulation le temps et le coût du processus de livraison pour toute combinaison d'occurrence de risque et de répondre à la question « que se passe-t-il si nous ne faisons rien ? ».
- (iii) Compte tenu de ces résultats, chaque risque peut être associé à des stratégies de traitement regroupant actions correctives et/ou préventives
- (iv) ces dernières engendrent des modifications des impacts du risque et/ou une réduction de la probabilité d'occurrence du risque. Il est alors possible d'évaluer également par simulation l'intérêt de tout traitement à risque et de répondre à la question « que se passe-t-il si nous appliquons cette stratégie de traitement ? ».

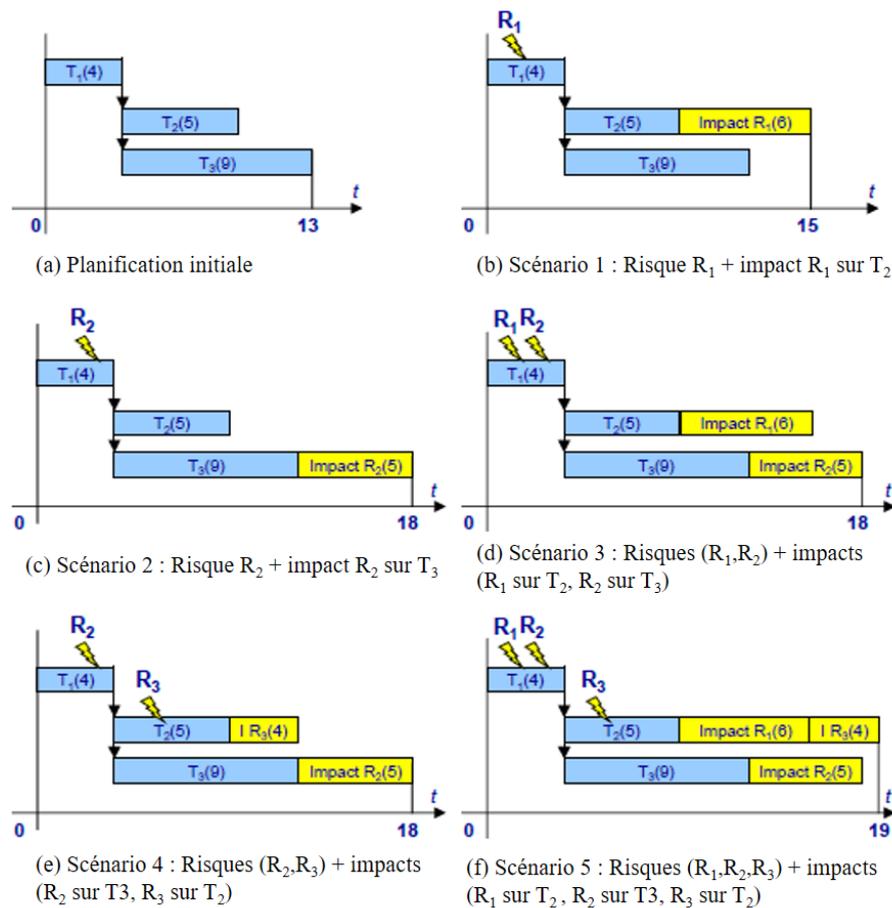


Figure 2.2 Exemples de scénarios possibles d'occurrences de risques

La figure 2.2 synthétise les idées de Nguyen et al. (2013) et Marmier et al. (2013) sur les scénarios des risques qui peuvent survenir lors d'un projet ainsi que leurs impacts. Les scénarios proposés dans la figure 2.2, prennent un exemple de processus avec trois tâches ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ) ainsi que trois risques pouvant apparaître ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ). Dans cet exemple, seul le paramètre durée et pris en compte.

### 2.1.6. Synthèse de la notion de risque

L'ensemble des travaux discutés nous ont permis de caractériser l'approche que nous allons développer par la suite en ce qui concerne l'ingénierie des risques. Notre approche s'inscrit dans le processus préconisé par l'ISO 31000. Nous considérons donc une nature événementielle du risque caractérisée par une probabilité d'occurrence. Nous faisons l'hypothèse que les impacts correspondent à une modification des tâches du processus de réalisation le plus souvent par une augmentation de la durée et/ou du coût de réalisation. Le traitement du risque se fait par l'ajout de tâches curatives ou préventives venant réduire voire annuler les impacts et/ou réduire la probabilité d'occurrence du risque. Nous considérons de même que l'évaluation des coûts et des délais se fait par simulation événementielle. Cette revue du domaine de l'ingénierie des risques nous a permis d'identifier les premiers éléments importants que nous allons devoir modéliser afin de fournir des modèles de connaissances utiles pour aider l'ingénierie des risques par notre système à base de connaissances. La section suivante présente une étude bibliographique sur le domaine des systèmes à base de connaissances.

## 2.2. Systèmes à base de connaissances

La gestion des connaissances a été définie, dès les années 1990, comme l'application d'une approche systématique de capture, de structuration, de gestion et de diffusion des connaissances afin de résoudre plus rapidement les problèmes, de réutiliser les meilleures pratiques et d'éviter la réoccurrence des erreurs comme indiqué par Dalkir (2013). Selon Inkinen (2016), avoir une bonne capacité de gestion des connaissances est crucial dans les entreprises. La création et la diffusion des connaissances sont devenues des facteurs de compétitivité essentiels. Toute organisation doit apprendre, se souvenir et agir sur la base des meilleures informations, connaissances et savoir-faire disponibles. Les méthodes de gestion des connaissances se sont avérées efficaces pour capturer, stocker et diffuser des connaissances qui ont été rendues explicites, en particulier des « leçons apprises » et les « meilleures pratiques ». La gestion des connaissances représente donc une approche ciblée et systématique permettant d'assurer l'utilisation précise de la base de connaissances d'une organisation (Dalkir, 2013). Dans ce cadre général, la construction de **systèmes à base de connaissances** (appelée aussi ingénierie des connaissances) est une approche centrée sur la codification de ces connaissances, c'est-à-dire sur l'explicitation des connaissances d'experts, rendue disponible au moyen de supports numériques. Ainsi, les systèmes à base de connaissances visent, de manière générale, à résoudre des problèmes complexes en s'appuyant sur une base de connaissances et sur un ensemble de mécanismes de raisonnement (ou d'inférence) qui, à partir de la base de connaissances, vont aider à résoudre les problèmes posés. Cette section vise à positionner nos travaux dans le cadre général des systèmes à base de connaissances, en insistant sur un sous-ensemble de ces approches axées sur le retour d'expérience.

### 2.2.1. Définition générale des systèmes à base de connaissances

Les systèmes à base de connaissances sont constitués de deux éléments principaux : la base de connaissances et le moteur d'inférence.

La **base de connaissances** est, dans la plupart des cas, exprimée de manière formalisée en utilisant un langage de représentation des connaissances. Afin de construire une telle base de connaissances, il est possible de traduire les connaissances d'experts d'un domaine métier ou d'effectuer un apprentissage à partir de données. Nous allons nous intéresser dans la suite de ce chapitre à la première approche, car dans le domaine de l'ingénierie des risques, l'expertise métier est essentielle et les données qui permettraient un apprentissage sont souvent inexistantes ou difficiles à obtenir. Il s'agira donc de modéliser les connaissances des experts en utilisant un formalisme qui facilitera ensuite le raisonnement.

Le **moteur d'inférence** va permettre, à partir d'un ensemble d'observations et de la base de connaissances de déduire, par un mécanisme de raisonnement, des informations utiles. La manière de réaliser les inférences dépend naturellement du formalisme de modélisation des connaissances adopté pour le système à base de connaissances.

De manière générale, la mise en œuvre d'un système à base de connaissances nécessite la sélection d'un formalisme de représentation des connaissances et d'un moteur d'inférences. Une fois ces deux éléments sélectionnés, l'élaboration d'une base de connaissances à partir des experts métier constitue un travail de longue haleine. Afin de faciliter cette phase délicate,

plusieurs méthodologies ont été proposées telles que KADS puis CommonKADS (Guus et al. 1994) ou, plus récemment, les approches de construction d'ontologies (ontology engineering) comme la démarche NeOn (Suárez-Figueroa et Mari Carmen, 2010).

Construire une base de connaissances nécessite donc un savoir-faire méthodologique, des compétences liées au formalisme de modélisation et la capacité de traduire l'expertise métier dans ce formalisme. Ce travail nécessite généralement l'intervention d'un ingénieur de la connaissance (cogniticien) et des efforts importants pour l'organisation qui l'entreprend. À titre d'exemple on peut citer les travaux présentés dans Karray et al. (2012) ou Guebitz et al. (2012).

Dans le premier cas les auteurs proposent une ontologie pour la maintenance industrielle. Pour cela ils utilisent la démarche *Methodology* qui préconise (i) des activités de gestion (ordonnancement des tâches, contrôle et garantie de la qualité), (ii) des activités de développement (spécifications, conceptualisation, formalisation, exécution et entretien) ainsi que (iii) des activités de support (acquisition de connaissance, intégration, évaluation, documentation et gestion de la configuration). On mesure bien ici l'ampleur du projet à mettre en œuvre.

Dans le deuxième cas, les auteurs proposent une approche de développement d'une ontologie de gestion des risques appliquée au domaine pharmaceutique. Selon les auteurs, les étapes de la création de l'ontologie sont la spécification des conditions et exigences, la conceptualisation, la formalisation, l'exécution et la validation. Ils proposent une méthodologie spécifique appelée GAMP-OntoV pour structurer ce processus (Figure 2.3).

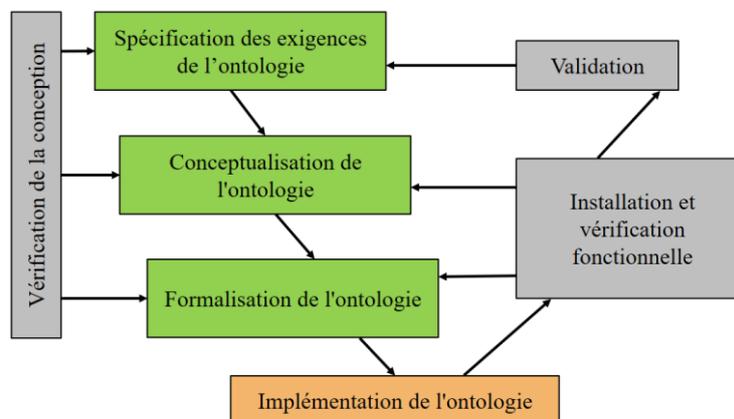


Figure 2.3 Modèle de développement de l'ontologie, adapté de Guebitz et al. (2012)

Dans les deux cas, et de manière plus générale, la création d'un système à base de connaissances est un processus long et coûteux. C'est pourquoi des approches alternatives, plus légères et moins ambitieuses en termes de couverture des domaines métier, ont été proposées : les approches de retour d'expérience. Elles sont présentées dans la section suivante.

### 2.2.2. Notion d'expérience et de retour d'expérience

Certains travaux se sont focalisés sur une approche qui vise à capitaliser les connaissances mobilisées par un expert lors d'une activité particulière. L'ensemble des connaissances ainsi capitalisées pour une activité donnée est appelée **expérience**. La réutilisation de ces connaissances capturées dans le contexte d'une activité est appelée **retour d'expérience**.

Les connaissances intégrées dans une expérience sont fortement contextualisées (par l'activité dans lesquelles elles sont employées) comme souligné dans Bergmann (2002) ou Zogbi (2017), contrairement aux connaissances qui constituent le cœur des systèmes à base de connaissances. Ainsi, au triplet Données, Informations, Connaissances (Bergmann, 2002), il nous semble pertinent d'insérer l'expérience comme une forme intermédiaire entre les informations et les connaissances. Beler (2008) considère ainsi une expérience comme un fragment de connaissance. Il la compare à une pièce de puzzle de la connaissance. L'expérience contient de la connaissance et la connaissance peut être un ensemble d'éléments généraux déduit des expériences. Rakoto (2004) propose d'utiliser les expériences comme un vecteur de construction des connaissances. Les connaissances peuvent alors être déduites des expériences ce qui facilitera la formalisation des connaissances par les acteurs concernés. Ces derniers pourront en effet utiliser leurs propres expériences passées et ils n'auront pas à formaliser des connaissances non contextualisées.

La modélisation, la capitalisation et la réutilisation d'expériences sont des problématiques qui ont été largement abordées en recherche. Les moteurs d'inférence utilisés sont la plupart du temps fondés sur des mécanismes de recherche de similarité entre les contextes des expériences, ce qui permet de sélectionner les expériences intéressantes dans un contexte spécifique et donc les connaissances pertinentes dans ce contexte. Dans Strang et Linnhoff-Popien (2004), on peut trouver une synthèse des approches de modélisation des contextes : par couples <attribut, valeur>, par des données structurées (sur la base d'un schéma XML par exemple), par une modélisation orientée objet, à base de graphe, à base de modélisation logique et à base d'ontologie. Cette dernière forme de modélisation est d'ailleurs préconisée pour avoir une représentation du contexte expressive et formelle. Un autre mécanisme d'inférence couramment utilisé est celui de l'adaptation. En effet, lorsqu'une ou plusieurs expériences intéressantes (au sens de la similarité de contexte avec le problème courant) ont été retrouvées, il faut inférer une solution au problème courant ce qui nécessite souvent une adaptation des solutions de la ou des expériences retrouvées. Différentes méthodes d'adaptation sont décrites dans Mitra et Basak (2005). Ces deux mécanismes d'inférence sont à la base des approches de Raisonnement à Partir de Cas (RàPC ou CBR - *Case Based Reasoning*) dont les fondements ont été posés par Kolodner (1993) et Aamodt et Plaza. (1994).

Les ontologies et le raisonnement à partir de cas étant au cœur de la modélisation et de l'inférence à partir d'expériences, nous allons les explorer plus en profondeur dans les sections qui suivent.

#### **2.2.2.1. Ontologies et taxonomies**

Selon Gruber (1993), une ontologie est une spécification explicite d'une conceptualisation. De manière plus précise, Studer et al., (1998) définissent une ontologie comme une spécification formelle et explicite d'une conceptualisation partagée. Arp et al. (2016) définissent une ontologie comme une théorie de ce qui existe, obtenue par l'étude de la réalité en définissant des entités et des types de relations entre elles. Une ontologie est donc une représentation abstraite et formalisée d'un domaine, faisant consensus sur la sémantique associée de manière à permettre son partage, et qui pourra être manipulée par des moteurs d'inférence appropriés.

Les ontologies sont donc utilisées pour décrire un modèle d'un domaine spécifique. Au sein d'une ontologie, on distingue en général les concepts et les relations entre ces concepts. Les concepts, parfois appelés types ou classes, sont des abstractions d'entités (réelles ou non) et les relations permettent de décrire les liens sémantiques existant entre les concepts. Lorsqu'on limite les relations à la relation particulière de généralisation-spécialisation (appelée aussi relation de subsumption) on parle alors de taxonomie plutôt que d'ontologie. Ainsi, une taxonomie peut être vue comme une restriction, une simplification, d'une ontologie.

#### 2.2.2.2. Raisonnement à partir de cas

Le raisonnement à partir de cas est la démarche la plus utilisée pour le retour d'expérience. Cette démarche a été proposée dans les travaux précurseurs de Kolodner (1993) et Aamodt et Plaza (1994) et a été depuis l'objet de nombreux travaux de recherche tels que Leake (1996), Baccigalupo et Plaza (2006) et Tawfik et Kolodner (2016).

La démarche RàPC/CBR est structurée, comme indiqué dans Aamodt et Plaza (1994), autour de quatre étapes principales organisées selon un cycle de CBR (Figure 2.4) :

- **Retrieve** : cette étape permet de retrouver les cas source similaires à la description du problème courant (cas cible). Cette phase débute lorsque l'utilisateur fait une nouvelle demande au système à base de connaissances CBR, en fournissant un nouveau problème à résoudre sous la forme d'une description générale de ce problème. La phase de remémoration consiste alors à trouver les cas les plus similaires et donc considérés comme les plus pertinents par rapport au problème courant. La méthode consiste à comparer et à identifier la correspondance entre les descripteurs qui caractérisent le contexte du cas cible (problème) avec les contextes des cas source qui figurent dans la base de cas. Cette comparaison est effectuée à l'aide d'une mesure de similarité ;
- **Reuse** : cette étape permet de réutiliser une (ou, le cas échéant, plusieurs) solution suggérée par un cas source suffisamment similaire. Dans cette étape, les cas source retrouvés à l'étape « Retrieve » et, plus particulièrement les solutions, servent de base à la construction de la solution du nouveau problème. Il est ainsi fréquent qu'une adaptation des solutions retrouvées soit nécessaire lors de cette phase ;
- **Revise** : la solution obtenue à l'étape précédente est mise en application et, si nécessaire, ajustée pour mieux répondre au problème courant. Sa mise en œuvre passe d'abord par une validation afin de vérifier qu'elle répond bien au problème ;
- **Retain** : la nouvelle solution, lorsqu'elle a été validée à l'étape précédente, va être ajoutée à la base des cas source. Elle devient ainsi un « cas appris ». Cette étape peut nécessiter une indexation de la base de cas pour rendre les recherches ultérieures plus performantes.

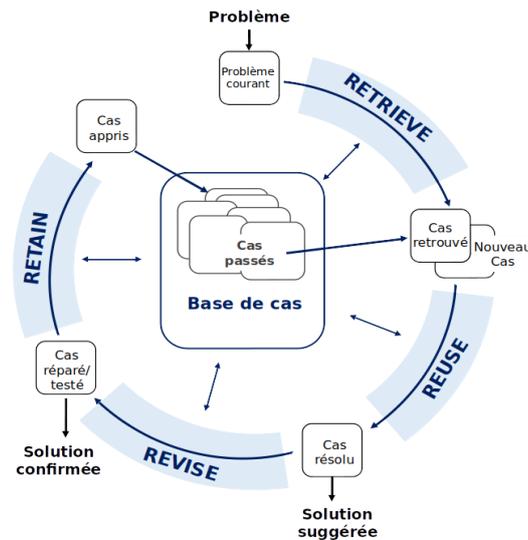


Figure 2.4 Cycle du CBR selon (Aamodt et Plaza, 1994)

### 2.2.2.3. Liens entre RàPC/CBR et ontologies/taxonomies

Plusieurs travaux ont établi un lien entre les ontologies et le raisonnement à partir de cas. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, il est intéressant, pour pouvoir définir une mesure de similarité, de disposer d'une formalisation du contexte, car sa description en langage naturel est source de difficulté pour faire la comparaison. En vue de cette formalisation, les ontologies constituent un support intéressant qui permet de rendre compte de la sémantique du contexte mieux qu'un ensemble de couples <attribut-valeur>. Citons à titre d'exemple les travaux de Recio-Garcia et Wiratunga (2010) qui proposent de réaliser une indexation sémantique sur la base de textes descriptifs du contexte.

Plusieurs travaux de notre équipe de recherche ont également intégré l'utilisation de concepts issus de taxonomies permettant d'étiqueter le contexte des expériences et ainsi de retrouver plus facilement, par comparaison de concepts, les expériences antérieures les plus intéressantes. Nous pouvons citer dans ce cadre les travaux de Jabrouni, (2012), Zogbi (2017), Manotas, (2017) et Melendez (2019).

Dans ces travaux, les mesures de similarité utilisées reposent sur une mesure de similarité sémantique entre concepts issus d'une même taxonomie. Dans la littérature plusieurs travaux portent sur la similarité entre les concepts d'une taxonomie et nous pouvons classer les approches existantes en trois grandes catégories : les approches basées sur l'utilisation de mesures de contenu informationnel (en exploitant des informations complémentaires en général issues de corpus de textes du domaine concerné) (Resnik, 1995), (Jiang & Conrath, 1997), (Lin, 1998) pour déterminer la similarité conceptuelle. Une autre famille d'approches repose uniquement sur la hiérarchie ou sur les distances entre les nœuds de la taxonomie (Rada et al., 1989), (Wu & Palmer, 1994) : plus le chemin entre deux nœuds est court plus ils sont considérés comme similaires. Finalement, on trouve l'approche hybride de (Patwardham, 2003) qui combine les deux premières approches.

### **2.2.3. Synthèse des systèmes à base de connaissances**

Dans cette seconde section, nous avons présenté les notions essentielles de l'ingénierie des connaissances et des systèmes à base de connaissances. Nous retenons de cette présentation que les systèmes à base de connaissances peuvent fonctionner à partir de modèles de connaissance générale, donc assez peu contextualisés, et proposer à l'utilisateur une aide à la décision. Il s'agit donc dans ce cas de formaliser cette connaissance à l'aide de modèles ad hoc et de définir des méthodes et outils permettant leur exploitation par un utilisateur grâce à des outils informatisés. Cette démarche peut s'avérer longue et coûteuse en ressources humaines nécessaires à l'extraction de la connaissance experte et à sa formalisation à des fins d'exploitation ultérieure. Cependant, il est absolument essentiel de pouvoir disposer de tels modèles afin de formaliser des connaissances générales applicables systématiquement dans des contextes définis.

Nous avons également présenté les principes du retour d'expérience où les connaissances sont formalisées à partir de cas dans le contexte précis de la réalisation d'activités. La réutilisation de ces expériences dans des contextes similaires peut fournir également une aide aux utilisateurs (bonnes pratiques, non-réitération des erreurs du passé, réutilisation de solutions efficaces, etc.). Les outils employés pour mettre en œuvre cette méthode sont basés sur le principe du raisonnement à partir de cas (RàPC/CBR). Ici aussi, il s'agit de construire un modèle d'expérience servant de cadre à la capitalisation des cas, de définir les méthodes de calcul de similarité entre un cas courant et des cas passés et d'en réutiliser certains, souvent en les adaptant, afin de répondre au problème courant. Cette méthode s'avère plus facile à mettre en œuvre, la formalisation des connaissances se faisant progressivement lorsque les activités sont réalisées dans leur contexte.

Que ce soit pour formaliser des connaissances générales ou des expériences, nous voyons qu'il est nécessaire d'avoir des modèles qui vont permettre d'atteindre un certain niveau de standardisation. Plus la connaissance est standardisée, plus elle sera facilement exploitable et maintenable. Pour cela, nous avons vu que les taxonomies, qui sont une forme d'ontologie simplifiée, permettaient de formaliser des connaissances dans différents domaines, généralement à l'aide de concepts liés par des relations de subsomption. L'intégration de ces éléments de connaissances dans des modèles plus complexes permet d'avoir une forme de standardisation et de bâtir des modèles qui vont permettre de raisonner et d'apporter une aide à l'utilisateur. Cela va également permettre de définir des connaissances plus ou moins abstraites, contextualisées, complètes et précises.

### **2.3. Conclusion du chapitre 2**

Cette analyse bibliographique des domaines de l'ingénierie des risques et des systèmes à base de connaissances nous a permis d'identifier les éléments clés de gestion des risques que nous devons modéliser afin de proposer des modèles de connaissances exploitables par un outil informatisé. Nous avons vu également que nous devons être en mesure de formaliser des connaissances générales exploitables systématiquement dans un contexte global donné, mais aussi, des expériences d'ingénierie des risques exploitables dans un contexte beaucoup plus précis. L'idée-force développée dans ce travail de thèse est qu'un modèle commun doit permettre de formaliser les deux types de connaissances et de les exploiter grâce à un outil

commun. Cela doit permettre de bénéficier simultanément des avantages de chaque approche : formaliser/capitaliser/exploiter des connaissances générales vraies en toutes circonstances et formaliser/capitaliser/exploiter des expériences correspondant à la réalisation d'activités précises dans un contexte très détaillé.

Pour notre domaine d'application qui est l'ingénierie des risques, nous devons donc proposer des modèles de connaissance générale (Connaissance d'Ingénierie des Risques – « Connaissance IR ») et des modèles de connaissance de type expérience (Expérience d'Ingénierie des Risques – « Expérience IR »). Afin de proposer notre outil d'aide à l'ingénierie des risques, nous allons proposer un modèle de connaissance général basé sur l'étude de l'existant en management des risques. Ce modèle va servir de cadre pour formaliser à la fois des connaissances IR et des expériences IR exploitables par un outil de raisonnement commun. Il doit en outre se baser sur une taxonomie de concepts d'ingénierie des risques afin de garantir une bonne standardisation des connaissances et permettre à l'utilisateur de formaliser des connaissances plus ou moins générales ou plus ou moins abstraites et contextualisées selon les concepts choisis. L'adoption du standard ISO31000 va en outre nous permettre de suivre un processus d'ingénierie des risques robuste et éprouvé en l'assistant de notre système à base de connaissances. Le chapitre 3 est dédié à la présentation du modèle général de connaissances d'ingénierie des risques, de la taxonomie de concepts dans le domaine de l'ingénierie des risques, ainsi que de la formalisation des expériences d'ingénierie des risques. Le chapitre 4 présentera le système à base de connaissances que nous avons développé afin d'exploiter, dans un outil commun, à la fois des connaissances générales d'ingénierie des risques et des expériences d'ingénierie des risques.



# Chapitre 3 Modélisation de la connaissance risque

Dans ce chapitre, nous répondons à notre première question de recherche : quelle connaissance nécessaire à l'ingénierie des risques, comment la modéliser pour la capitaliser et la réutiliser ?

Comme expliqué dans le chapitre I de ce mémoire, nous rappelons que l'ingénierie des risques, dans le cadre du processus de réponse à appel d'offres, est définie par les activités suivantes : (i) l'identification des risques pouvant survenir sur les tâches du processus de réalisation défini lors de l'élaboration de l'offre, (ii) la quantification des impacts des risques identifiés ainsi que l'identification des tâches impactées, (iii) l'identification des stratégies de traitement possibles pour mitiger les risques et réduire leurs effets.

À notre connaissance, l'ingénierie des risques est le plus souvent réalisée par un expert risque humain. Le but de nos travaux de recherche est d'aider les entreprises soumissionnaires à mieux élaborer leurs offres en incluant une ingénierie des risques, supportée par un système à base de connaissances. Ainsi, nous proposons dans ce chapitre un modèle UML permettant de modéliser et capitaliser la connaissance nécessaire pour réaliser une ingénierie des risques. La modélisation de la connaissance nécessaire à une ingénierie des risques nécessite une phase d'identification des entités à capitaliser, de leurs attributs clés et de leurs relations. Nous basons, principalement, cette identification sur les travaux de (Nguyen et al. 2013) et sur la norme ISO 31000.

Pour cela, nous distinguons dans les deux sections qui suivent, (i) les éléments que nous identifions et adaptons de l'existant scientifique, (ii) des nouveaux éléments que nous proposons dans le cadre de cette thèse.

Dans la première section de ce chapitre, nous reprenons les définitions des éléments proposés dans l'existant scientifique que nous jugeons indispensables pour réaliser l'ingénierie des risques. Lorsque cela est nécessaire, nous analysons et adaptons les éléments existants à notre travail et à notre définition d'ingénierie des risques. Nous en déduisons un premier modèle UML. Nous concluons cette section par une discussion sur les intérêts et limites de ce premier modèle UML afin de montrer qu'il est impératif de le compléter pour pouvoir assister efficacement la personne en charge de l'ingénierie des risques.

La deuxième section de ce chapitre constitue la première contribution de notre travail. Le premier modèle de connaissance nécessaire à l'ingénierie des risques est enrichi pour le rendre avant tout plus exploitable en ajoutant des éléments abstraits ou génériques afin de permettre une réutilisation plus efficace des connaissances dans des contextes comparables. Comme dans la première section, une discussion sur les intérêts et limites du modèle complet conclut cette deuxième section.

La troisième section de ce chapitre est une seconde contribution qui permet de considérer dans un même cadre de modélisation des connaissances relevant de niveaux de généralité/contextualisation différents. Une claire distinction est faite entre :

- (i) les connaissances génériques que nous appelons connaissances risques et notées « Connaissances IR », valides dans des contextes variés d'ingénierie des risques,
- (ii) les connaissances beaucoup plus contextualisées résultant de cas réels de processus de réalisation, sur lesquels une ingénierie des risques est réalisée, que nous appelons expériences risques et notées « Expériences IR », valides dans des contextes très restreints voire entièrement définis.

Le modèle proposé dans cette section permettra de formaliser aussi bien les connaissances IR (connaissances provenant des experts risques) que les expériences IR (expériences d'ingénierie des risques sur des projets réels).

Un exemple fil rouge, tiré du cas d'usage de l'entreprise Mécanumeric, illustre chacune des notions abordées. Chaque exemple illustratif est précédé du symbole :



### **3.1. Identification et modélisation des éléments de connaissance nécessaires à la l'ingénierie des risques.**

Nous proposons dans cette section, un premier modèle de connaissance nécessaire à l'ingénierie des risques, exploitant principalement les travaux de (Nguyen et al. 2013, Grouc 2006, Marmier 2014, Munier 2016, Zavadskas et al. 2010 et les normes ISO 31000 et ISO 10006). Ceux-ci définissent les notions de projet, de risque, d'impacts, de stratégies de mitigation, de réductions d'impacts et de scénarios de projets. Dans une première sous-section nous analysons et adaptions éventuellement ces éléments pour ensuite en déduire un modèle UML et conclure sur les limites de la proposition.

#### **3.1.1. Identification et analyse des éléments nécessaires à l'ingénierie des risques**

Les travaux de Nguyen et al. (2013) et les propositions de la norme (ISO 31000) reposent sur les notions de projet (ou processus de réalisation dans le cadre de nos travaux), de risques, d'impacts, de stratégies de mitigation locales et globales, et de réductions d'impacts. Cette sous-section reprend, analyse et adapte éventuellement ces notions, propose des éléments de définition et les illustre sur des exemples simples inspirés du cas de l'entreprise Mécanumeric.

##### **3.1.1.1. Notion de Projet/Processus**

Le premier élément nécessaire identifié pour modéliser la connaissance nécessaire à l'ingénierie des risques, est le « Projet », défini par la norme ISO 10006.

##### Définition 1 : Projet

La norme ISO 10006 définit un projet comme « *un processus unique qui consiste en un ensemble d'activités coordonnées et maîtrisées comportant des dates de début et de fin, entrepris dans le but d'atteindre un objectif conforme à des exigences spécifiques, incluant les contraintes de délais, de coûts et de ressource* ».

Un projet peut être caractérisé par plusieurs métriques, telles que le coût, la charge ou la durée qu'il convient d'estimer en phase de montage du projet (nous parlons alors de métriques théoriques) et de suivre en phase de réalisation (nous parlons alors de métriques réelles).

Chaque activité du projet est caractérisée par ces mêmes métriques qui une fois agrégées permettent de quantifier celles du projet dans sa globalité.

### Analyse et adaptation 1 : Projet

Dans notre travail, le projet sera nommé « Processus » pour faire référence au processus de réalisation. Un processus de réalisation, tel que défini dans notre travail, consiste en un ensemble de tâches permettant d'obtenir le système, conformément au cahier des charges et le livrer au client.

Pour une meilleure lisibilité, les métriques considérées dans notre travail se limitent au coût et à la durée. Nous distinguons également les métriques théoriques (estimées en phase d'élaboration de l'offre), que nous décrivons par des valeurs prévisionnelles, des métriques réelles (obtenues en phase de suivi), que nous décrivons par des valeurs effectives. La durée totale du projet de réalisation s'obtient par un placement au plus tôt des tâches (qui ne sont pas nécessairement toutes en série) et le coût total par une simple somme du coût de toutes les tâches.

En effet, lors de l'élaboration de l'offre, le processus de réalisation ainsi que les tâches identifiées sont décrits par un coût et une durée prévisionnels. Lorsque l'offre est soumise au client et sous la condition de l'acceptation de ce dernier, l'offre est réalisée. Un suivi est alors possible et permet d'obtenir les valeurs effectives des coûts et des durées de chaque tâche ainsi que celle du processus complet.



Pour illustrer ces premières notions, considérons un processus de réalisation composé de 5 tâches (Conception, Approvisionnement, Fabrication, Assemblage/Test et Livraison/Installation), tel qu'illustré en figure 3.1. Ce processus entre dans l'exemple illustratif complet qui sera présenté au chapitre 5.

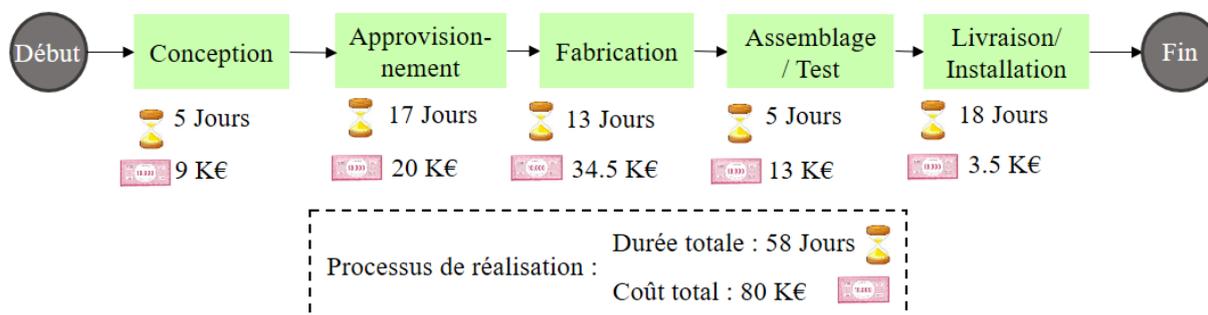


Figure 3.1 Exemple de processus de réalisation

Le processus de réalisation proposé dans la figure 3.1 montre que pour chaque tâche sont associés un coût et une durée prévisionnels. Un coût total de 80 k€ et une durée de 58 jours sont prévus, si tout se passe bien, pour atteindre les objectifs et fournir le système commandé par le client.

### 3.1.1.2. Notion de Risque

La première phase de l'ingénierie des risques, proposée par l'ISO 31000, consiste en l'identification des risques sur les tâches du processus. Nous reprenons ici la définition de risque proposée par Gourc (2006) et Nguyen et al. (2013).

#### Définition 2 : Risques

Gourc (2006) définit le risque comme « la possibilité que survienne un événement dont l'occurrence entraînerait des conséquences (positives ou négatives) sur le déroulement de l'activité du projet ». Un risque est associé à une probabilité d'occurrence (Hillson et Hulett 2004) et entraîne une modification des métriques du projet (coût, délai, etc.).

Basé sur cette définition, Nguyen et al. (2013) distingue l'activité (ou tâche dans notre travail) source du risque et l'activité (ou tâche dans notre travail) cible du risque. Il spécifie également la notion de dépendance de risques. La dépendance des risques peut être associée au fait qu'un risque peut engendrer l'apparition d'autres risques ou bien le traitement d'un risque peut déclencher d'autres risques.

#### Analyse et adaptation 2 : Risques

Dans notre travail, nous considérons qu'un risque est associé à une seule tâche source du processus de réalisation. Il est de nature événementielle, c'est-à-dire qu'il est décrit par un événement qui peut survenir durant la réalisation de la tâche source. Notons qu'une tâche source n'est pas nécessairement la cause du risque. Une tâche peut être une tâche source de plusieurs risques (plusieurs risques peuvent apparaître durant l'exécution d'une même tâche du processus de réalisation).

Le risque est donc caractérisé par une probabilité d'occurrence. Les conséquences du risque sont conditionnées par l'occurrence de ce dernier et elles sont décrites par la modification des métriques des tâches du processus de réalisation, appelées « tâches cibles ». Une tâche peut être une tâche cible de plusieurs risques (plusieurs risques peuvent affecter ses métriques).

Dans notre travail, nous considérons que les risques identifiés sur le processus de réalisation sont indépendants les uns des autres.



Reprenons l'exemple de processus de réalisation illustré en figure 3.1 et considérons deux risques comme suit :

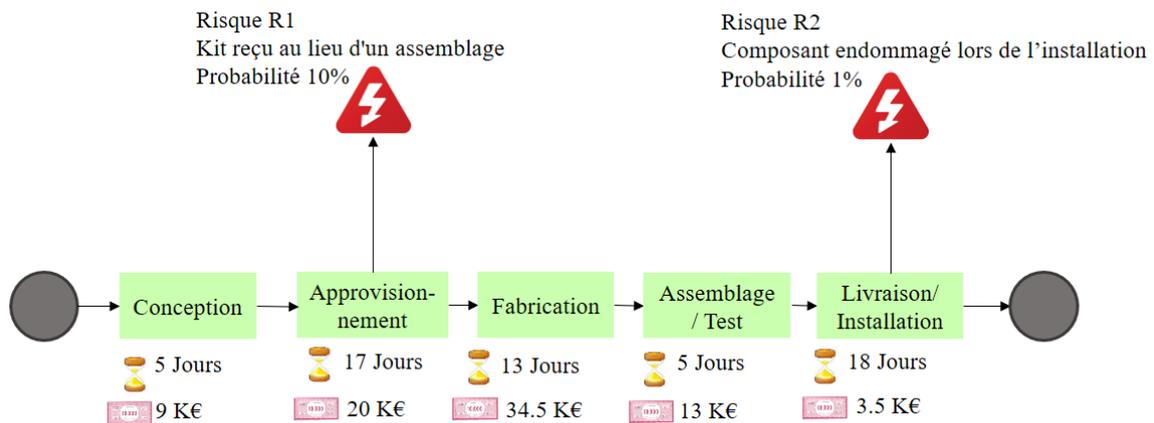


Figure 3.2 Exemple de risques sur le processus de réalisation

L'exemple de la figure 3.2 montre qu'un risque R1 « Kit reçu au lieu d'un assemblage » de probabilité de 10% apparaît durant la tâche d'« Approvisionnement » et un risque R2 « Composant endommagé lors de l'installation » de probabilité de 1% apparaît durant la tâche de « Livraison/Installation ». La tâche d'approvisionnement est appelée tâche source du risque R1 et la tâche livraison/installation est appelée tâche source du risque R2.

En effet, (i) pour le risque R1 et au cours de la tâche « Approvisionnement », un sous-ensemble spécifique a été commandé. À la réception, les pièces ne sont pas assemblées. (ii) Pour le risque R2, la tâche de livraison et installation consiste à l'installation d'une machine particulière à très haute pression avec des flexibles qui peuvent sauter et occasionner des fuites nécessitant un nettoyage délicat et un remplacement de certains composants.

### 3.1.1.3. Notion d'impact

Une fois un risque identifié sur une tâche source, ses impacts doivent être déterminés.

#### Définition 3 : Impact

L'impact d'un risque correspond à une modification d'une ou plusieurs métriques (coût, délai, etc.) sur une ou plusieurs activités cibles du processus (Nguyen et al. 2013, Gourc 2006). Les impacts peuvent être additifs (ajout d'une valeur fixe à une métrique), ou proportionnels (multiplication de la métrique par une valeur).

#### Analyse et adaptation 3 : Impact

Dans notre travail, un risque peut impacter une ou plusieurs tâches du processus de réalisation, appelées tâches cibles ou tâches impactées, en modifiant les valeurs des métriques de ces tâches. Cette modification des valeurs des métriques peut être additionnelle ou multiplicative.

Un impact est associé à une tâche du processus de réalisation. Il ne peut pas être associé à tout le processus de réalisation. Ce choix a été fait pour pouvoir distinguer différents niveaux d'impacts sur les tâches du processus de réalisation. Par exemple, distinguer que l'impact du risque R est plus fort sur la tâche cible de « Conception » que sur la tâche cible de « Fabrication ».

Dans notre travail nous considérons qu'un impact n'affecte que le processus de réalisation et en aucun cas le système livré (par exemple une erreur de livraison d'un composant pourrait dégrader un fonctionnement du système livré). Comme décrit dans le chapitre 1, un processus de réalisation sera toujours terminé, c'est-à-dire, comme posé dans le postulat 4 du chapitre 1, que le fournisseur sera toujours capable de remplir l'offre en termes de fonctionnalités et de performances mais pas nécessairement en termes de délai de livraison (quitte à régler des pénalités de retard) et de coût (quitte à perdre de l'argent). Ainsi, les impacts des risques dans notre travail ne peuvent pas amener l'entreprise soumissionnaire à abandonner une offre acceptée par un client ; un processus de réalisation sera donc toujours terminé quitte à coûter plus cher ou durer plus longtemps que ce qui a été prévu.



Reprenons l'exemple de processus de réalisation et des deux risques illustrés en figure 3.1 et 3.2. Considérons que chaque risque a un impact sur une tâche cible comme suit :

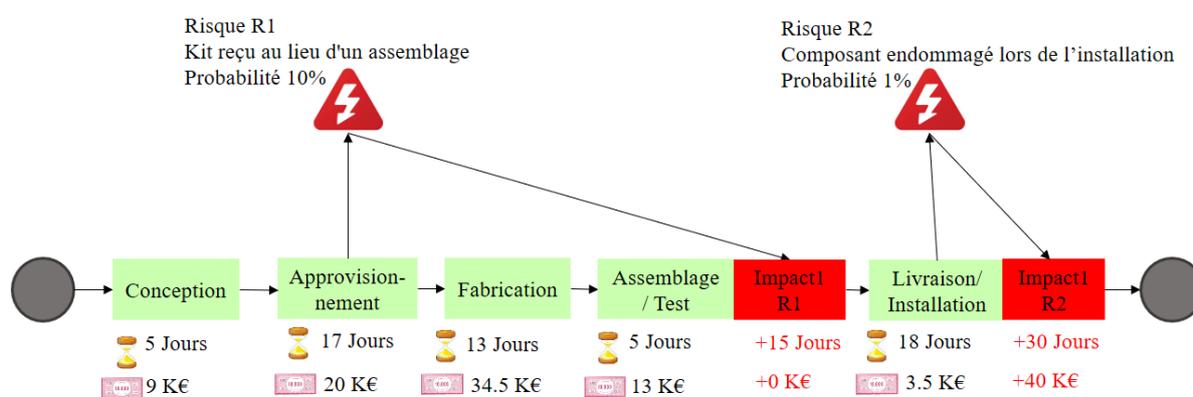


Figure 3.3 Exemple d'impact de risques sur les tâches du processus de réalisation

L'exemple de la figure 3.3 montre que (i) le risque R1 « Kit reçu au lieu d'un assemblage » apparaît durant la tâche d'« Approvisionnement » (tâche source de R1) et impacte la tâche d'assemblage/test (tâche cible ou impactée de R1) en rajoutant 15 jours sur la durée de cette tâche sans coût additionnel. Le risque R2 « Composant endommagé lors de l'installation » apparaît durant la tâche de « Livraison/Installation » (tâche source de R2) et impacte la tâche de livraison/installation (tâche cible ou impactée de R2) en rajoutant 30 jours sur la durée de cette tâche et 40 k€ sur son coût. La tâche de livraison/installation est ainsi à la fois une tâche source et une tâche impactée du risque R2.

### 3.1.1.4. Notion de scénarios des risques

Après l'identification des risques et de leurs impacts, plusieurs scénarios d'occurrence de risques sont possibles.

#### Définition 4 : Scénarios d'occurrence de risques

D'après Marmier (2014), en définissant un ensemble de risques susceptibles de survenir lors de la réalisation du projet, plusieurs scénarios d'occurrence de risques sont possibles, où « Certains vont survenir, les autres ne se manifesteront pas. La réalisation du projet ne voit généralement que la concrétisation ou l'occurrence d'un sous-ensemble des risques. ». Un ensemble de  $n$  risques identifiés conduit à un nombre de scénarios égal à  $2^n$ . Un scénario est

alors défini par le sous ensemble de  $k$  risques possibles parmi l'ensemble des  $n$  risques identifiés. Dans un projet avec  $k$  risques possibles ( $0 < k < n$ ), le nombre total de scénarios de risques, présentant  $k$  risques parmi les  $n$  risques identifiés, est égal à  $\frac{n!}{k!(n-k)!}$ .

#### Analyse et adaptation 4 : Scénarios d'occurrence de risques

Dans notre travail, nous conservons cette notion de scénarios d'occurrence de risques.



Reprenons l'exemple de processus de réalisation, des deux risques et des impacts des risques illustrés en figure 3.3. Les scénarios possibles sont illustrés dans la figure suivante :

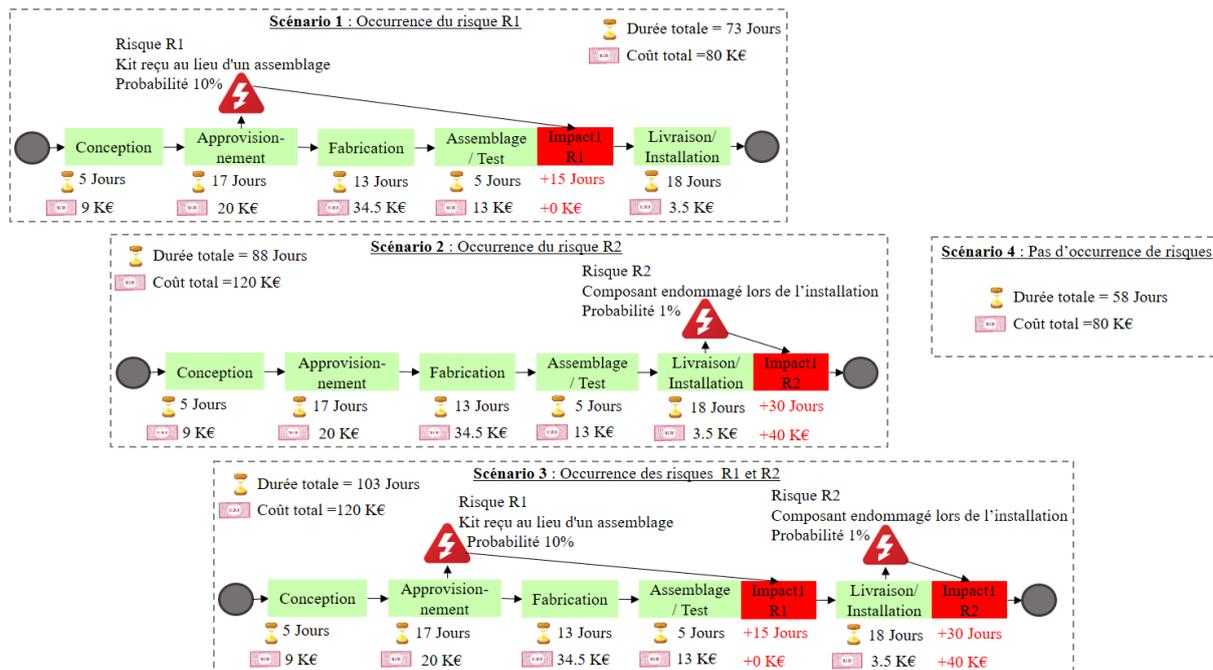


Figure 3.4 Scénarios d'occurrence de risques possibles

L'exemple de la figure 3.4 montre que quatre scénarios sont possibles en prenant en compte deux risques  $2^2$ . Seul le risque R1 survient, seul le risque R2 survient, les risques R1 et R2 surviennent et aucun risque ne survient. À noter les probabilités respectives de ces quatre scénarios sont :  $pr_1*(1-pr_2)$ ,  $pr_2*(1-pr_1)$ ,  $pr_1*pr_2$  et  $(1-pr_1)*(1-pr_2)$ .

#### 3.1.1.5. Stratégies de mitigation d'un risque et réduction d'impacts

Une fois que les risques et leurs impacts sont définis, un traitement des risques est envisageable pour réduire les impacts des risques ou leur probabilité d'occurrence.

#### Définition 5 : Stratégie locale, action curative/préventive et réductions d'impacts

Un risque peut être mitigé par un ou plusieurs traitements (ISO 31000) ou stratégies locales (Nguyen et al. 2013, Gourc 2006, Marmier 2014). Une stratégie locale regroupe un ensemble d'actions de mitigation pour un risque particulier. Ces actions de mitigation sont des actions unitaires, qui se matérialisent par des tâches à réaliser.

Une stratégie locale traitant un risque est qualifiée de préventive, si toutes les actions de traitement qui la composent sont préventives. Elle est curative si toutes les actions de mitigation

qui la composent sont curatives. Les actions préventives sont décidées et réalisées avant l'occurrence du risque. Elles peuvent réduire la probabilité d'occurrence et/ou les impacts du risque. Les actions curatives sont réalisées après l'occurrence du risque et ne peuvent que réduire les impacts.

#### Analyse et adaptation 5.1 : Stratégie locale et action préventive/curative

Dans notre travail, nous conserverons l'appellation « Stratégie Locale » dans la suite de ce mémoire qui est associée à un unique risque. Pour réduire les impacts d'un risque donné, plusieurs stratégies de traitement « concurrentes » ou complémentaires peuvent ainsi être identifiées. La notion de stratégie dite globale considèrera tous les risques et définira pour chaque risque la stratégie retenue.

Une stratégie locale ne traite qu'un seul risque. Elle regroupe une ou plusieurs tâches de traitement. Nous appelons les actions de traitement, « Tâche IR » pour faire référence à « Tâche d'Ingénierie des Risques » pour les dissocier des tâches du processus de réalisation que nous dénommons « Tâche EO » en faisant référence à Élaboration d'Offres.

Les tâches d'ingénierie des risques ont donc les mêmes caractéristiques que les tâches du processus de réalisation et les mêmes métriques. Elles sont insérées dans le processus par des liens de précédence et elles ont un impact sur les métriques caractérisant le processus de réalisation.

Les tâches IR peuvent ainsi être des actions préventives ou curatives. Nous ne prenons pas en compte le type des tâches correctives, car notre objectif est de réduire les impacts des risques identifiés et non de s'intéresser aux causes. Quatre types de stratégies locales sont possibles :

- Une stratégie par défaut « Inaction » : cette stratégie est associée systématiquement à chaque risque. Cette stratégie particulière consiste à ne pas mener d'actions,
- Une stratégie préventive : cette stratégie ne contient que des actions préventives. Elle peut regrouper une ou plusieurs actions préventives,
- Une stratégie curative : cette stratégie ne contient que des actions curatives. Elle peut regrouper une ou plusieurs actions curatives,
- Une stratégie mixte : cette stratégie regroupe au moins une action préventive et au moins une action curative.

#### Analyse et adaptation 5.2 : Réduction d'impact et réduction de probabilité

Dans notre travail, les réductions d'impacts sont associées aux stratégies locales et non aux actions préventives/curatives directement. Nous avons fait ce choix car nous jugeons délicat de distinguer les réductions d'impacts qui résultent de chaque action de mitigation.

Néanmoins, dans le cas où la stratégie locale comprendrait une seule action de mitigation, les réductions d'impacts en résultant sont liées à l'action de mitigation. Dans le cas contraire, où la stratégie locale comprendrait plus d'une action de mitigation il est difficile de savoir quelle action produit quelle réduction d'impact.

De manière similaire, la réduction de probabilité du risque est aussi liée à la stratégie locale. La probabilité du risque peut être réduite si la stratégie locale à laquelle elle est associée contient au moins une action préventive (une stratégie locale préventive ou mixte).



Reprenons l'exemple de processus de réalisation, des deux risques R1 et R2 ainsi que leurs impacts illustrés en figure 3.1, 3.2 et 3.3. Considérons les traitements suivants :

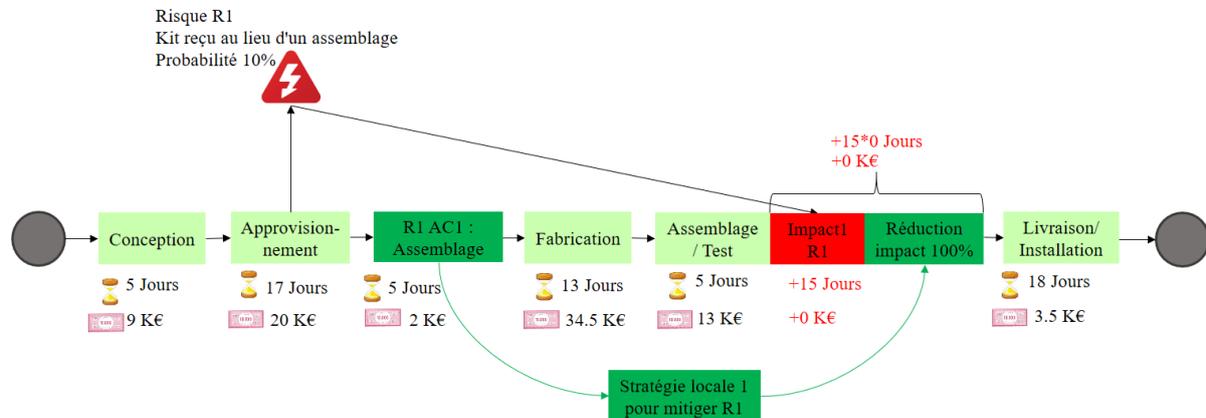


Figure 3.5 Exemple de traitement du risque R1 « Kit reçu au lieu d'un assemblage »

Dans l'exemple de la figure 3.5, une seule stratégie locale est proposée (en plus de la stratégie par défaut « Inaction ») pour mitiger le risque R1. Cette stratégie est curative, car elle contient une action curative « Assemblage ». L'action curative pour mitiger le risque R1 « R1 AC1 » appelée « Assemblage » a une durée de 5 jours et un coût de 2 k€ qui doivent être pris en compte, seulement si le risque apparaît, lors du calcul du coût total et de la durée totale du processus de réalisation. Il résulte de la stratégie curative proposée, une réduction d'impact de 100% (une annulation d'impact) du risque R1. La stratégie locale est curative et ne permet donc pas de réduire la probabilité d'occurrence du risque R1.

Au global, trois situations peuvent se présenter lors de la réalisation de l'offre, si cette dernière est acceptée par le client. (i) Le risque R1 ne survient pas, dans ce cas les métriques de la tâche « Assemblage/Test » et par la suite celles du processus de réalisation ne sont pas modifiées. (ii) Le risque R1 survient et l'action curative n'est pas mise en œuvre. Dans ce cas, 15 jours sont ajoutés à la métrique durée de la tâche « Assemblage/Test » et par la suite à la métrique durée du processus de réalisation. (iii) la troisième situation est que le risque survient et l'action curative est mise en œuvre. Dans ce cas, l'impact du risque est annulé et seules les métriques coût et durée du processus de réalisation sont augmentées de 2 k€ et de 5 jours (le coût et la durée de l'action curative).

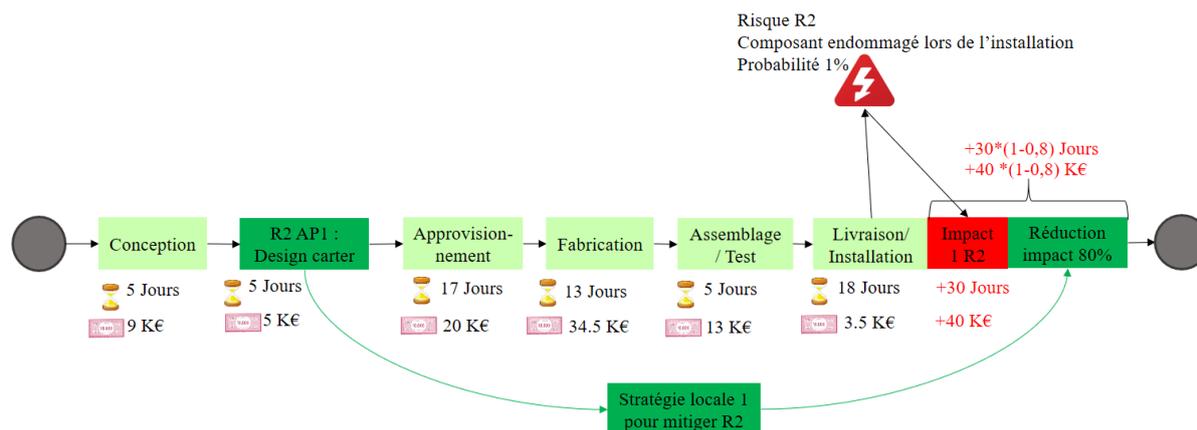


Figure 3.6 Exemple de traitement du risque R2 « Composant endommagé lors de l'installation »

Dans l'exemple de la figure 3.6, une seule stratégie locale est proposée pour mitiger le risque R2 (en plus de la stratégie par défaut « Inaction » (pas de traitement de risque) : nettoyage, séchage puis remplacement flexible). Cette stratégie est préventive, car elle contient une action préventive « Design carter ». L'action préventive consiste en la modification du design par ajout d'un carter d'huile canalisant tous les fluides et réduisant le nettoyage (Effet : peu de dégât suite à une rupture flexible, pratiquement plus de nettoyage, mais le flexible est à changer). L'action préventive pour mitiger le risque R2 « R2 AP1 » appelée « Design carter » a une durée de 5 jours et un coût de 5 k€ qui doivent être pris en compte, dans tous les cas, que le risque apparaisse ou non, lors du calcul du coût total et de la durée totale du processus de réalisation. Il résulte de la stratégie préventive proposée, une réduction d'impact de 80% du risque R2. La stratégie locale est préventive, elle pourrait réduire la probabilité, mais dans l'exemple présent elle ne le fait pas.

Au global et en prenant en compte le risque R2, quatre situations peuvent se présenter lors de la réalisation de l'offre, si cette dernière est acceptée par le client. (i) Le risque R2 ne survient pas et l'action préventive n'est pas mise en œuvre. Dans ce cas, les métriques de la tâche « Livraison/Installation » et par la suite celles du processus de réalisation ne sont pas modifiées. (ii) Le risque R2 ne survient pas et l'action préventive est mise en œuvre. Dans ce cas, les métriques coût et durée du processus de réalisation sont augmentées de 5 k€ et de 5 jours (le coût et la durée de l'action préventive). (iii) Le risque R2 survient et l'action préventive n'est pas mise en œuvre. Dans ce cas, 40 k€ et 30 jours sont ajoutés aux métriques coût et durée de la tâche « Livraison/Installation » et par la suite aux métriques coût et durée du processus de réalisation. (iv) la quatrième situation est que le risque R2 survient et l'action préventive est mise en œuvre. Dans ce cas, l'impact du risque est réduit de 80% et devient alors +8 k€ et +6 jours sur les métriques coût et durée de la tâche « Livraison/Installation ». Le calcul des métriques coût et durée du processus de réalisation doit inclure, en plus de l'impact réduit, le coût et la durée de l'action préventive (5 k€ et 5 jours).

### 3.1.1.6. Notions de stratégie globale et scénario de projet

Après l'identification des risques, de leurs impacts et de leurs stratégies de traitement locales, plusieurs scénarios d'occurrences de risques sont possibles (Marmier 2014).

### Définition 6 : Scénarios de projet

Un scénario de projet est caractérisé par les occurrences effectives de risques et les stratégies de traitement retenues pour chaque risque. Chaque scénario, peut être alors caractérisé par une durée, un coût et une probabilité d'occurrence de scénarios (Nguyen et al. 2013).

Pour déterminer la durée d'un scénario de projet, les impacts sur les durées des tâches impactées de chaque risque, les actions de traitement nécessitant la mise en œuvre d'une tâche dans le planning sont pris en compte pour effectuer le calcul de la durée du scénario du projet associé.

La probabilité d'occurrence d'un scénario de projet est calculée par la formule proposée par Marmier (2014). Elle prend en compte (1) la probabilité des risques qui surviennent dans ce scénario ( $\text{proba}(R_i)$ ), (2) la probabilité que certains risques ne surviennent pas ( $1 - \text{proba}(R_i)$ ), (3) la probabilité des risques qui surviennent sachant qu'une stratégie de traitement a été mise en œuvre ( $\text{proba}(R_i|StTij)$ ) et (4) la probabilité qu'un risque ne survienne pas sachant qu'une stratégie de traitement incluant au moins une action préventive a été mise en œuvre et que sa probabilité initiale a été modifiée ( $1 - \text{proba}(R_i|StTij)$ ). En dessous, la formule proposée par Marmier (2014), avec  $ScRs$  est l'ensemble des risques  $R_i$  identifiés,  $StTd$  l'ensemble des stratégies  $StTij$  définies.

$$\text{Proba}(\text{Scénario de projet}) = \prod_{i,j}^{R_i \in ScRs, StTij \in StTd} \begin{cases} \text{proba}(R_i) & (1) \\ 1 - \text{proba}(R_i) & (2) \\ \text{proba}(R_i|StTij) & (3) \\ 1 - \text{proba}(R_i|StTij) & (4) \end{cases}$$

L'ensemble de tous les scénarios de projet possibles est généré, puis chaque scénario est évalué sur ses métriques et sa probabilité d'occurrence est calculée. Chaque scénario est alors positionné dans un repère dont les différents axes correspondent aux métriques coût et durée. Sa probabilité d'occurrence, quant à elle, est représentée par un cercle (ou sphère) de diamètre plus ou moins grand : plus le diamètre est petit, plus la probabilité d'occurrence du scénario est faible, plus il est grand, plus la probabilité d'occurrence est importante. Une notion de zone contractuelle, c'est-à-dire le délai et le coût acceptables par le client, est, elle aussi représentée afin d'avoir une vue d'ensemble des scénarios et de pouvoir choisir quelles stratégies mettre en place pour limiter le risque de non-respect du contrat.

### Analyse et adaptation 6 : Scénario de projet

Le coût d'un scénario de projet inclut le coût des tâches du processus de réalisation qui constituent le planning initial, le coût global des impacts engendrés par les risques survenus associés à la stratégie « Inaction » (si aucun traitement n'a été mise en œuvre), l'impact global réduit des risques qui s'obtient en prenant en compte l'effet des différentes stratégies locales appliquées aux risques et le coût des stratégies de traitement qui est déterminé par le coût des tâches d'ingénierie des risques (actions préventives et/ou actions curatives).



Reprenons l'exemple de processus de réalisation, des deux risques  $R_1$  et  $R_2$ , leurs impacts ainsi que les deux stratégies locales associées, illustrés en figures 3.5 et 3.6. Considérons le scénario, illustré en figure 3.7, où le risque  $R_1$  survient en mettant en place la stratégie curative associée et que le risque  $R_2$  ne survient pas mais la stratégie préventive a été mise en place :

## Modélisation de la connaissance risque

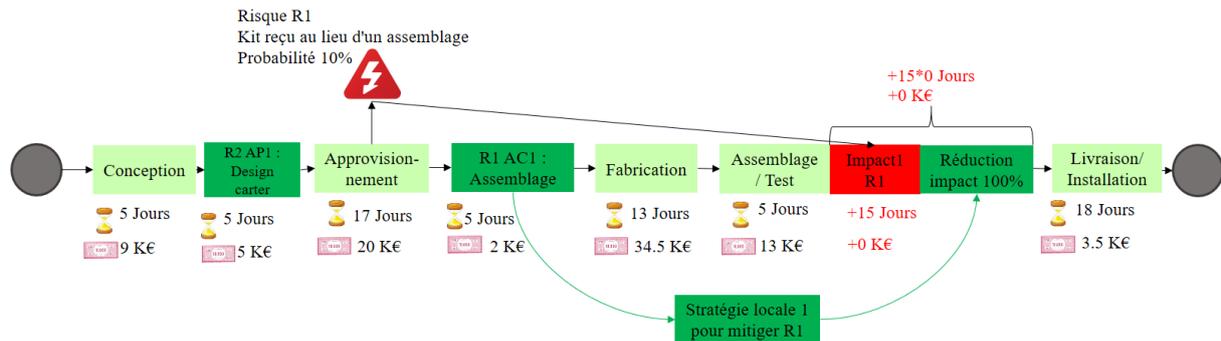


Figure 3.7 Scénario occurrence R1 avec action curative et non-occurrence R2 avec action préventive

Le scénario illustré dans la figure 3.7 a une probabilité égale à 9.9% :

$$\text{Proba (R1)} * (1 - \text{Proba (R2)}) = 0.1 * (1 - 0.01) = 0.099$$

Le coût total du scénario est égal à : la somme des coûts des tâches EO (tâches en série) + la somme des coûts des tâches IR, R1 AC1 et R2 AP1 + l'impact réduit sur la métrique coût du risque R1 = 80 + 0 + 2 + 5 = 87 k€

La durée totale du scénario est égale à : la somme des durées des tâches EO (tâches en série) + la somme des durées des tâches IR, R1 AC1 et R2 AP1 + l'impact réduit sur la métrique durée du risque R1 = 58 + 15\*0 + 5 = 63 jours.

Dans le tableau suivant nous présentons tous les scénarios possibles de l'exemple considéré dans cette section, avec deux risques R1 et R2 et deux stratégies locales, une pour chaque risque.

Scénario	Inaction	Stratégie locale 1 pour mitiger R1	Stratégie locale 1 pour mitiger R2	Stratégie locale 1 pour mitiger R1 Stratégie locale 1 pour mitiger R2
<b>Aucun Risque</b>	Proba = 89.1%	Proba = 89.1%	Proba = 89.1%	Proba = 89.1%
	Coût total = 80	Coût total = 80	Coût total = 85	Coût total = 85
	Durée totale = 58	Durée totale = 58	Durée totale = 63	Durée totale = 63
<b>Risque R1</b>	Proba = 9.9%	Proba = 9.9%	Proba = 9.9%	Proba = 9.9%
	Coût total = 80	Coût total = 82	Coût total = 85	Coût total = 87
	Durée totale = 73	Durée totale = 58	Durée totale = 78	Durée totale = 63
<b>Risque R2</b>	Proba = 0.9%	Proba = 0.9%	Proba = 0.9%	Proba = 0.9%
	Coût total = 120	Coût total = 120	Coût total = 93	Coût total = 93
	Durée totale = 88	Durée totale = 88	Durée totale = 69	Durée totale = 69
<b>Risques R1 et R2</b>	Proba = 0.1%	Proba = 0.1%	Proba = 0.1%	Proba = 0.1%
	Coût total = 120	Coût total = 122	Coût total = 93	Coût total = 95
	Durée totale = 103	Durée totale = 88	Durée totale = 84	Durée totale = 69

Tableau 3.1. Probabilité, coût total et durée totale pour chaque scénario

Dans le tableau 3.1, nous avons calculé la probabilité, le coût total et la durée totale pour chaque scénario (douze scénarios au total). Les combinaisons sont basées sur l'occurrence des risques (Aucun risque, seul R1 survient, seul R2 survient, R1 et R2 surviennent) et le choix de mitigation des risques (Inaction, seule la stratégie locale curative est mise en œuvre pour mitiger R1, seule la stratégie locale préventive est mise en œuvre pour mitiger R2, les deux stratégies locales sont mises en œuvre).

### 3.1.2. Premier modèle de capitalisation des connaissances nécessaires à l'ingénierie des risques

L'ensemble des éléments présentés en section 3.1.1, nous conduit à proposer un premier modèle permettant la formalisation et la capitalisation d'un premier niveau de connaissance nécessaire à l'ingénierie des risques dans une base de connaissances dédiée. Ce modèle est représenté sous la forme d'un diagramme de classes UML, présenté en figure 3.8. (Ayachi et al. 2018).

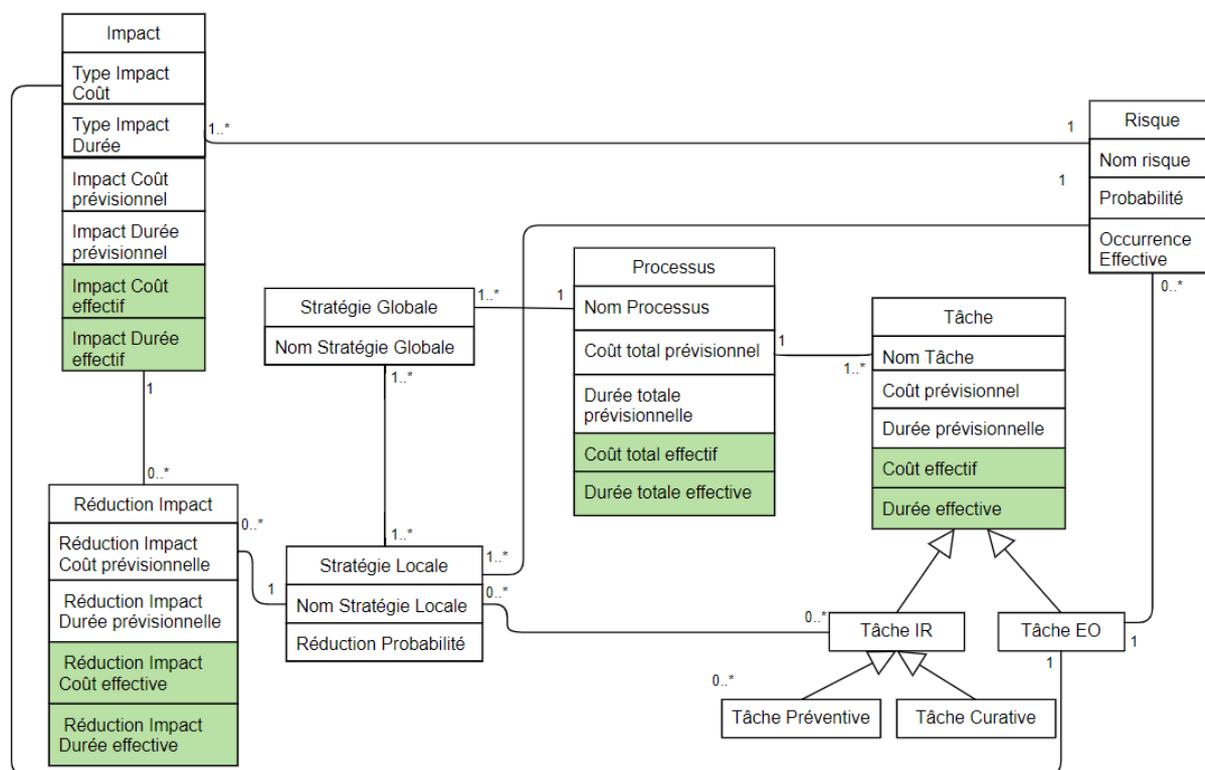


Figure 3.8 Premier modèle de connaissance risque (modèle UML)

À chaque élément nécessaire à l'ingénierie des risques (processus, tâche, risque, impact, stratégie, actions, réduction d'impact), nous avons associé une classe dans le modèle de connaissance proposé. Chacune est détaillée dans la section 3.1.2.1. Seuls les attributs et les associations des classes sont présentés dans le diagramme UML. Notons ici, que les attributs sont des singletons au sens mathématique, ils ne contiennent qu'une seule et unique valeur.

#### 3.1.2.1. Définition des classes du modèle

Notons que chaque classe du modèle est décrite par un identifiant unique de type entier (noté Id), correspondant à l'instance de la classe associée. Pour une simplification du modèle les Id de chaque classe n'apparaissent pas dans le modèle UML illustré dans la figure 3.8.

##### Classe *Processus*

Tel que défini en section 3.1.1, un processus de réalisation est caractérisé par plusieurs métriques qui sont théoriques en phase de préparation de l'offre, et réelles en phase de réalisation. La classe *Processus* est donc décrite par les attributs suivants : un nom de type texte, une liste de métriques de valeurs prévisionnelles (coût prévisionnel de type réel et durée

prévisionnelle de type réel) et une liste de métriques de valeurs effectives (coût effectif de type réel et durée effective de type réel).

#### Classe *Tâche* et ses classes filles (*Tâche EO*, *Tâche IR*, *Tâche Préventive*, *Tâche curative*)

De même que pour la classe *Processus*, des valeurs prévisionnelles et des valeurs effectives pour les métriques sont associées à la classe *Tâche*.

Nous avons défini en section 3.1.1 des tâches planifiées en phase d'élaboration d'offre (EO) et d'autres planifiées en phase d'ingénierie des risques (IR) pour la mitigation des risques. Pour ceci, nous définissons une classe *Tâche* qui est une classe abstraite (classe qui ne peut pas être instanciée). La classe *Tâche* est donc décrite par les attributs suivants : un nom de tâche de type texte, une liste de métriques de valeurs prévisionnelles (coût prévisionnel de type réel et durée prévisionnelle de type réel) et une liste de métriques de valeurs effectives (coût effectif de type réel et durée effective de type réel). Les antériorités entre tâches (EO et IR) sont définies sur cette classe *Tâche* mais non représentées sur la figure 3.8.

Chaque processus est unique et se compose de plusieurs tâches planifiées lors de la phase de l'élaboration de l'offre. Une classe *Tâche EO* est donc définie en spécialisant la classe *Tâche* et en héritant de tous ses attributs.

Pour mitiger les risques, des tâches peuvent être définies lors de l'ingénierie des risques. Nous avons donc défini une classe *Tâche IR* qui hérite de tous les attributs de la classe parente *Tâche*. Une tâche d'ingénierie des risques peut être une tâche préventive ou une tâche curative, nous avons donc défini deux classes *Tâche Préventive* et *Tâche Curative* qui héritent de la classe *Tâche IR*.

#### Classe *Risque*

Un risque, dans notre travail, est caractérisé par une probabilité d'occurrence. Nous avons donc défini une classe *Risque* décrite par un nom de type texte, une probabilité de type réel ainsi qu'une valeur booléenne qui décrira l'occurrence effective du risque si l'offre est réalisée.

#### Classe *Impact*

Chaque risque entraîne des impacts sur une ou plusieurs tâches en modifiant leurs métriques. Comme pour les métriques des tâches et celles du processus, les impacts peuvent être de valeur prévisionnelle (avant la réalisation de l'offre) ou de valeur effective (après la réalisation de l'offre).

Nous avons donc défini une classe *Impact* décrite par les attributs suivants : une valeur prévisionnelle d'impact sur la métrique coût de type réel, une valeur prévisionnelle d'impact sur la métrique durée de type réel, une valeur effective d'impact sur la métrique coût de type réel, une valeur effective d'impact sur la métrique durée de type réel ainsi qu'un type d'impact sur le coût de type texte et un type d'impact sur la durée de type texte afin de définir la méthode de calcul de l'impact. Dans notre travail, le type d'impact peut être additionnel (une valeur d'impact est rajoutée à la métrique de la tâche impactée) ou multiplicatif (la valeur d'impact est multipliée par la métrique de la tâche impactée).

### Classe *Stratégie Locale*

Tel que défini en section 3.1.1, un risque peut être mitigé par une ou plusieurs stratégies locales. Une stratégie locale peut se composer d'une ou de plusieurs tâches curatives et/ou préventives voire d'aucune tâche IR. Pour ce dernier cas, une stratégie locale appelée « Inaction » est définie.

Nous avons donc défini une classe *Stratégie Locale* décrite par un nom de type texte et une réduction de probabilité de type réel. Une stratégie locale peut réduire la probabilité d'un risque grâce aux tâches préventives qu'elle pourrait regrouper. Une stratégie locale curative (ne contenant aucune tâche préventive) ne permet pas de réduire la probabilité du risque.

### Classe *Réduction Impact*

Une stratégie locale est mise en place pour mitiger un risque. Pour ceci, nous avons défini une classe *Réduction Impact* décrite par les attributs suivants : une valeur prévisionnelle de la réduction de l'impact sur le coût de type réel, une valeur prévisionnelle de la réduction de l'impact sur la durée de type réel, une valeur effective de la réduction de l'impact sur le coût de type réel, une valeur effective de la réduction de l'impact sur la durée de type réel et un type de réduction d'impact de type texte.

Les experts risques évoquant plus facilement une réduction d'impact en pourcentage, nous avons choisi de travailler avec un type multiplicatif de réduction d'impact. Les valeurs des impacts sont multipliées par les valeurs des réductions d'impacts associées, comprises entre [0, 1].

### Classe *Stratégie Globale*

Une ou plusieurs stratégies locales peuvent être associées à chaque risque, cela conduit à une large possibilité de choix. Une stratégie globale est donc définie par une combinaison de stratégies locales (une stratégie locale par risque). Pour ceci, nous avons défini une classe *Stratégie Globale* décrite par un nom de type texte.

#### **3.1.2.2. Définition des relations entre les classes du modèle UML**

Les classes du modèle UML de connaissances pour l'ingénierie des risques sont majoritairement liées par des relations d'association. Seule une relation d'héritage existe entre la classe abstraite *Tâche* et ses classes filles *Tâches EO*, *Tâche IR*, *Action Curative* et *Action Préventive*.

Un processus regroupe une ou plusieurs tâches et une tâche appartient à un seul processus. Une relation « 1 – 1 à plusieurs » est alors définie entre les entités *Tâche* et *Processus*.

Un risque n'apparaît que sur une seule tâche de type EO. Tel que défini en section 3.1.1, la tâche EO durant laquelle le risque apparaît, est appelée tâche source du risque indépendamment qu'elle soit l'origine ou la cause du risque ou non. Une même tâche EO peut être la tâche source de plusieurs risques. Une relation « 1 – 0 à plusieurs » est alors définie entre les classes *Risque* et *Tâche EO*.

Un risque peut avoir un ou plusieurs impacts. Un impact est associé à un seul risque. Une relation « 1 – 1 à plusieurs » est alors définie entre les classes *Risque* et *Impact*.

Un impact modifie la ou les métriques d'une seule tâche EO (tâche impactée) et une tâche EO peut être cible de plusieurs impacts de différents risques (tâche cible). Une relation « 1 – 0 à plusieurs » est donc définie entre les classes *Impact* et *Tâche EO*.

Une stratégie locale traite un seul risque et un risque peut être traité par plusieurs stratégies locales en plus de la stratégie par défaut « Inaction ». Une relation « 1 – 1 à plusieurs » est alors définie entre les classes *Stratégie Locale* et *Risque*.

Une stratégie locale regroupe plusieurs actions préventives/curatives ou aucune action de mitigation si elle est une stratégie locale « Inaction ». Une action préventive ou curative (qui hérite de la classe *Tâche IR*) peut faire partie de plusieurs stratégies locales. Une relation « 1 à plusieurs – 0 à plusieurs » est alors définie entre les classes *Stratégie Locale* et *Tâche IR*.

Une stratégie locale peut réduire un ou plusieurs impacts d'un même risque. Une réduction d'impact est associée à une seule stratégie locale et à un seul impact. Une relation « 1 – 1 à plusieurs » est alors définie entre les classes *Stratégie Locale* et *Réduction Impact*.

Une seule stratégie locale par risque sera choisie à la fin du processus de l'ingénierie des risques. Ceci engendre plusieurs combinaisons possibles (une stratégie locale pour un risque). Une combinaison est décrite par une stratégie globale dans notre travail. Une stratégie globale peut regrouper plusieurs stratégies locales. Une stratégie locale peut faire partie de plusieurs stratégies globales. Une relation « 1 à plusieurs – 0 à plusieurs » est alors définie entre les classes *Stratégie Locale* et *Stratégie globale*.

### **3.1.2.3. Discussion du premier modèle UML proposé**

Le modèle proposé dans cette section sous forme de diagramme de classes UML (figure 3.8) est, à notre connaissance, le premier modèle permettant de formaliser et de capitaliser les connaissances liées à l'ingénierie des risques lors de la réponse à appel d'offres.

#### Intérêts de ce modèle

Ce modèle présente deux intérêts contribuant à des processus de réponse à appel d'offres de meilleure qualité.

En effet, il a permis de comprendre et d'explicitier les mécanismes liés aux tâches, aux risques, à leurs impacts ainsi qu'à leurs mitigations par la mise en œuvre de stratégies locales de traitement. Ceci est illustré par les classes du modèle UML, leurs attributs et les relations entre elles. Ce premier modèle permet de définir une structure claire et organisée de la base de données dans laquelle seront stockées et capitalisées les informations liées à l'ingénierie des risques.

En conséquence, ce premier modèle implanté sur un système de gestion de base de données (SGBD) permet de capitaliser toutes les informations prévisionnelles et effectives issues de la réalisation de multiples processus d'ingénierie des risques. Un utilisateur connaissant bien le processus, les tâches et les risques décrits pourra alors s'y référer à l'aide de requêtes pour

identifier des suggestions pour les risques, impacts et traitement de risque. Par exemple, en saisissant un nom de tâche EO il pourra identifier des risques potentiels et en saisissant un risque il pourra de même identifier des impacts ou des stratégies locales.

#### Limites de ce modèle

Ce modèle comporte cinq limites fortes en ce qui concerne son exploitation en assistance à l'ingénierie des risques.

La première limite est que le premier modèle proposé ne permet pas de formaliser le contexte dans lequel le processus de réalisation est exécuté. Il n'est pas possible de prendre en compte par exemple le type de marché, l'importance du client, qui peuvent avoir une importance forte sur les risques encourus et leur stratégie de mitigation. Il est très probable que les stratégies de mitigation des risques seront plus abouties si le client est stratégique ou si le système objet de l'offre est très coûteux. La seule prise en compte du processus d'élaboration d'offre est donc insuffisante pour aider une ingénierie des risques performante. Ceci est d'ailleurs confirmé par cette notion de contexte qui est bien présente dans l'ISO 31000.

La seconde limite est liée à la nature uniquement descriptive des informations capitalisées suivant le modèle proposé dans le système de gestion de base de données. En effet, le modèle proposé ne fait apparaître aucun typage des entités manipulées. C'est-à-dire que les recherches évoquées en section précédente (section 3.1.2.2) ne peuvent s'effectuer que sur le nom exact des entités stockées (sur une tâche, sur un risque bien précis...) et en aucun cas sur un type d'élément. Par exemple, trois processus, ayant chacun une tâche d'approvisionnement avec un nom différent, ne pourront pas être identifiés et comparés avec une unique requête. En conséquence, un typage ou la définition d'un niveau d'abstraction pour les entités clés de l'ingénierie des risques est nécessaire.

La troisième limite est liée au caractère très contextualisé des informations capitalisées. Ce modèle permet juste de stocker le résultat d'une ingénierie des risques passée que l'on dénomme le plus souvent expérience, il ne peut en aucun stocker de la connaissance moins contextualisée ou plus générale. Par exemple, un risque de type retard de livraison pourrait être associé à une tâche de type approvisionnement. Il est en conséquence indispensable que le modèle proposé puisse stocker et permettre l'exploitation de connaissance plus ou moins contextuelle.

Dernières limites, les informations capitalisées par ce modèle peuvent être contradictoires et aucune méthode de vérification de connaissances ne peut être mise en œuvre à travers ce modèle. Ceci peut engendrer des difficultés d'apprentissage et de généralisation de connaissances. Enfin, ce premier modèle ne permet pas la formalisation de l'incertitude. Toutes les métriques de valeurs prévisionnelles définies lors du montage du projet sont sous forme de valeurs fixes. Or, ceci ne permet pas de prendre en compte l'incertitude en phase de préparation de l'offre.

#### **3.1.2.4. Conclusion sur le premier modèle de connaissance risque pour l'IR proposé**

Les constats précédents montrent clairement que ce modèle est insuffisant pour permettre une ingénierie des risques performante. En conséquence, les sections suivantes sont consacrées à l'élaboration de compléments de modélisation permettant de répondre aux lacunes identifiées.

La section 3.2 proposera la prise en compte des incertitudes en utilisant des intervalles. Elle proposera aussi (i) des éléments permettant de décrire le contexte dans lequel l'offre se réalisera si le client accepte la réponse qui lui a été soumise, (ii) des éléments permettant l'abstraction de toute connaissance pour l'ingénierie des risques capitalisée (des expériences passées d'ingénierie des risques et des connaissances risques). La section 3.3 sera consacrée aux compléments permettant de stocker et de manipuler de la connaissance plus ou moins contextuelle ou de différents niveaux d'abstraction allant de (i) la connaissance la plus générale de l'expert aux (ii) les expériences passées d'ingénierie des risques les plus contextualisées.

### **3.2. Compléments de modélisation des connaissances pour une ingénierie des risques performante**

Dans cette section, nous proposons donc des éléments de modélisation concernant le contexte de l'offre et une notion de concept permettant l'abstraction et la structuration des connaissances.

Pour la prise en compte des incertitudes sur les valeurs prévisionnelles des métriques définies en phase de préparation de l'offre, nous proposons de travailler avec des intervalles sur les valeurs des métriques au lieu des valeurs fixes.

#### **3.2.1. Eléments de modélisation du contexte de l'offre et de l'ingénierie des risques**

Selon Kamsu Foguem et al. (2008), une expérience est une connaissance valide dans un contexte bien déterminé. Ceci nous conduit à inclure les éléments du contexte de l'offre dans notre modèle afin de permettre la formalisation d'une expérience.

De même, la première étape du processus de gestion des risques proposé par ISO31000 est l'établissement de contexte. Elle consiste à bien définir le contexte dans lequel le projet aura lieu. Dans notre travail, il s'agit de la phase de définition du contexte de l'offre.

Dans les travaux de Guillon et al. (2020), un modèle complet d'offre a été posé. Ce modèle est composé d'un contexte (le contexte dans lequel l'offre est réalisée), d'une solution technique (ce qui est livré au client), d'un processus de réalisation (comment le produit/système est fabriqué et livré) et de métriques. Tous ces composants sont liés. Par exemple, le contexte dans lequel l'offre se déroule a un fort impact sur la façon dont une entreprise conçoit ses offres, tant sur la solution technique que sur le processus de réalisation.

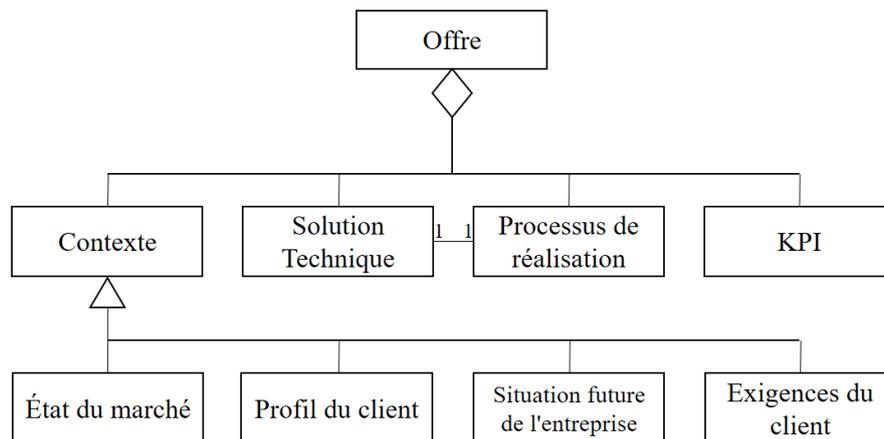


Figure 3.9 Contexte d'une offre commerciale, adapté de (Guillon 2019)

Le modèle décrivant le contexte de l'offre proposé par Guillon 2019 (Figure 3.9), contient quatre éléments de contexte. Chaque élément de contexte permet de spécifier plusieurs informations impactant la réalisation de l'offre et donc la prise en compte des risques :

- état du marché : il s'agit de l'état courant du marché. Par exemple, l'état du marché peut spécifier s'il y a des concurrents potentiels, s'il s'agit d'une stratégie de pénétration du marché ou d'un marché émergent ou s'il s'agit d'un marché privé ou public,
- profil du client : il s'agit de décrire le client et ses relations avec l'entreprise soumissionnaire. Par exemple, le client peut être un client régulier ou nouveau et il peut aussi être un client stratégique. Le profil du client peut également spécifier si ce dernier a eu des problèmes avec l'entreprise dans le passé,
- situation future de l'entreprise : il s'agit de l'état futur de l'entreprise en cas d'acceptation de l'offre. Cet élément de contexte permet d'avoir des informations sur la capacité de l'entreprise à élaborer et à livrer la solution technique dans de bonnes conditions. Par exemple, il peut s'agir d'informations sur le statut du carnet de commandes si l'offre est acceptée par le client, ou aussi des informations sur la disponibilité des ressources humaines et matérielles au jour j,
- exigences du client : Dans (Guillon et al. 2019), les exigences ou les spécifications du client doivent être soigneusement analysées pour personnaliser la solution qui convient le mieux aux parties prenantes. Les exigences des clients sont considérées comme non négociables et doivent être comprises de manière appropriée. Les exigences du client peuvent impacter la solution technique en spécifiant un composant bien déterminé par exemple. Le client peut également imposer des limites de coût et de délai de livraison pour une offre.

Nous retenons donc que l'ingénierie des risques peut être impactée :

- par les choix effectués pour le processus de réalisation,
- par les choix réalisés pour la solution technique,
- et par toute caractéristique décrivant le contexte de l'offre.

Il est donc indispensable de prendre en considération les éléments clés du contexte de l'offre impactant les risques pouvant survenir sur le processus, leurs impacts et les possibilités de mitigation. Nous retenons la typologie de (Guillon 2019) : (i) état du marché, (ii) profil client, (iii) situation entreprise et (iv) exigence client, pour structurer nos informations contextuelles. Nous la complétons avec les éléments clés (v) liés à la solution technique et (vi) le processus de réalisation.

Nous proposons donc de rajouter une classe *Attribut Contexte IR* au modèle UML. Cette classe permet de définir tous les éléments de contexte impactant l'ingénierie des risques. Elle comprend le nom de l'attribut du contexte permettant de décrire ce dernier ainsi qu'une valeur qui peut être numérique ou sous forme de texte selon l'attribut de contexte associé.

### **3.2.2. Eléments de modélisation des concepts abstraits**

Dans la section 3.1.2.3, nous avons expliqué le besoin d'une forme d'abstraction qui permettra de raisonner à l'aide d'outils adaptés comme le raisonnement à partir de cas ou les techniques de retour d'expérience (Kamsu Foguem et al. 2008). Ce besoin vient en effet du fait que notre objectif est d'aider la personne en charge de l'ingénierie des risques. Ci-dessous, nous définissons la notion de concept et nous proposons ensuite des taxonomies de concepts qui permettront une exploitation performante des connaissances.

#### **3.2.2.1. Notion de concept**

Un concept est utilisé pour typer les éléments d'ingénierie des risques ainsi que les éléments de l'offre impactant l'ingénierie des risques. Il permet d'associer une forme d'abstraction aux connaissances et expériences formalisées et capitalisées grâce au modèle proposé dans nos travaux de thèse et par la suite faciliter leur réutilisation.

Nous proposons donc d'associer un concept aux éléments clés caractérisant l'offre et l'ingénierie des risques. Rappelons que les éléments nécessaires à l'ingénierie des risques identifiés sont :

- le processus de réalisation et les tâches que ce dernier regroupe,
- les risques et leurs impacts,
- les stratégies locales mitigeant les risques, les actions préventives et curatives qui les composent ainsi que les réductions d'impacts produites par ces stratégies locales,
- les stratégies globales créées à partir des combinaisons possibles des stratégies locales,
- les attributs de contexte identifiés dans la section 3.2.1.

Pour chacun des éléments cités ci-dessus, nous avons défini une classe pour construire notre modèle UML de connaissance pour l'ingénierie des risques. Le premier modèle est alors mis à jour en rajoutant un champ « Concept » à chacune des classes. Ce concept est spécialisé selon la classe et l'ensemble des concepts possibles et est capitalisé sous la forme d'une taxonomie.

#### **3.2.2.2. Concepts de risque et proposition des taxonomies pour l'IR**

Afin de pouvoir détailler ou raffiner le niveau de connaissance associé aux concepts, nous proposons de compléter le modèle UML par une taxonomie de concepts (Fig. 3.10). Une taxonomie de concepts permet de hiérarchiser ces derniers. Les concepts de bas niveau héritent

des caractéristiques des concepts de plus haut niveau (Coudert 2014). Dans une taxonomie, les relations entre les concepts sont des relations de spécialisation/généralisation. Plus un concept est proche de la racine, plus il est général, plus il s'en éloigne, plus il est spécialisé (Coudert 2014). La taxonomie de concepts complète le modèle de connaissance en précisant le domaine des attributs des concepts.

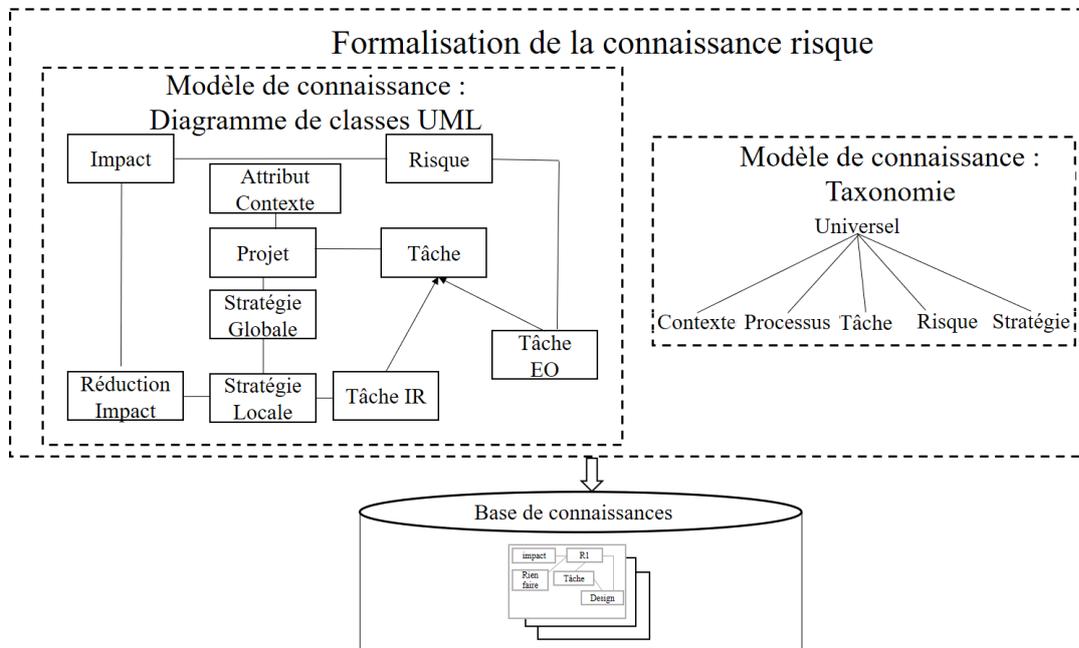


Figure 3.10 Modèle UML complété par une taxonomie pour la capitalisation des connaissances

Nous proposons dans cette section, une taxonomie de concepts générale qui peut être spécialisée et enrichie en fonction des spécifications et besoins de chaque entreprise. Le premier niveau de la taxonomie proposée est composé de sept concepts généraux qui sont : Contexte IR, Processus, Tâche, Risque, Impact, Stratégie de mitigation et Réduction Impact (Figure 3.11).

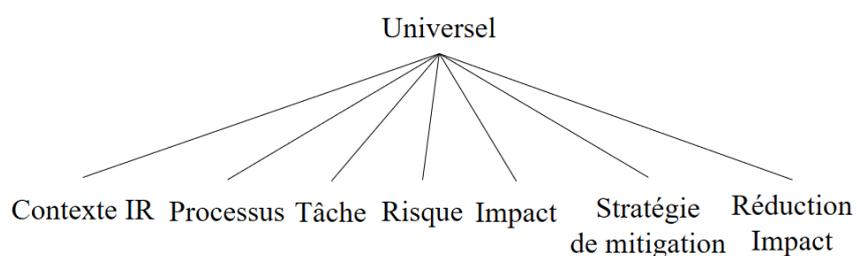


Figure 3.11 Taxonomie proposée pour la formalisation de la connaissance risque

La spécialisation de chaque concept dépend du domaine et du contexte de travail de chaque entreprise. Cependant, dans le but d'aider les entreprises à construire leur propre taxonomie, nous proposons une spécialisation de certains concepts. Pour cela, nous nous sommes basés sur les travaux de Guillon 2019, sur l'approche 5M d'Ishikawa (Ishikawa et al. 1990) ainsi que sur des résultats d'échange avec les partenaires industriels du projet ANR OPERA.

Tous les concepts proposés peuvent être spécialisés par une entreprise qui met en œuvre nos propositions.

a) Taxonomie de concepts relative au Contexte IR

Pour définir le contexte d'une offre, nous regroupons dans le concept Contexte IR, les cinq concepts suivants (Figure 3.12) :

- le concept *Client* : ce concept est associé à chaque attribut de contexte décrivant le client. Nous proposons de spécialiser le concept *Client* selon trois concepts, « *Client nouveau* », « *Client stratégique* » et « *Client récurrent* »,
- le concept *Affaire* : ce concept est associé à chaque attribut de contexte décrivant l'affaire. Nous proposons de spécialiser le concept *Affaire* selon deux concepts, « *Public* » et « *Privé* »,
- le concept *Environnement Interne* : ce concept est associé à chaque attribut de contexte décrivant l'entreprise soumissionnaire. Nous proposons de spécialiser le concept *Environnement Interne* selon deux concepts, « *Structure/Organisation* » et « *Compétences/Environnement technologique* »,
- le concept *Environnement Externe* : ce concept est associé à chaque attribut de contexte externe à l'entreprise et pouvant influencer la réalisation du projet (le contexte décrivant le client n'est pas pris en compte par ce concept). Nous proposons de spécialiser le concept *Environnement Externe* selon quatre concepts adaptés de O'Shaughnessy 1992, « *Climat/Air/Pollution* », « *Fournisseurs/Concurrents* », « *Climat politique/Contexte légal* » et « *Conjoncture économique/Valeurs sociales* »,
- le concept *Solution Technique* : ce concept regroupe tous les attributs de la solution technique qui ont un impact sur l'ingénierie des risques. Par exemple, la complexité d'une machine ou d'un composant de celle-ci peut générer un risque de conception plus difficile que prévue.

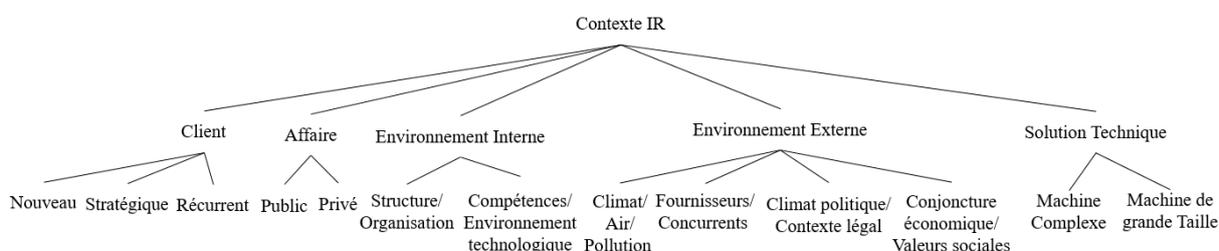


Figure 3.12 Proposition de spécialisation du concept Contexte IR

b) Taxonomie de concepts relative au Processus

Pour le concept *Processus*, nous ne proposons pas de spécialisation car ceci change d'une entreprise à l'autre. En effet, la spécialisation du concept *Processus* dépend du type des activités adoptées par chaque entreprise. Par exemple, une entreprise peut spécialiser le concept *Processus* selon deux concepts, « *Mécanique* » et « *Electronique* » pour faire référence au type du projet associé.

c) Taxonomie de concepts relative aux Tâches

Nous proposons de spécialiser le concept Tâche selon deux concepts (Figure 3.13) :

- *Tâche EO* : chaque tâche du processus de réalisation peut être associée au concept *Tâche EO* (*EO* : *Elaboration d'Offre*),
- *Tâche IR* : chaque action préventive ou curative peut être associée au concept *Tâche IR* (*IR* : *Ingénierie des Risques*).

Nous proposons ensuite de spécialiser le concept *Tâche EO* en cinq concepts déduits des besoins des entreprises du projet OPERA (Figure 3.13). Ces concepts sont considérés comme suffisamment répandus dans les entreprises pour apparaître de manière systématique dans la taxonomie. Il s'agit des concepts *Conception*, *Approvisionnement*, *Fabrication*, *Assemblage/Test* et *Livraison/Installation*. La spécialisation du concept *Tâche IR* est proposée ci-dessous en section (e).

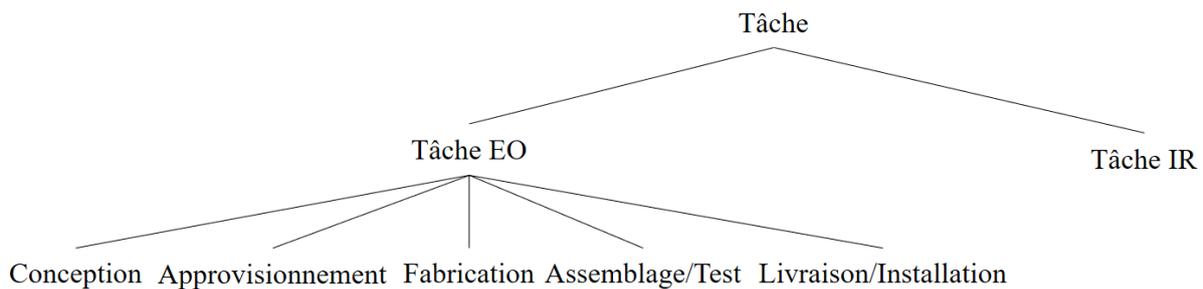


Figure 3.13 Proposition de spécialisation du concept Tâche

#### d) Taxonomie de concepts relative aux Risques

Rappelons que (voir section 1.1.2.2) nos travaux concernent la réponse à appel d'offres en adoptant le point de vue du fournisseur, en situation ETO. C'est-à-dire qu'il n'y a pas de conception complète détaillée de la solution technique et de son processus de réalisation. Certains choix sont donc à peine documentés d'où la prise de risque. En conséquence, il est intéressant de dissocier les risques liés à cette situation ETO des risques indépendants de cette situation. Par exemple, un risque de type *retard fournisseur* peut survenir dans une situation ETO ou dans une situation non-ETO, tandis qu'un risque de type *ressource d'assemblage inadéquate* qui résulte d'un choix erroné de ressource avec un manque de documentation, est lié à une situation ETO.

Nous proposons donc de spécialiser le concept *Risque*, en premier lieu, selon deux concepts représentant les deux situations décrites ci-dessus :

- *Risque non spécifique à l'ETO* : chaque risque identifié peut être de concept *Risque non spécifique à l'ETO* et s'associer à une tâche du processus de réalisation,
- *Risque spécifique à l'ETO* : chaque risque identifié peut être de concept *Risque spécifique à l'ETO* et s'associer à une tâche du processus de réalisation.

Également, nous proposons d'affiner la taxonomie de ces risques suivant les cinq M de l'approche d'Ishikawa (Ishikawa et al. 1990) pour la spécialisation du concept Risque. Les définitions des cinq M pour représenter les risques sont les suivantes :

- *Main d'œuvre* : représente tous les risques liés aux ressources humaines, aux qualifications et à la santé du personnel,

- Machine : représente tous les risques liés aux ressources techniques (équipements de fabrication, machines, outillages, pièces de rechange, etc.),
- Matières : représente tous les risques liés aux entrées des tâches à réaliser dont nous citons, les différents consommables utilisés, les matières premières et les composants,
- Méthode : représente tous les risques liés à la façon de procéder pour réaliser les tâches et aux documents nécessaires lors de la réalisation de l'offre (par exemple les flux d'information ainsi que les organisations et la mise à disposition des informations),
- Milieu : représente tous les risques liés à l'environnement interne ou externe comme le poste de travail, les éléments environnants autour du poste (par exemple la température et les poussières), l'organisation physique, le climat, la situation économique, le marché etc.

Des risques peuvent être associés à chacun de ces cinq M aussi bien en situation d'ingénierie sur commande (ETO) que dans toute situation où les sous-systèmes et/ou composants du système sont configurés à la commande (CTO), assemblés à la commande (ATO) et/ou fabriqués à la commande (MTO). Nous allons maintenant étudier les possibilités d'association de ces 5 M aux risques possibles en situation non spécifique à l'ETO puis en situation spécifique à l'ETO.

#### d.1. Spécialisation du concept *Risque non spécifique à l'ETO*

Nous proposons de spécialiser le concept *Risque non spécifique à l'ETO* selon cinq concepts issus des cinq M décrits ci-dessus de la manière suivante :

- Main d'œuvre devient ressource humaine,
- Machine devient ressource technique,
- Matière est élargie à la notion de consommable,
- Méthode est généralisé à tout ce qui est documentation ou méthode,
- Milieu devient environnement.

Pour les quatre premiers « Ms », nous proposons la spécialisation des risques suivante : (i) Echech/Accident/Panne, (ii) Indisponibilité, (iii) Erreur dans l'élément utilisé qui ne correspond pas à ce qui avait été prévu lors de l'élaboration de l'offre. Le dernier M Milieu a une spécialisation spécifique (Figure 3.14).

Les cinq concepts sont les suivants, en proposant une spécialisation de chacun :

- *Risque lié aux ressources humaines*, ce concept est spécialisé selon trois concepts :
  - Echech/Accident d'une ressource humaine,
  - Indisponibilité d'une ressource humaine,
  - Mauvaise ressource humaine du fait d'une erreur opérationnelle,
- *Risque lié aux ressources techniques*, ce concept est spécialisé selon trois concepts :
  - Echech/Panne de la machine,
  - Indisponibilité de la machine,
  - Mauvaise machine du fait d'une erreur opérationnelle,
- *Risque lié aux consommables*, ce concept est spécialisé selon trois concepts :
  - Consommable cassé,

- Indisponibilité du consommable,
- Mauvais consommable du fait d'une erreur opérationnelle,
- *Risque lié à la documentation ou méthode*, ce concept est spécialisé selon trois concepts :
  - Document détruit,
  - Document indisponible,
  - Mauvais document du fait d'une erreur opérationnelle,
- *Risque lié à l'environnement*, ce concept est spécialisé selon deux concepts :
  - Conditions climatiques défavorables,
  - Surcharge de travail.

La taxonomie de concept *Risque non spécifique à l'ETO* résultante est illustrée dans la figure suivante (Figure 3.14) :

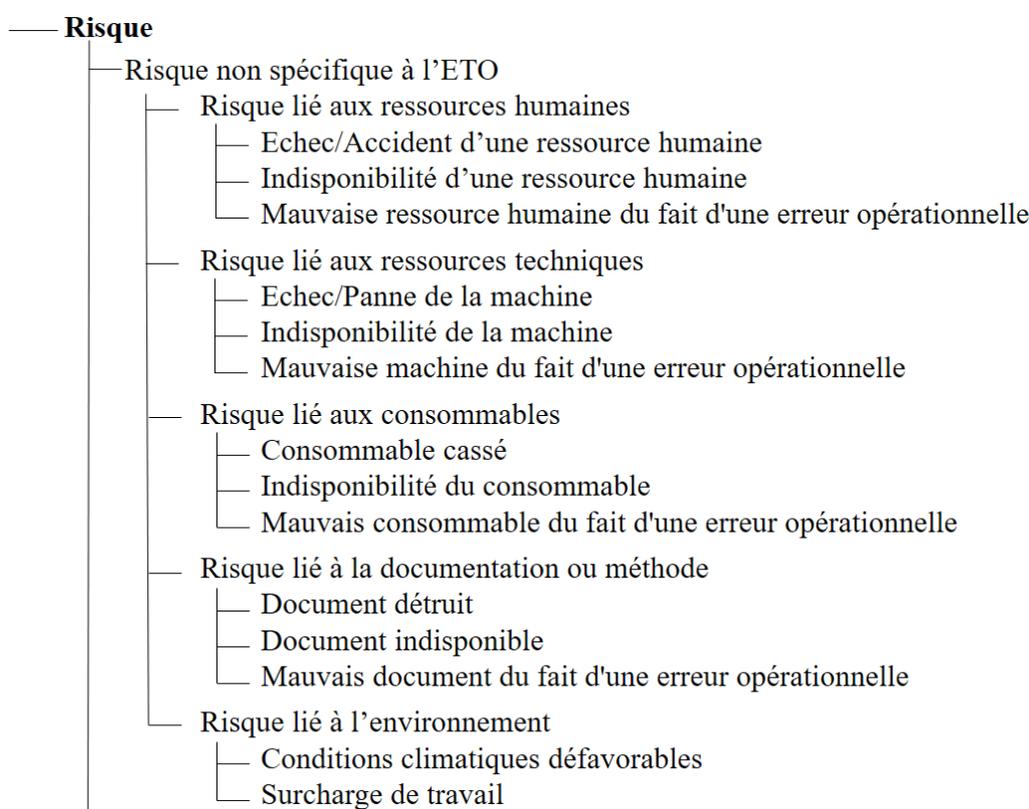


Figure 3.14 Proposition de spécialisation du concept Risque Non spécifique à l'ETO

#### d.2. Spécialisation du concept *Risque spécifique à l'ETO*

Etant en situation ETO « légère » et en conception préliminaire, l'offre n'est pas étudiée en détail. En conséquence, les risques spécifiques à cette situation reposent sur de mauvaises décisions de conception prise lors de l'élaboration de l'offre concernant la définition de la solution technique ou du processus de réalisation.

Concernant les risques associés au processus de réalisation, comme pour la situation précédente, nous proposons de spécialiser le concept *Risques spécifiques à l'ETO* selon cinq concepts correspondants aux cinq M. Pour les quatre premiers M, nous proposons que le risque associé puisse se spécialiser, d'une part suivant la capacité de la ressource à remplir la tâche :

(1-i) risque d'inadéquation de la ressource (par exemple mauvaise compétence de l'opérateur pour la tâche), (1-ii) risque de performance trop faible de la ressource (par exemple machine pas assez précise pour la tâche) et d'autre part suivant sa contribution au respect des métriques d'évaluation de l'offre (coût et délais dans notre cas) : (2-i) Ressource pas assez rapide (dégradation de la métrique délais), (2-ii) ressource trop coûteuse (dégradation de la métrique coût). Nous ne proposons aucune spécialisation pour le concept de risque spécifique à la situation ETO en lien avec le milieu ou environnement.

Concernant les risques associés à la solution technique, nous considérons que le fournisseur sera toujours capable de fournir une solution technique respectant les attentes techniques prévues dans l'offre. Cependant, nous savons qu'en ETO même « légère » il arrive que l'on fasse des erreurs dans les choix de principes de la solution technique. Ces erreurs sont découvertes ou révélées une fois l'offre acceptée, lorsque on initialise le processus de réalisation. Plus précisément, c'est durant la première tâche qui, le plus souvent en situation ETO, est une tâche de concept conception où l'on finalise la solution technique et le processus de réalisation. Cette situation induira des pénalités de retard et des surcoûts que le fournisseur prendra en charge. Pour cela nous proposons d'ajouter un sixième concept de risque clé, que nous appelons, *Finalisation du design de la solution technique plus difficile que prévu*. Ce concept signifie que les principes de solution (concernant la solution technique de l'offre) décidés durant l'élaboration d'offre sont plus difficiles à finaliser que ce qui a été prévu. Cela peut également s'interpréter comme un problème de finalisation de conception surcontraint. L'exemple typique est le « mouton à cinq pattes » vendu et très difficile à réaliser.

Les cinq concepts sont donc les suivants :

- *Risque lié aux ressources humaines*, spécialisé selon quatre concepts :
  - Mauvaise compétence d'une ressource humaine,
  - Ressource humaine pas assez performante,
  - Ressource humaine pas assez rapide,
  - Ressource humaine trop coûteuse,
- *Risque lié aux ressources techniques*, spécialisé selon quatre concepts :
  - Mauvaise aptitude de la ressource technique,
  - Ressource technique pas assez performante,
  - Ressource technique pas assez rapide,
  - Ressource technique trop coûteuse,
- *Risque lié aux consommables*, spécialisé selon quatre concepts :
  - Mauvaise aptitude du consommable,
  - Consommable pas assez performant,
  - Consommable pas assez rapide,
  - Consommable trop coûteux,
- *Risque lié à la documentation ou méthode*, spécialisé selon quatre concepts :
  - Mauvaise méthode pour réaliser la tâche,
  - Méthode pour réaliser la tâche pas assez performant,
  - Méthode pour réaliser la tâche pas assez rapide,
  - Méthode pour réaliser la tâche trop coûteuse,

- *Finalisation du design de la solution technique plus difficile que prévu.*

La taxonomie de concept *Risque spécifique à l'ETO* résultante est illustrée dans la figure 3.15 :

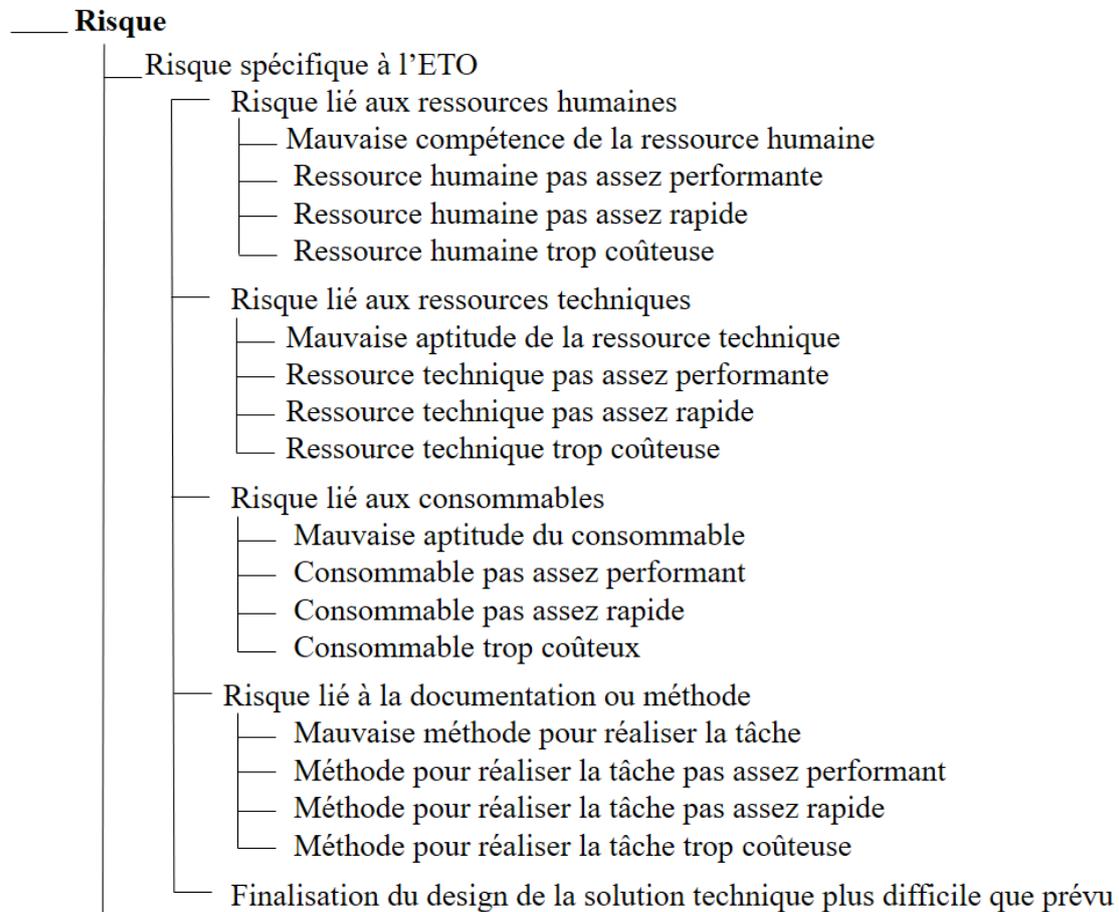


Figure 3.15 Proposition de spécialisation du concept Risque spécifique à l'ETO

La taxonomie de risque proposée (Figures 3.14 et 3.15) offre un large choix de concepts de risque structurés suivant les deux situations ETO et non ETO ainsi que sur les 5 M de l'approche d'Ishikawa. Ces concepts sont importants afin d'aboutir à une réutilisation efficace des connaissances et expériences capitalisées pour assister au mieux la personne en charge de l'ingénierie des risques en termes d'identification des risques et de leurs impacts. Néanmoins, cette taxonomie doit être considérée comme une base sur laquelle l'entreprise peut fonder sa propre taxonomie de risque et rajouter ou affiner des concepts selon son secteur et ses spécifications.

e) Tâche IR

Nous avons proposé en section 3.1.1.5, la mitigation des risques par le biais de tâches IR. Les tâches IR sont des actions préventives (afin d'éviter un risque qui n'est pas encore apparu) ou des actions curatives (afin d'éliminer ou de réduire les impacts d'un risque qui est déjà apparu).

Nous proposons de spécialiser le concept Tâche IR de manière à proposer une forme de réponse ou d'action à la taxonomie Risque. La taxonomie Tâche IR présentera une structure issue de la taxonomie Risque. C'est-à-dire, à chaque sous-concept risque où un traitement est possible, nous proposons une tâche IR (préventive et/ou curative) qui contribuera à la mitigation de ce

risque. Nous organisons donc ces tâches IR suivant les risques liés à l'ETO ou pas ainsi que sur les 5 M de l'approche d'Ishikawa.

Les deux premières spécialisations du concept Tâche IR sont :

- *Tâche IR non liée à l'ETO* : ce concept est spécialisé selon deux concepts :
  - *Tâche Préventive*
  - *Tâche Curative*
- *Tâche IR liée à l'ETO* : ce concept est spécialisé selon deux concepts :
  - *Tâche Préventive*
  - *Tâche Curative*

e.1. Spécialisation du concept *Tâche IR non liée à l'ETO*

En suivant la spécialisation du concept Risque (section 3.2.2.2 d.1), nous rappelons que les risques étaient spécialisés suivant les 5M et trois concepts de risques : (i) Echech/Accident/Panne, (ii) Indisponibilité, (iii) Erreur dans l'élément utilisé qui ne correspond pas à ce qui avait été prévu lors de l'élaboration de l'offre. Nous proposons dans le tableau suivant (Tableau 3.2) pour chaque combinaison, une spécialisation du concept Tâche Préventive.

5 M / Concept risques possibles	Echech/Accident/Panne	Indisponibilité	Erreur
Risque lié aux ressources humaines	Action de formation ou sensibilisation aux accidents et à la santé.	*Action GRH : Action de gestion des ressources humaines.	*Action GRH
Risque lié aux ressources techniques	Action de maintenance préventive des ressources techniques.	**Action GRT : Action de gestion des ressources techniques.	**Action GRT
Risque lié aux consommables	Action de vérification et contrôle à la réception.	***Action GT : Action de gestion de stock consommable.	***Action GT
Risque lié à la documentation ou à la méthode	Action de vérification les conditions de préservation des documents pour éviter leur destruction.	Action d'amélioration de la gestion de la documentation.	Action d'amélioration de la Gestion de la documentation.
Risque lié à l'environnement	Préparation à la gestion de crise climatique, sociale ou autres.	<i>Non applicable.</i>	<i>Non applicable.</i>

Tableau 3.2 Proposition de concept de tâches préventives pour mitiger les risques non liés à l'ETO

\* Pour prévenir l'indisponibilité ou l'erreur au niveau des ressources humaines, une action liée à la gestion des ressources humaines peut être une tâche préventive cruciale. Elle peut être, par rapport au projet concerné, une vérification de la pertinence de la planification des horaires, un recrutement d'une nouvelle ressource humaine nécessaire ou une évaluation des performances des ressources humaines.

\*\* Pour prévenir l'indisponibilité ou l'erreur au niveau des ressources techniques, une action liée à la gestion des ressources techniques peut être une tâche préventive importante. Elle peut être, par rapport au projet concerné, une mesure de l'efficacité des machines ou une prévention liée à la sur-allocation ou la dépendance de l'ensemble des ressources techniques.

\*\*\* Pour prévenir l'indisponibilité ou l'erreur au niveau de la matière stockée, une action liée à la gestion de stock peut être envisagée pour éviter un sous-stockage ou une erreur.

La spécialisation du concept *Tâche Préventive* spécialisé du concept *Tâche IR non liée à l'ETO* donne la taxonomie suivante (Figure 3.16) :

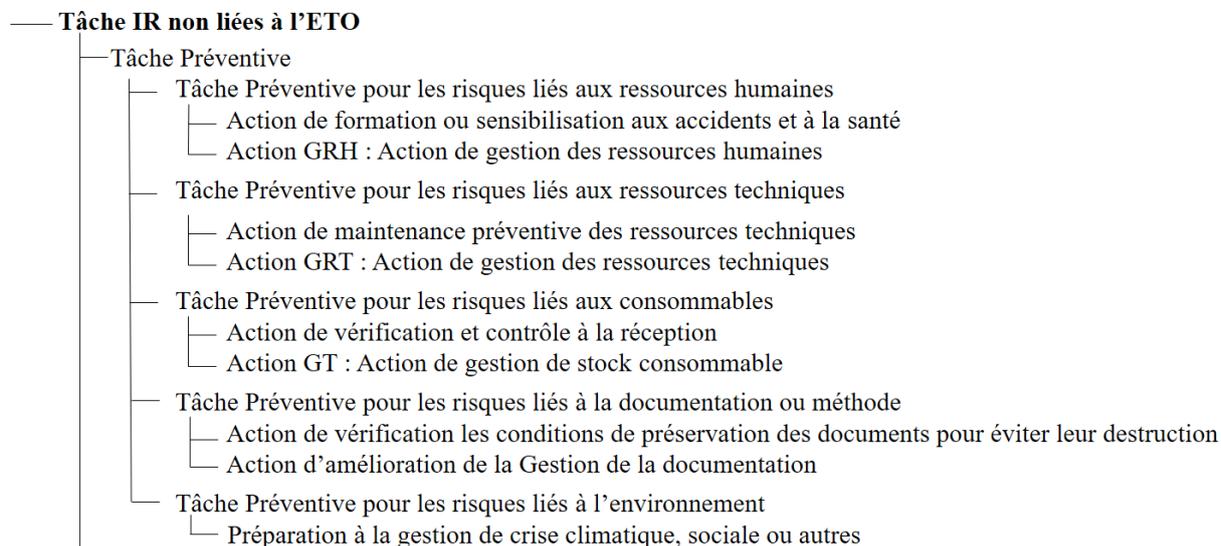


Figure 3.16 Proposition de spécialisation du concept Tâche Préventive pour les tâches IR non liées à l'ETO

De manière similaire il est possible de proposer une spécialisation du concept Tâche Curative lorsque les risques ne sont pas liés à l'ETO. Nous proposons ces concepts de tâche curative dans le tableau suivant (Tableau 3.3).

5 M / Concepts risques possibles	Echec/Accident/ Panne	Indisponibilité	Erreur
<b>Risque lié aux ressources humaines</b>	Prodiguer des soins à la personne et éventuellement la remplacer (voir à droite).	Trouver une autre ressource humaine, recourir aux heures supplémentaires ou à la sous-traitance.	
<b>Risque lié aux ressources techniques</b>	Réparer la machine et éventuellement la remplacer (voir à droite).	Trouver une autre ressource technique, recourir aux heures supplémentaires ou à la sous-traitance.	
<b>Risque lié aux consommables</b>	Réparer le consommable ou le remplacer (voir à droite).	Trouver un autre consommable, recourir à une commande en urgence.	
<b>Risque lié à la documentation ou à la méthode</b>	Editer à nouveau le document détruit.	Recherche urgente de la documentation manquante.	Trouver le document adéquat.
<b>Risque lié à l'environnement</b>	Appliquer le plan de la gestion de crise.	<i>Non applicable.</i>	<i>Non applicable.</i>

Tableau 3.3 Proposition de tâches curatives pour mitiger les risques non liés à l'ETO

La spécialisation du concept *Tâche Curative* spécialisé du concept *Tâche IR non liée à l'ETO* donne la taxonomie suivante (Figure 3.17) :

—Tâche IR non liées à l'ETO

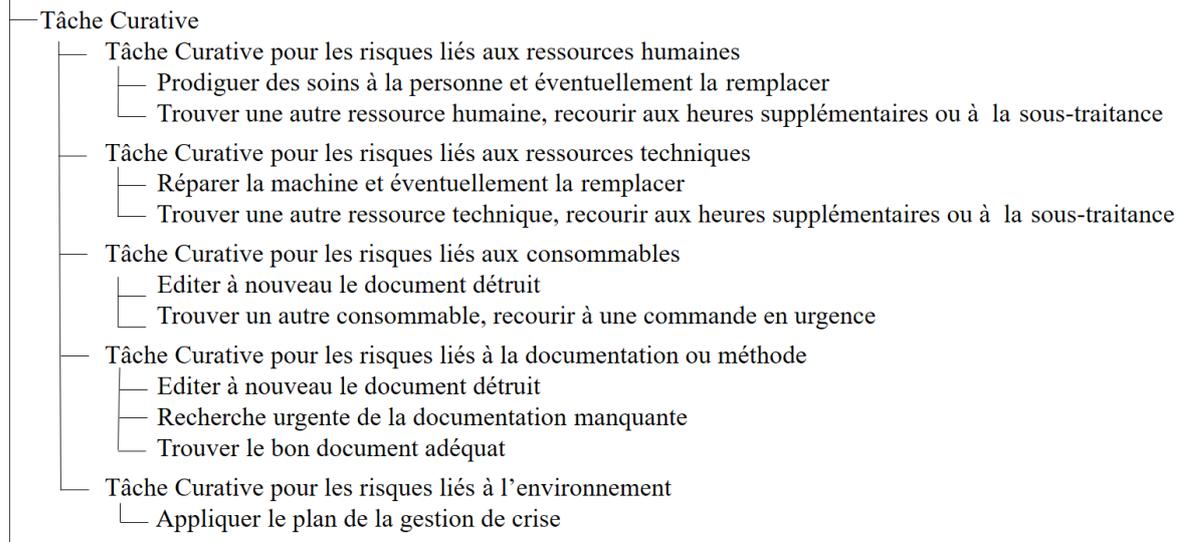


Figure 3.17 Proposition de spécialisation du concept Tâche Curative pour les tâches IR non liées à l'ETO

e.2. Spécialisation du concept Tâche IR liée à l'ETO

Nous envisageons maintenant des concepts d'actions préventives et curatives pour les risques spécifiques à l'ETO. Comme précédemment, nous respectons la spécialisation du concept Risque lié à l'ETO (section 3.2.2.2 d.2), nous rappelons que les risques étaient spécialisés suivant les 5 M et quatre concepts de risques : (i) Inadéquation ressource, (ii) Ressource pas assez performante, (iii) Ressource pas assez rapide et (iv) Ressource trop coûteuse. Nous proposons dans le tableau 3.4 pour chaque combinaison, une spécialisation des concepts Tâche Préventive (P) et Corrective (C). Nous ajoutons une ligne à ce tableau (Tableau 3.4) pour faire apparaître le risque spécifique liée à la conception « Finalisation du design de la solution technique plus difficile que prévu ».

Dans l'ensemble, toutes ces actions consistent en fait à remettre en cause les choix de principes concernant le processus de réalisation initialement prévu lors de l'élaboration de l'offre. Ceci explique l'absence de tâches préventives sauf pour les ressources humaines où il est toujours possible de prévoir une montée en compétence (Tableau 3.4).

En ce qui concerne le risque lié à la conception du système, le type d'action corrective correspond à une modification de la conception en relâchant la contrainte de coût et/ou la contrainte de délais (Tableau 3.4).

5 M / Risques possibles	Inadéquation de la ressource	Performances trop faibles de la ressource	Ressource pas assez rapide (dégradation délais)	Ressource trop coûteuse (dégradation coût)
<b>Risque lié aux ressources humaines</b>	P : Formation.	P : Pas de proposition.	P : Pas de proposition.	P : Pas de proposition.
	C : Recherche de ressources plus adaptées.	C : Recherche de ressources plus performantes.	C : Recherche de ressources plus rapides.	C : Recherche de ressources moins coûteuse.
<b>Risque lié aux ressources techniques</b>	P : Pas de proposition.	P : Pas de proposition	P : Pas de proposition	P : Pas de proposition.
	C : Recherche de ressources plus adaptées.	C : Recherche de ressources plus performantes.	C : Recherche de ressources plus rapides.	C : Recherche de ressources moins coûteuses.
<b>Risque lié aux consommables</b>	P : Pas de proposition.	P : Pas de proposition	<i>Non applicable : un consommable n'impacte pas les délais .</i>	P : Pas de proposition.
	C : Recherche de consommables adaptées.	C : Recherche de consommables performantes.		C : Recherche de consommables moins coûteux.
<b>Risque lié à la documentation ou à la méthode</b>	P : Pas de proposition.	<i>Non applicable.</i>	<i>Non applicable.</i>	<i>Non applicable.</i>
	C : Modification de la documentation et/ou de la méthode.			
<b>Risque de Finalisation du design de la solution technique plus difficile que prévu</b>	P : Pas de proposition.			
	C : Modification de la conception de la solution technique en ne respectant plus les délais et/ou les coûts promis au client.			

Tableau 3.4 Proposition de tâches préventives (P) et curatives (C) pour mitiger les risques liés à l'ETO

La spécialisation du concept *Tâche Curative* et du concept *Tâche Préventive* spécialisés du concept *Tâche IR liée à l'ETO* donne la taxonomie suivante (Figure 3.18).

— **Tâche IR liées à l'ETO**

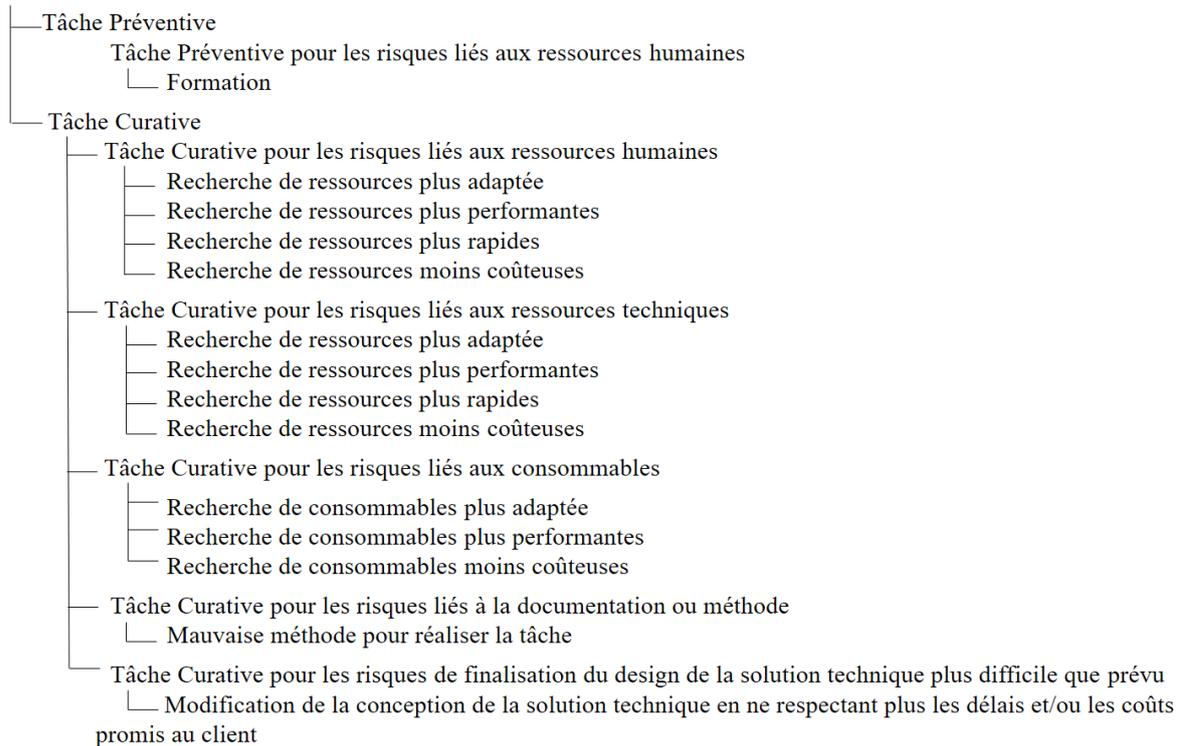


Figure 3.18 Proposition de spécialisation des concepts Tâche Curative et Tâche Préventive pour les tâches IR liées à l'ETO

L'ensemble de toutes ces propositions de type d'actions curatives et préventives ainsi que leur organisation vis-à-vis des risques constitue à notre connaissance une contribution au domaine de l'ingénierie des risques en élaboration d'offre. Comme pour les risques proposés, cette taxonomie de ces actions de mitigation des risques doit être considérée comme une base sur laquelle l'entreprise peut fonder sa propre taxonomie de risque et rajouter ou affiner des concepts selon son secteur et ses spécifications.

f) Impact

Nous proposons de spécialiser le concept *Impact* selon deux concepts, « *Additif* » et « *Multiplicatif* » (Figure 3.19).

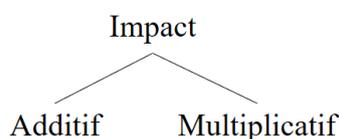


Figure 3.19 Proposition de spécialisation du concept Impact

g) Stratégie de mitigation

Nous proposons de spécialiser le concept *Stratégie de mitigation* selon deux concepts (Figure 3.20) :

- *Stratégie Locale* : une stratégie de mitigation pour un risque,
- *Stratégie Globale* : une combinaison possible de stratégies locales.

Nous proposons ensuite de spécialiser chacun des deux concepts *Stratégie Locale* et *Stratégie Globale* selon quatre concepts (Figure 3.20) :

- *Inaction* : aucune tâche IR n'est mise en œuvre,
- *Préventive* : la stratégie locale ne comprend que des tâches préventives et la stratégie globale ne comprend que des stratégies locales préventives,
- *Curative* : la stratégie locale ne comprend que des tâches curatives et la stratégie globale ne comprend que des stratégies locales curatives,
- *Mixte* : la stratégie locale comprend au moins une tâche préventive et une tâche curative et la stratégie globale comprend au moins une stratégie locale curative et stratégie locale préventive.

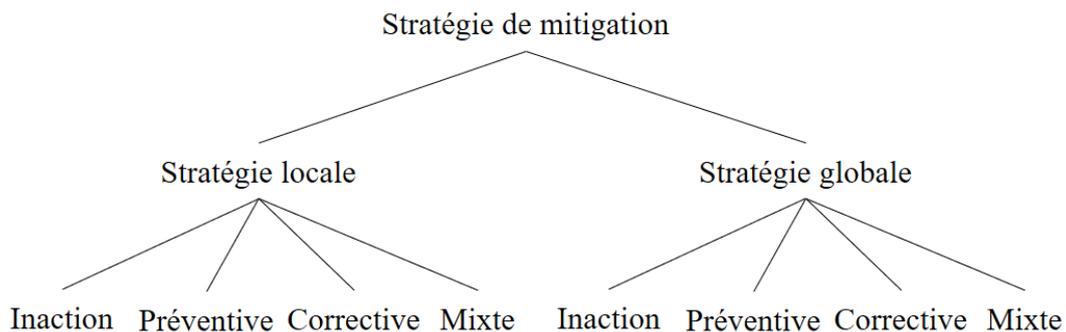


Figure 3.20 Proposition de spécialisation du concept Stratégie de mitigation

#### h) Réduction Impact

Nous proposons de spécialiser le concept *Réduction Impact* selon deux concepts, « *Positive* » et « *Négative* » (Figure 3.21). En effet, une stratégie de mitigation peut réduire un impact sur la métrique coût et l'augmenter sur la métrique durée et vice versa. Par exemple, pour un risque d'insuffisance de compétences de personnels pour répondre aux exigences du client, l'entreprise peut mettre en œuvre une tâche préventive qui consiste à embaucher un expert pour cette mission. Cela réduit l'impact sur la métrique durée, mais augmente l'impact sur la métrique coût.

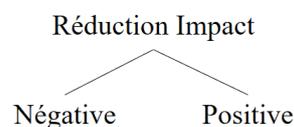


Figure 3.21 Proposition de spécialisation du concept Réduction Impact

### 3.2.3. Modèle complet pour la connaissance risque

Le modèle complet proposé sous forme de diagramme de classes UML (Figure 3.22), reprend le premier modèle proposé dans la section 3.1.2 en ajoutant les éléments identifiés dans la section 3.2, colorés en violet.

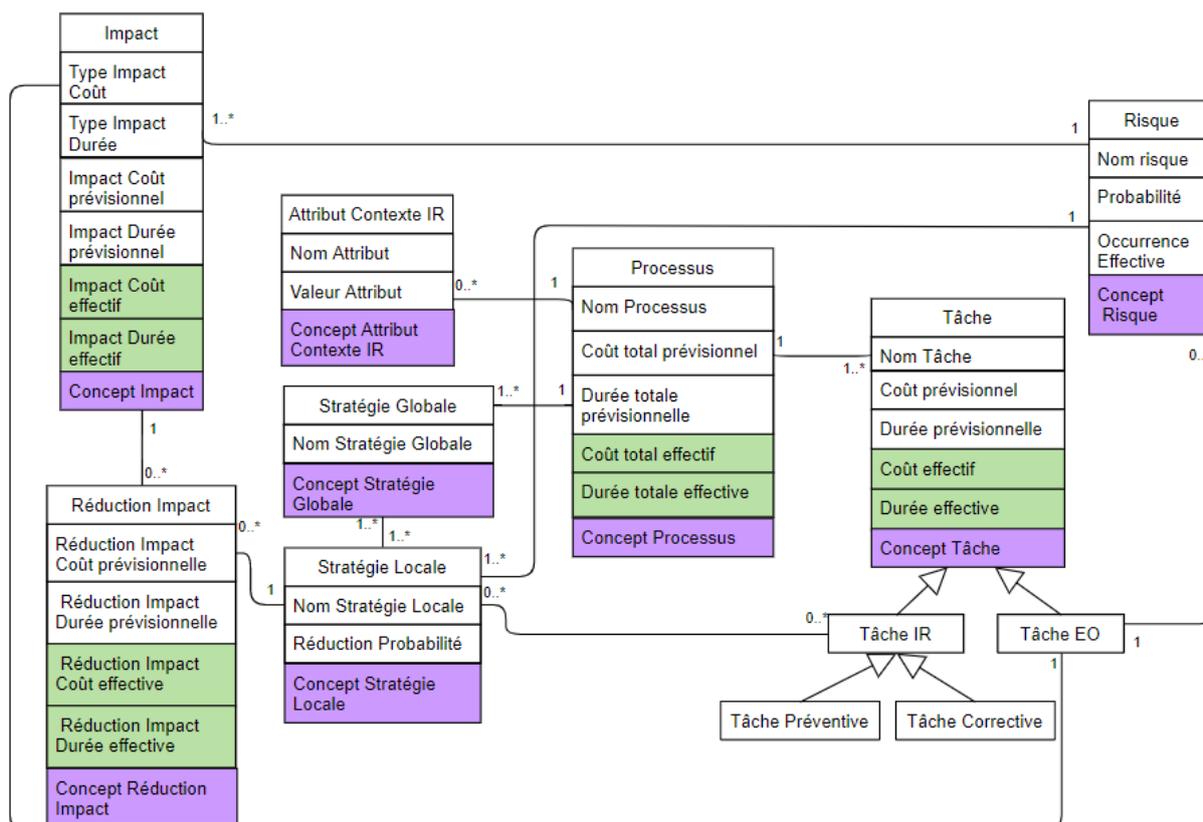


Figure 3.22 Modèle UML complet de connaissance risque

Dans ce modèle complet, et afin de pouvoir capitaliser des connaissances et des expériences, nous avons ajouté une classe *Attribut contexte IR*. Cette classe est décrite par le nom de l'attribut de contexte sous forme de texte, sa valeur sous forme de texte ou de réel ainsi que le concept associé. L'entité *Attribut contexte IR* est reliée à l'entité *Processus*. Un processus peut avoir plusieurs attributs de contexte ou ne pas en avoir et un attribut de contexte est associé à un seul processus.

Dans chacune des classes, nous avons ajouté un nouveau champ *Concept* spécifique à la classe. La valeur de chaque concept est saisie en se basant sur une taxonomie adaptée à l'ingénierie des risques. Les concepts issus de la taxonomie permettent de conférer des capacités d'abstraction au modèle. Ceci constitue un apport important dans notre modèle qui sera exploité pour l'aide à l'ingénierie des risques dans le chapitre 4.

Pour simplifier la lecture du diagramme UML, nous n'avons pas fait apparaître le type des attributs. Le type des valeurs des métriques (coût, durée) des entités *Processus*, *Tâche*, *Impact* et *Réduction Impact* est mis à jour dans ce modèle complet de connaissance risque et est devenu un type intervalle de valeurs réelles pour pouvoir prendre en compte les incertitudes et/ou les imprécisions des valeurs.

### 3.2.4. Synthèse sur les compléments de modélisation des connaissances pour l'IR

Dans la section 3.1, nous avons défini un premier modèle de connaissance pour l'ingénierie des risques permettant de formaliser et de capitaliser les informations liées à l'ingénierie des risques.

Ce modèle a été complété dans cette section 3.2 par (i) une classe *Attribut contexte IR*, permettant de formaliser le contexte dans lequel l'ingénierie des risques est réalisée (ii) un attribut Concept ajouté à chaque classe pour conférer au modèle des capacités d'abstraction. Nous avons également proposé et détaillé une taxonomie adaptée à l'ingénierie des risques qui complète le modèle de connaissance et qui permet de structurer très fortement la connaissance.

Les taxonomies de concepts proposées précédemment permettent de typer toutes les entités nécessaires à l'ingénierie des risques. Nous tenons cependant à souligner l'importance de ce typage pour les trois entités : (i) tâches du processus de réalisation, (ii) risques et (iii) tâches curatives et préventives. En effet, si toutes les connaissances comprenant bien sur les ingénieries des risques passées, saisies dans la base de données ont leurs tâches EO, risques et tâches IR caractérisés par ces concepts, il est alors possible de requêter par exemple : (i) sur un type de tâche pour en déduire des types de risque à considérer, (ii) sur un type de tâche et un type de risque pour en déduire des types d'actions curatives ou préventives à considérer.

L'assistance procurée à la personne en charge de l'ingénierie des risques est en conséquence bien plus performante que la seule consultation des ingénieries des risques passées.

Le modèle complet de connaissance proposé pour l'ingénierie des risques permet ainsi de formaliser et capitaliser des connaissances d'ingénierie des risques selon différents niveaux d'abstraction. Dans la section suivante 3.3, nous allons montrer qu'il permet de tenir en compte et de distinguer deux types de connaissances, (i) la connaissance risques, issue de l'expertise humaine et (ii) les expériences risques, issues d'ingénieries des risques d'ores et déjà réalisées sur des offres passées.

### **3.3. Définition des connaissances de différents niveaux d'abstraction**

Le modèle UML proposé, illustré en figure 3.13 et complété par une taxonomie (Figures 3.8 et 3.12), permet de formaliser et capitaliser des connaissances risques issues de l'expertise humaine ainsi que des expériences d'ingénierie des risques.

Les connaissances formalisées peuvent être de différents niveaux d'abstraction et donc de spécialisation. Ceci est rendu possible par la taxonomie de concepts. Plus les concepts associés aux classes sont éloignés du concept racine « Universel », plus la connaissance est spécialisée et, vice versa, plus les concepts associés aux classes sont proches de la racine de la taxonomie, plus la connaissance est générale.

Toutes les connaissances sont construites par une instanciation du modèle UML et leur niveau de spécialisation dépend du niveau des concepts dans la taxonomie.

Le modèle UML proposé permet une instanciation plus ou moins complète. Une connaissance peut donc être (i) une instance complète du modèle de connaissance, avec une instanciation de toutes les classes ou bien (ii) une instance incomplète du modèle, avec une instanciation de seulement certaines classes du modèle. Ceci permet de cibler la connaissance selon les besoins de modélisation instanciant ou non les classes.

Nous distinguons des connaissances des risques, notées connaissances IR, et des expériences risques, notées expériences IR.

Nous proposons ci-dessous les définitions des connaissances IR et des expériences IR au regard de nos travaux de recherche ainsi qu'un exemple illustratif pour chaque type de connaissance proposé.

### 3.3.1. Définition d'une connaissance risque

Nous proposons la définition suivante.

#### Définition 7 : Connaissances IR

Une connaissance IR est une instance du diagramme de classes UML. Elle est construite hors processus d'ingénierie des risques par un expert risque qui juge que cette connaissance doit être prise en compte dans de futures réalisations de l'ingénierie des risques. Elle peut aussi être construite par apprentissage à partir des expériences passées d'ingénierie des risques. La construction des connaissances IR par apprentissage à partir des expériences passées d'ingénierie des risques n'est pas abordée dans nos travaux de recherche. Dans les deux cas, une connaissance IR est considérée comme toujours valide, quel que soit le contexte IR et doit être prise en compte dans tout processus d'ingénierie des risques en cours sur laquelle la connaissance s'applique.

Selon les classes instanciées, une connaissance IR peut être plus ou moins complète. La possibilité de choisir les classes à instancier permet de construire des connaissances plus ou moins générales, c'est-à-dire dont la portée ou domaine d'application est plus ou moins étendu. Afin d'exploiter ces connaissances IR, il s'agit d'identifier si leur domaine d'application correspond ou non au processus d'ingénierie des risques qui est en cours. Ceci fait l'objet du chapitre IV.

Une connaissance IR, construite par une instanciation, complète ou non du diagramme de classes UML, peut être plus ou moins générale. La généralité d'une connaissance IR dépend, en premier lieu, du niveau d'abstraction des concepts choisis pour les attributs *Concept* des classes instanciées. En effet, plus la connaissance est spécifique, plus les concepts sont spécialisés dans la taxonomie. En second lieu, cette généralité dépend des domaines des attributs des classes instanciées. Plus les domaines sont réduits, voire se limitent à des singletons, plus la connaissance IR est spécialisée.

Nous présentons deux exemples de connaissances risque : (i) le premier lie un concept de tâche source à un concept de risque, et (ii) le second est plus précis et permet de lier un concept de tâche source, un concept de risque, un concept de tâche cible, et un concept d'impact.

#### Exemple 1 : Association Tâche source et Risque

Prenons un exemple où un expert risque estime que pour toute tâche de fabrication, il faut prendre en compte le risque qu'il y ait un problème de machine lors de la fabrication (Figure 3.23). Le domaine d'application de la connaissance est limité à une tâche de fabrication et au risque de problème machine.

Une instance de la classe « Tâche EO » est créée. Elle est liée à une instance de la classe « Risque ».

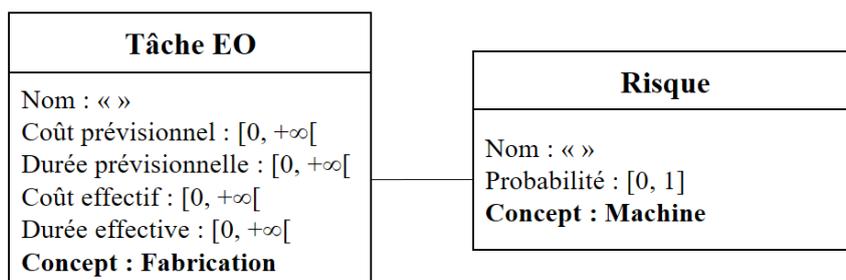


Figure 3.23 Instance du diagramme de classes UML représentant un premier exemple de connaissance IR

La connaissance IR obtenue est très générique (Figure 3.23). Seuls les attributs de concepts sont précisés. Les attributs de types texte sont laissés vides comme le nom de la tâche et le nom du risque. Les attributs correspondant aux métriques coût et durée ont pour valeur leur domaine initial  $[0, +\infty[$ . L'attribut de probabilité a une valeur totalement incertaine comprise entre 0 et 1.

Cette connaissance IR est valide pour toute tâche de fabrication indépendamment des valeurs des métriques coûts et durées. Elle est construite à partir de l'instanciation de seulement deux classes (Tâche EO et Risque). Elle fournira une aide à la personne en charge de l'ingénierie des risques qui saura que pour toute tâche de fabrication le risque de problème machine devra être associé.

Exemple 2 : Identification Risques / Impact / tâche impactée

Reprenons la taxonomie de risque proposée en figure 3.15. La connaissance IR créée par l'expert risque se représente sous la forme de l'instance suivante (Figure 3.24) :

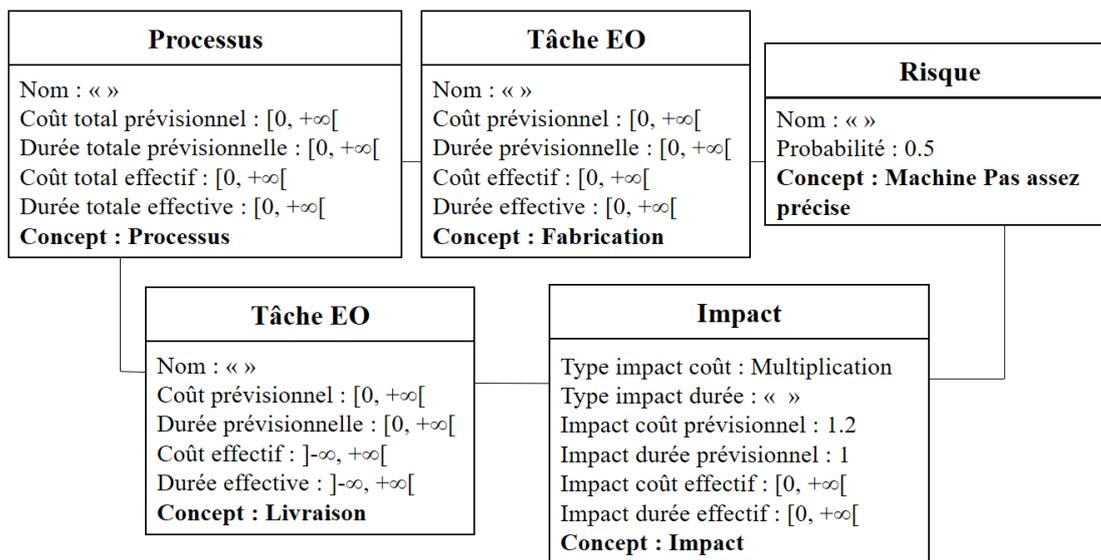


Figure 3.24 Instance du diagramme de classes UML représentant un second exemple de connaissance IR

Dans cet exemple, l'expert risque estime que pour toute ingénierie des risques réalisée sur un processus de réalisation contenant une tâche de livraison et une tâche de fabrication, il faut

prendre en compte le risque que la machine soit inadéquate. Le risque, selon l'expert, a une probabilité d'occurrence de 50%. Il peut apparaître durant la réalisation de la tâche de fabrication et impacte la tâche de livraison avec un surcoût de 20%.

Cette connaissance IR est construite par une instanciation incomplète du diagramme de classes UML (pas d'instanciation des classes *Attribut de contexte*, *Tâche IR*, *Stratégie Locale*, etc.).

### 3.3.2. Définition d'une expérience risque

#### Définition 8 : Expérience IR

Une expérience IR est une instance du diagramme de classes UML. Elle est construite pendant la réalisation du processus d'ingénierie des risques. Elle représente donc l'activité d'ingénierie des risques pour une réponse à appel d'offres particulière. Une expérience IR est donc valide dans un contexte précis dans lequel l'offre a été réalisée ou a été prévue de se réaliser et annulée à cause d'un refus du client. Cependant, une expérience IR capitalisée peut être adaptée à un contexte similaire lors de la réutilisation (chapitre IV).

Comme pour les connaissances IR, les expériences IR peuvent être plus ou moins complètes selon les classes instanciées au fur et à mesure de la réalisation du processus d'ingénierie des risques. Selon les éléments qui apparaissent au fur et à mesure de la réalisation de l'ingénierie des risques, les classes correspondantes sont instanciées.

Les expériences IR peuvent aussi être plus ou moins précises selon :

- la valeur de l'attribut *Concept* de chaque classe instanciée. Si le concept recherché n'est pas trouvé dans la taxonomie, la personne en charge de l'ingénierie des risques peut choisir le plus proche concept parent dans la taxonomie ou bien elle peut demander la création d'un nouveau concept. Le concept renseigné peut donc être un concept plus général que celui correspondant au contexte réel de l'expérience représentant ainsi une forme d'imprécision dans la représentation de l'expérience,
- la valeur des autres attributs où certaines valeurs peuvent rester sous forme de plages de valeurs si l'offre n'est pas réalisée. Si l'offre est acceptée par le client puis réalisée, l'expérience d'ingénierie des risques est plus précise. Nous connaissons les durées effectives, les coûts effectifs, les risques qui sont apparus ainsi que leurs impacts. Nous connaissons également les stratégies de mitigation qui ont été mises en œuvre pour chaque risque et donc la stratégie globale. Les tâches préventives et les tâches curatives, si elles ont été réalisées, sont connues et les réductions d'impacts également. Même si des imprécisions peuvent demeurer, nous considérons que l'expérience est précise.

Nous présentons deux exemples d'ingénierie des risques : (i) le premier correspond à une offre non réalisée et (ii) le second à une offre réalisée jusqu'à la livraison au client.



Nous reprenons l'exemple illustré sur la figure 3.3. Le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » apparaît durant la tâche d'approvisionnement et impacte la tâche d'assemblage. Aucune tâche IR n'a été créée pour mitiger ce risque. Nous représentons ci-dessous l'instanciation de cette expérience IR (Figure 3.25). Pour simplifier la figure, nous ne présentons que les tâches EO associées au risque (tâche source et tâche impactée).

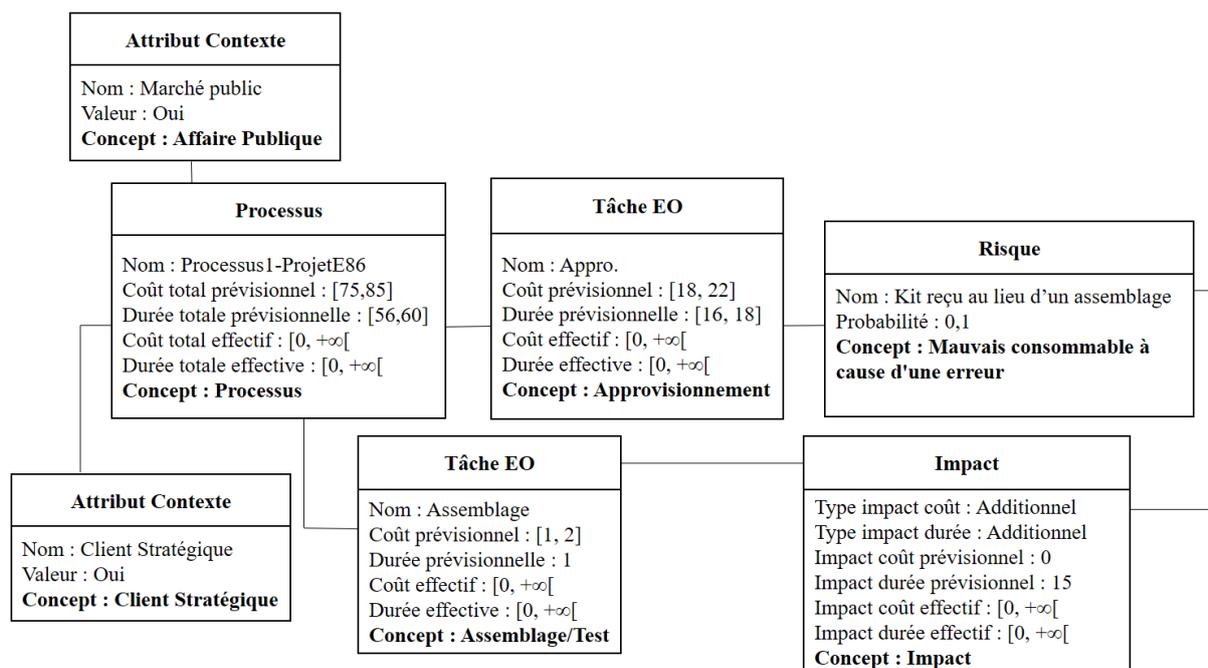


Figure 3.25 Instance du modèle représentant un premier exemple d'expérience IR

Cet exemple représente une expérience d'ingénierie des risques réalisée sur un processus de réalisation d'une offre réelle (ProjetE86). Un risque, un impact et une tâche impactée ont été identifiés lors de l'ingénierie des risques sans mitigation du risque. Aucune action préventive ou curative n'est en effet mise en œuvre pour mitiger les risques (Stratégie Inaction) mais les risques ont été analysés.



Nous reprenons l'exemple illustré sur la figure 3.4. Le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » apparaît durant la tâche d'approvisionnement et impacte la tâche d'assemblage. Une stratégie curative est mise en place pour mitiger le risque. Elle contient une seule action curative et elle annule l'impact du risque. L'exemple ci-dessous représente une offre réalisée. Les valeurs effectives obtenues après la réalisation de l'offre, sont donc renseignées. Ci-dessous l'instanciation représentant cette expérience IR (Figure 3.26). Pour simplifier la figure, nous ne présentons que les tâches EO associées au risque (tâche source et tâche impactée).

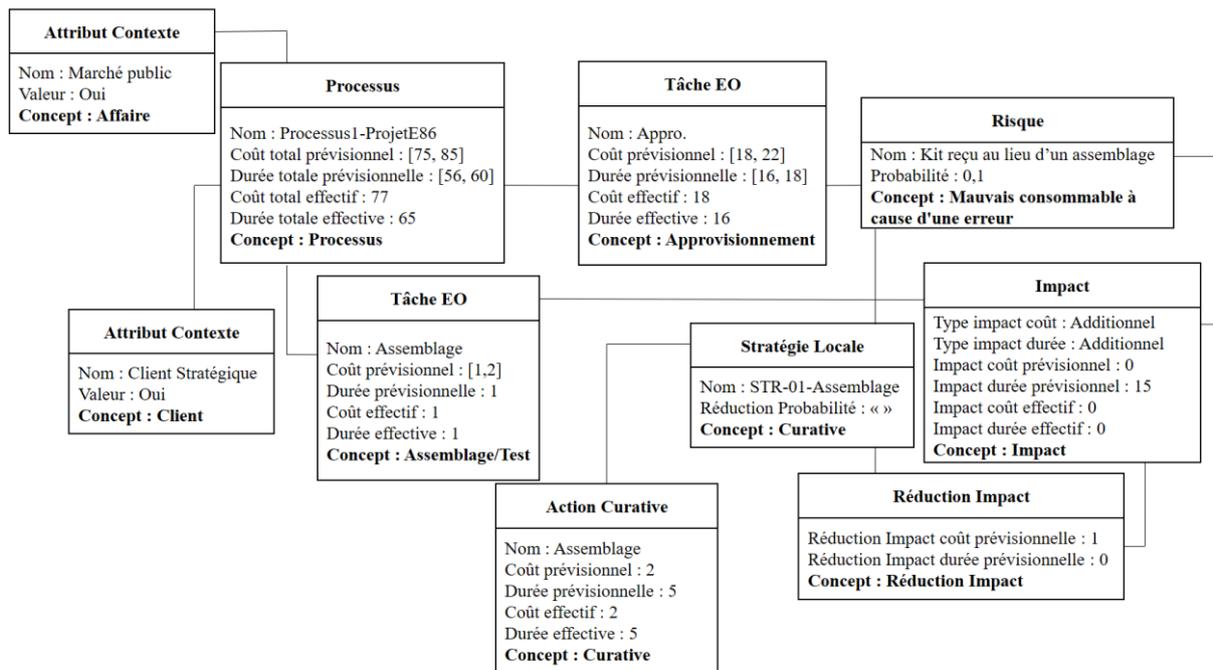


Figure 3.26 Instance du modèle représentant un deuxième exemple d'expérience IR

Un risque, un impact, une tâche IR, une stratégie locale, une réduction d'impact et une stratégie globale ont été identifiés lors de l'ingénierie des risques. Selon les classes instanciées, cet exemple représente une expérience IR complète. L'impact prévisionnel du risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » de concept « Mauvais consommable à cause d'une erreur » était de +15 jours sur la tâche de concept « Assemblage/Test ». La stratégie locale, comprend une action curative « Assemblage » qui coûte 2 K et qui dure 5 jours. La réduction d'impact associée à la stratégie curative a bien annulé l'impact du risque.

### 3.3.3. Exploitation des connaissances risques et expériences risques

L'exploitation des connaissances risques nécessite, pour être appliquée à un cas courant, d'identifier si le domaine d'application de la connaissance couvre le domaine du cas courant. C'est-à-dire si (i) les classes instanciées dans la connaissance IR capitalisée sont également instanciées dans le cas courant et si (ii) les concepts du cas courant sont identiques ou plus spécialisés que ceux de la connaissance IR capitalisée, pour les classes instanciées communes.

Les expériences d'ingénierie des risques formalisées et capitalisées grâce au modèle UML peuvent être exploitées dans un processus de raisonnement à partir de cas (Kamsu Foguem et al. 2008). L'exploitation des expériences IR nécessite une évaluation de la similarité entre le cas courant (le contexte, le processus de réalisation et l'ingénierie des risques en cours) et l'expérience IR capitalisée. Dans nos travaux de recherche, seules les similarités entre concepts sont évaluées. Les valeurs des autres attributs ne sont pas considérées dans l'évaluation de la similarité entre le cas courant et l'expérience IR capitalisée.

Les méthodes et algorithmes de réutilisation proposés sont détaillés dans le chapitre 4.

### **3.3.4. Synthèse sur les définitions des connaissances et des expériences risques**

Une connaissance risque est construite par un expert risque. Elle est représentée par une instance du diagramme de classes UML, plus ou moins complète et plus ou moins générale, par rapport à l'étendue de son domaine d'application ainsi qu'au niveau d'abstraction des concepts associés aux classes instanciées. Une connaissance risque est toujours valide et doit être prise en compte dans les futurs processus d'ingénierie des risques sur lesquels elle s'applique.

Une expérience risque est construite pendant la réalisation d'un processus d'ingénierie des risques. Elle est représentée par une instance du diagramme de classes UML, plus ou moins précise par rapport au niveau d'abstraction des concepts associés aux classes instanciées ainsi que les valeurs des autres attributs des classes instanciées.

### **3.4. Conclusion du chapitre 3**

Dans la première section de ce chapitre (section 3.1), nous nous sommes basés sur l'existant scientifique pour créer un premier modèle d'entités qui permet de formaliser et capitaliser toutes les informations issues des ingénieries des risques réalisées sur un processus de réalisation lors de la réponse à appel d'offres.

Nous avons discuté les limites du premier modèle. Celui-ci ne permet pas de formaliser des expériences à cause du manque d'éléments décrivant le contexte dans lequel l'offre va se réaliser. Aussi, il ne permet pas de raisonner à l'aide d'outils adaptés comme le raisonnement à partir de cas et les techniques de retour d'expérience (Kamsu Foguem et al. 2008) du fait du manque d'éléments permettant d'associer une forme d'abstraction aux instances créées à partir du modèle. Enfin, le premier modèle ne permet pas de gérer les incertitudes sur les métriques (coût et durée dans ce travail) en d'élaboration d'offre.

Ceci nous a permis, en section 3.2 de ce chapitre, d'enrichir le premier modèle pour avoir un modèle complet de connaissance pour l'ingénierie des risques. En effet, Nous avons alors proposé de travailler avec des intervalles sur les valeurs des métriques au lieu des valeurs fixes. Nous avons également proposé de rajouter une classe qui décrit tout attribut de contexte permettant la formalisation d'une expérience d'ingénierie des risques. Nous avons ensuite proposé de compléter le diagramme de classes par une taxonomie de concepts qui permet d'associer un niveau d'abstraction à toute connaissance capitalisée. Une taxonomie générale a été proposée dans ce chapitre.

Notre proposition de modèle permet de formaliser et de capitaliser dans une même base de connaissances, des connaissances qui ont différents niveaux d'abstraction et de spécialisation et qui peuvent être représentées par des instances plus ou moins complètes et plus ou moins précises. Nous avons donc formalisé, en section 3.3, des connaissances d'ingénierie des risques et des expériences d'ingénierie des risques que nous avons appelées connaissances IR et expériences IR.

Notre objectif étant d'assister l'ingénierie des risques, nous proposons dans le chapitre suivant une approche de réutilisation des connaissances IR et des expériences IR lors d'une ingénierie des risques.



# Chapitre 4

## Exploitation de la connaissance sur les risques capitalisée pour aider l'ingénierie des risques

Dans ce chapitre, nous répondons à la deuxième question de recherche : comment réutiliser la connaissance formalisée et capitalisée dans la base de connaissances pour aider l'ingénierie des risques lors de réponse à un appel d'offres ?

Nous avons proposé, dans le chapitre 3, un modèle d'entités complété par une taxonomie de concepts permettant de formaliser et de capitaliser (i) des connaissances Risques (ou connaissances IR) issues de l'expertise humaine. Les connaissances Risques sont considérées comme vraies et valides dans tout processus d'ingénierie des risques sur lequel la connaissance s'applique. Le modèle proposé dans le chapitre 3, permet aussi de formaliser et de capitaliser (ii) des expériences Risques (ou expériences IR), réalisées sur des projets particuliers et valides dans des contextes spécifiques. Les expériences Risques peuvent être adaptées à un contexte similaire lors de la réutilisation de celles-ci et offrir un aperçu sur ce qui est survenu dans le passé.

Ainsi nous proposons, dans ce quatrième chapitre, une approche de réutilisation des connaissances Risques (Connaissances IR) et des expériences Risques (expérience IR). L'approche proposée est basée sur l'intégration, l'adaptation et le développement (i) du processus de gestion des risques proposé par la norme ISO 31000 qui définit les phases d'identification, d'évaluations et de traitements des risques, ainsi que (ii) du Raisonnement à Partir de Cas (CBR : Case-Based Reasoning) et des méthodes de retour d'expérience. Nous

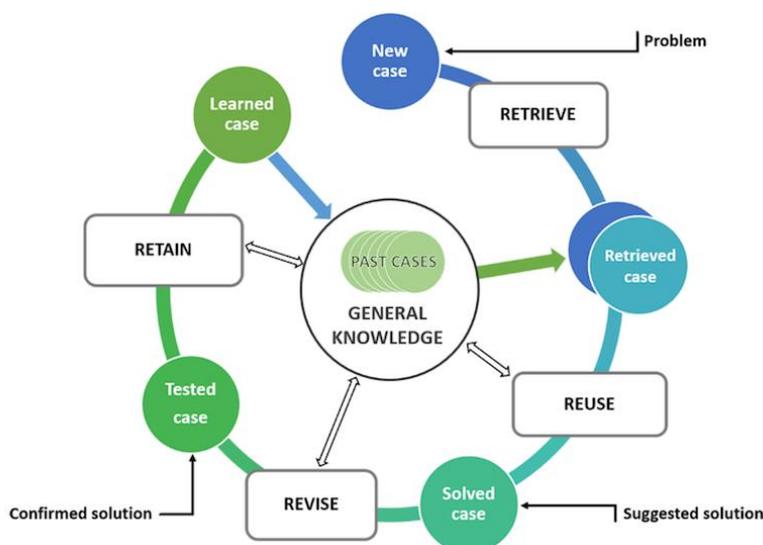


Figure 4.1 Raisonnement à Partir de Cas, adapté de la norme (Aamodt et Plaza 1994)

partons des principes de la méthode CBR (Aamodt et Plaza 1994) pour aboutir à une approche de réutilisation adaptée à l'ingénierie des risques telle que nous l'avons proposée.

La méthode CBR définit quatre étapes principales, tel qu'illustré en figure 4.1 :

1. RETRIEVE : la remémoration de la connaissance pertinente et appropriée par rapport à un cas cible (voir section 1.2.1) défini par un problème courant (dans notre travail, le cas cible est défini par l'ingénierie des risques en cours),
2. REUSE : la réutilisation de la solution obtenue des cas remémorés par rapport au problème courant,
3. REVISE : la révision et de la validation de la solution adaptée au problème courant,
4. RETAIN : la capitalisation du nouveau cas, si ce dernier est validé, et son stockage dans la base de connaissances pour aider à la résolution de problèmes futurs.

Comme expliqué en section 3.5 du chapitre 3, les connaissances IR et les expériences IR sont différentes en termes de niveau d'abstraction, de spécialisation, de complétude et de précision. Notre approche différencie de manière claire les étapes de remémoration, réutilisation et capitalisation pour exploiter les connaissances IR et les expériences IR.

Dans la première section de ce chapitre, nous reprenons la définition de (i) la norme ISO 31000 et la définition de (ii) la méthode CBR proposée dans l'existant scientifique. Nous discutons comment et pourquoi nous proposons d'intégrer, d'adapter et de développer la norme ISO 31000 et la méthode CBR pour aboutir à une approche d'exploitation des connaissances pour l'ingénierie des risques que nous proposons.

Nous suivons dans la suite de ce chapitre, le cycle du CBR : de l'étape de remémoration à celle de capitalisation. Pour chaque étape, nous précisons les spécificités liées aux connaissances en Ingénierie des Risques manipulées :

- pour l'étape de remémoration (RETRIEVE), présentée dans la deuxième section de ce chapitre, des mesures d'inclusion et de similarité seront présentées, respectivement pour les connaissances IR et les expériences IR,

- l'étape de réutilisation (REUSE) constitue la troisième section de ce chapitre. Cette section présente (i) la réutilisation systématique des connaissances IR et (ii) la réutilisation intentionnelle des expériences IR en expliquant la quasi-nécessité d'adaptation des expériences IR par rapport aux connaissances IR. Elle montre également la complémentarité des deux modes de réutilisation,
- l'étape de révision (REVISE), sujet de la quatrième section, est abordée dans nos travaux par la capitalisation des valeurs effectives des métriques de chaque activité,
- l'étape de capitalisation (RETAIN), abordée en cinquième section, permet de définir et présenter les deux règles garantissant la cohérence de la base de connaissances pour l'ingénierie des risques.

Un exemple « fil rouge » illustre chacune des étapes de l'approche d'exploitation proposée.

#### **4.1. Identification et analyse des éléments nécessaires à la réutilisation des connaissances capitalisées pour l'ingénierie des risques**

Dans cette section, nous rappelons, dans un premier temps, les définitions des phases du processus de gestion des risques proposées par la norme ISO 31000. Nous analysons et adaptons ces définitions au regard de nos besoins pour la réutilisation des expériences IR et des connaissances IR lors d'un processus d'ingénierie des risques.

Dans un deuxième temps, nous reprenons succinctement les principes de la méthode CBR et nous montrons comment l'approche de réutilisation proposée dans notre travail se base sur ces principes.

Enfin, nous discutons la possibilité d'intégrer les définitions du processus de gestion des risques proposées par la norme ISO 31000 et les principes de la méthode de CBR adaptés à nos besoins pour aboutir à l'approche de réutilisation que nous présentons dans ces travaux de recherche.

##### **4.1.1. Définition et adaptation du processus de gestion des risques proposé par la norme ISO 31000**

La norme ISO 31000 propose un processus de gestion des risques que nous avons adapté, comme présenté dans le chapitre 3, à l'ingénierie des risques lors d'un processus de réponse à appel d'offres. Cela nous a permis, avec d'autres éléments de l'existant scientifique (chapitre 3), de proposer un modèle de connaissance sous forme de diagramme de classes permettant de formaliser et de capitaliser les expériences et les connaissances d'ingénierie des risques. Pour l'exploitation et la réutilisation de ces dernières, nous proposons également une approche inspirée des phases composant le processus de gestion des risques décrit par la norme ISO 31000.

###### **4.1.1.1. Définition du processus de gestion des risques proposé par la norme ISO 31000**

Tel que défini en section 2.1.1 du chapitre 2 et en section 3.1.1 du chapitre 3, le processus de gestion des risques proposé par la norme ISO 31000 commence par la phase d'établissement du contexte où chaque organisme définit ses environnements interne et externe, ses objectifs et tout acteur pouvant être en interaction avec l'organisme lors de la réalisation du projet.

La deuxième phase est l'appréciation des risques. Il s'agit en premier lieu de l'identification des risques (et de leurs probabilités), pouvant apparaître en impactant les objectifs définis dans la phase d'établissement du contexte. En deuxième lieu, l'évaluation des risques consiste à réaliser l'évaluation quantitative ou qualitative des risques identifiés, afin de prioriser la prise en compte des risques.

Le traitement des risques est la troisième phase du processus de gestion des risques proposé par la norme ISO 31000. Cette phase consiste à mettre en œuvre un plan de traitement ayant pour objectif de réduire les impacts causés par les risques.

Le processus de gestion des risques proposé par la norme ISO 31000 se termine par une phase de suivi qui consiste à renseigner les occurrences effectives des risques identifiés ainsi que toutes les informations liées.

#### 4.1.1.2. Adaptation du processus de gestion des risques proposé par la norme ISO 31000

Dans nos travaux de recherche, nous considérons que l'ingénierie des risques commence par l'élaboration de l'offre réalisée (Figure I.3, section I.2). Le contexte et le processus de réalisation sont donc définis en amont de l'ingénierie des risques. Par conséquent, le contexte de l'offre est d'ores et déjà établi et représente une donnée d'entrée pour l'ingénierie des risques (contexte IR). Notre approche de réutilisation n'inclut donc pas la phase de l'établissement du contexte de l'offre proposée par la norme ISO 31000.

Nos travaux de recherche visent donc à fournir une assistance pour les quatre autres phases du processus de gestion des risques proposé par la norme ISO 31000, tel qu'illustré en figure 4.2.

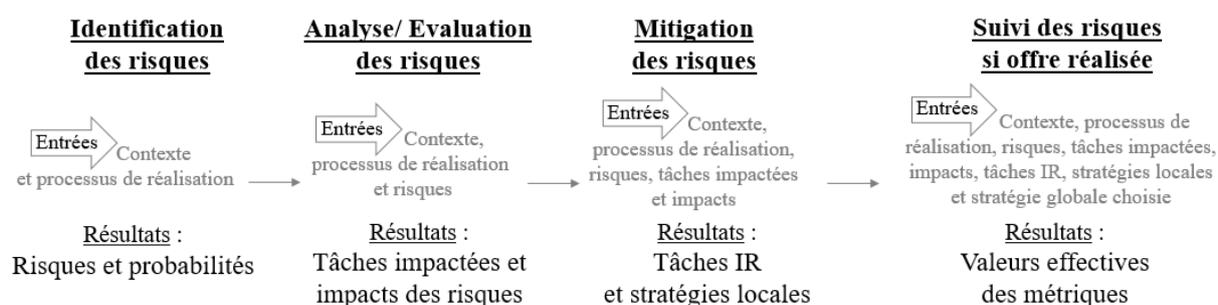


Figure 4.2 Phases d'ingénierie des risques, adapté de la norme ISO 31000

Pour la phase d'identification des risques proposée par la norme ISO 31000, nos travaux proposent d'aider à l'identification des risques et de leur probabilité au regard du contexte de l'offre (Contexte IR) et des activités composant le processus de réalisation.

Pour la phase d'évaluation des risques, nos travaux permettent, via l'exploitation des connaissances en ingénierie des risques capitalisées, d'identifier la nature des tâches impactées et les impacts possibles de chacun des risques.

Pour la phase de mitigation des risques, nos travaux permettent de proposer des actions curatives et/ou préventives pertinentes pour mitiger chaque risque. Les réductions d'impacts et de probabilité d'occurrence sont aussi proposées.

Pour la phase de contrôle, celle-ci consiste en la capitalisation des valeurs effectives des métriques, de la survenue ou non des risques identifiés et, si possible, de leurs impacts. Ces valeurs effectives permettent à terme de réduire les imprécisions sur les impacts et la survenue des risques potentiels.

La section suivante détaille les étapes de la méthode CBR et explique comment des étapes adoptées dans l'approche de réutilisation que nous proposons en sont inspirées.

#### **4.1.2. Définition et adaptation des principes de la méthode de CBR**

La méthode CBR permet le raisonnement à partir de cas afin de réutiliser les expériences passées pour résoudre un problème courant (Aamodt et Plaza 1994).

##### **4.1.2.1. Définition des principes de la méthode CBR**

Les étapes de la méthode de CBR sont détaillées en section 2.2.3.2 du chapitre 2. Les principes de cette méthode se basent en premier lieu sur la définition d'un cas cible. Un cas cible est défini par un problème courant pour lequel une solution est recherchée grâce à la réutilisation des expériences capitalisées. Les expériences capitalisées sont appelées des cas source.

Une fois le cas cible défini, une étape de remémoration est mise en œuvre pour chercher des cas source appropriés. La recherche est basée sur une mesure de similarité entre le cas cible et les cas source.

Ensuite, grâce à la phase d'adaptation et de réutilisation, les solutions issues des cas source les plus similaires sont adaptées par rapport au problème courant et réutilisées pour résoudre ce dernier.

La solution obtenue est ensuite vérifiée, révisée et réparée si nécessaire. À la fin, le problème résolu est validé avant d'être capitalisé pour devenir un cas source qui servira à la résolution de problèmes futurs.

##### **4.1.2.2. Adaptation des principes de la méthode CBR**

Dans l'approche de réutilisation que nous proposons, il est important de bien préciser ce qu'est un cas cible, car ce dernier évolue au fil des phases de la norme ISO 31000. En effet, en regardant précisément la figure 4.2, l'évolution du cas cible peut être constatée :

- lors de la phase d'identification des risques, le cas cible est uniquement constitué du contexte IR et de la tâche source sur laquelle l'ingénierie des risques a lieu,
- lors de la phase d'évaluation des risques, le cas cible est constitué en plus du contexte IR et de la tâche source, du risque concerné,
- lors de la phase de mitigation, le cas cible est constitué du contexte IR, de la tâche source, du risque étudié, des tâches impactées et des impacts produits.

Cette spécificité est donc prise en compte dans l'étape de remémoration du CBR.

Pour l'ensemble des étapes du CBR que nous proposons, une distinction claire est faite dans le traitement des connaissances IR et des expériences IR. Comme expliqué en section 3.5 du chapitre 3, les connaissances IR et les expériences IR sont différentes en termes de niveau d'abstraction, de spécialisation, de complétude et de précision. Les connaissances IR, si elles existent dans la base de connaissances, sont systématiquement considérées et exploitées lors de l'ingénierie des risques courante, alors que les expériences IR sont plutôt vues comme des préconisations et des recommandations pour aider au dimensionnement de l'ingénierie des risques courante. Leur traitement est donc différent sur l'ensemble des étapes de la méthode d'exploitation des connaissances nécessaires à l'ingénierie des risques que nous proposons.

### 4.1.3. Association norme ISO 31000 et CBR pour aider à l'ingénierie des risques

Telle que définie dans nos travaux de recherche, l'ingénierie des risques est réalisée sur le processus de réalisation, tâche par tâche, sans suivre un ordre de tâche précis. La connaissance nécessaire à l'ingénierie des risques est donc exploitée autant de fois que nécessaire en suivant à la fois le processus de la norme ISO et les étapes du CBR. La figure 4.3 présente l'intégration de la norme ISO 31000 et du CBR que nous proposons dans nos travaux pour exploiter la connaissance nécessaire à l'ingénierie des risques.

À chaque phase de la norme ISO 31000, les connaissances IR et expériences IR peuvent être exploitées pour aider l'ingénierie des risques. Nous détaillons dans la suite de ce chapitre chacune des étapes du CBR, adaptée à l'ingénierie des risques.

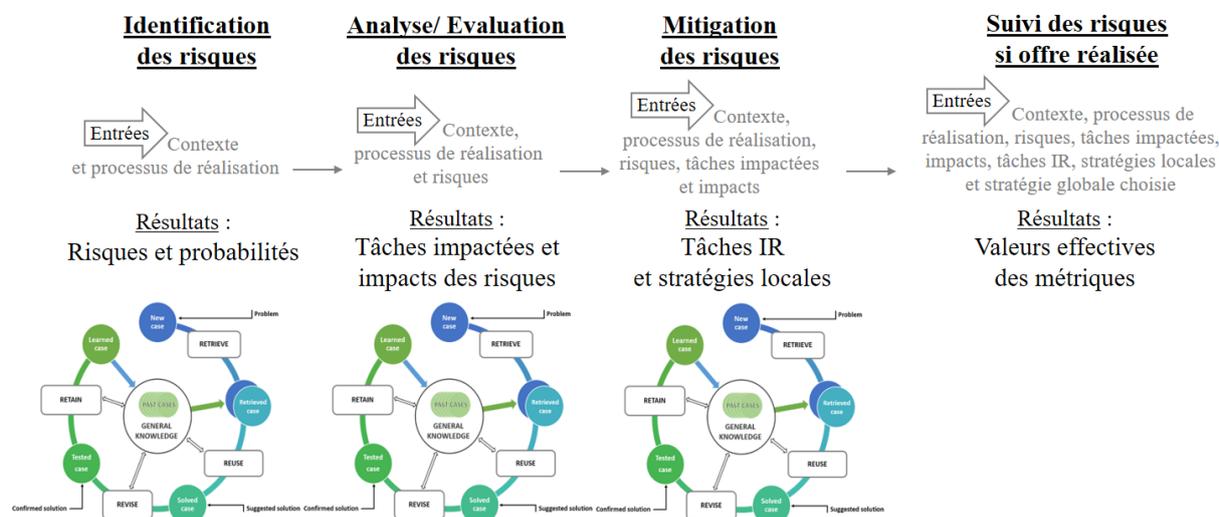


Figure 4.3 Intégration de la norme ISO 31000 et du CBR

### 4.2. Etape de remémoration des connaissances nécessaires à l'ingénierie des risques

Rappelons que l'étape de remémoration est effectuée au plus trois fois sur le processus préconisé par la norme ISO 31000 et au plus  $n$  fois sur les  $n$  tâches composant le processus de réalisation courante. Rappelons aussi que le cas cible complété au fur et à mesure du processus d'ingénierie des risques préconisé par la norme ISO 31000.

L'étape de remémoration permet d'identifier dans la base de connaissances en ingénierie des risques, les connaissances IR et les expériences IR pertinentes à exploiter dans le contexte IR courant. Cette section présente les spécificités de remémoration liées aux connaissances manipulées quelle que soit la phase de la norme ISO 31000. Seule la structure du cas cible et des données manipulées diffèrent d'une phase à l'autre.

Nous présentons dans un premier temps l'étape de remémoration des connaissances IR, basée sur une mesure d'inclusion, puis celle des expériences IR, basée sur une mesure de similarité.

#### **4.2.1. Remémoration des connaissances risques**

La remémoration des connaissances IR est basée sur le parcours des cas source (les connaissances IR) capitalisés ainsi que sur une mesure d'inclusion qui vaut 1 pour les connaissances IR à réutiliser et 0 pour les autres connaissances IR. Cette sous-section présente en détail la mesure d'inclusion avec un exemple.

##### **4.2.1.1. Mesure d'inclusion**

La mesure d'inclusion permet de sélectionner les Connaissances IR appropriées dans la base de connaissances. Cette mesure d'inclusion se base sur la taxonomie proposée pour structurer la connaissance en réponse à appel d'offres, et vise à comparer les concepts des descripteurs du cas cible avec ceux des cas source présents dans la base de connaissance.

Postulat 5 : Véracité des connaissances IR et mesure d'inclusion

Nous considérons qu'une connaissance IR définie sur un ensemble de concepts ( $C_1, \dots, C_n$ ) est vraie pour tout ensemble de concepts identiques ( $C_1, \dots, C_n$ ) ou plus spécialisés.

Soit  $DP_s$  (Delivery Process) le processus de réalisation du cas source (connaissance IR capitalisée) et  $DP_c$  le processus de réalisation du cas cible (ingénierie des risques en cours). Soit la tâche  $T_j$  issue d'une Connaissance IR qui doit être comparée à la tâche  $T_i$  du cas cible. Si le concept de la tâche (noté  $C(T_i)$ ) est identique ou plus spécialisé que le concept de la tâche (noté  $C(T_j)$ ) et si le concept du processus de réalisation actuel (noté  $C(DP_c)$ ) est égal ou plus spécialisé que le concept du processus de réalisation (noté  $C(DP_s)$ ) issu de la connaissance IR ( $(C(T_i) \leq C(T_j)) \wedge ((C(DP_c) \leq C(DP_s)))$ ), alors la mesure d'inclusion vaut 1 et tous les risques liés à la tâche  $T_j$  de la connaissance IR sont réutilisés, c'est-à-dire associés à la tâche  $T_i$ .

##### **4.2.1.2. Exemple de mesure d'inclusion**

Considérons le processus de réalisation courant, correspondant au cas cible et illustré dans la figure 4.4, appelé « Industrie 4.0 » de concept « Mécanique ». Il est composé de trois tâches : « Printer programming » (concept = Conception détaillée), « 3D printing » (concept = Impression) et « Transport to China », (concept = Livraison/Installation).

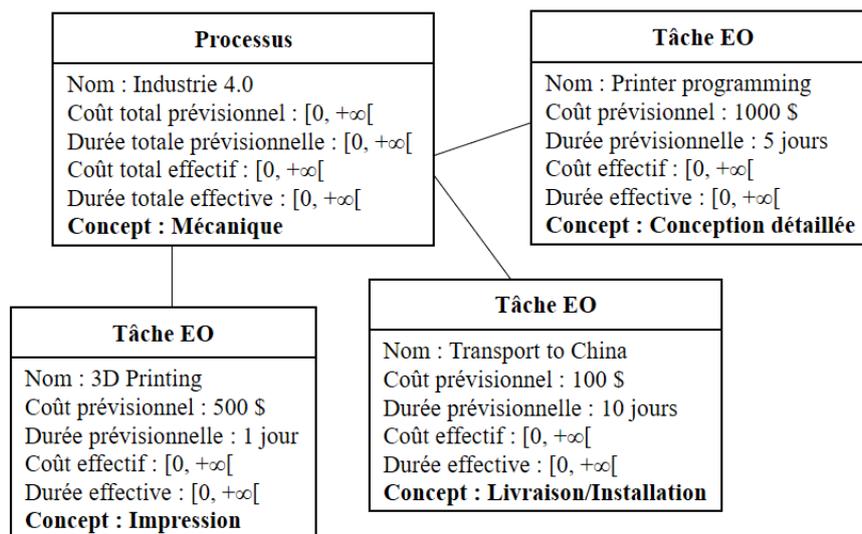


Figure 4.4 Exemple de Processus de réalisation courant (cas cible)

Dans l'exemple illustré dans la figure 4.4, l'expert risque a spécialisé le concept Processus selon un nouveau concept « Mécanique » et le concept de tâche Conception selon un nouveau concept « Conception détaillée ».

Considérons d'autre part la connaissance IR (cas source) décrite dans la figure suivante :

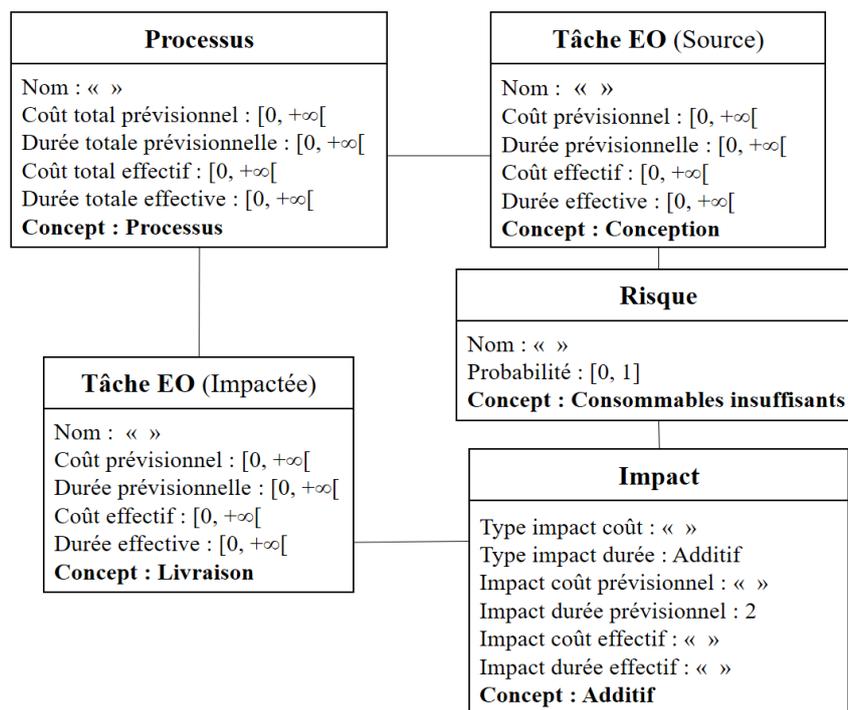


Figure 4.5 Exemple de Connaissance IR capitalisée (cas source)

Dans cette Connaissance Risque (Figure 4.5), une tâche générique de concept « Conception » est liée à un risque générique de concept « Consommables insuffisants ». Elles sont liées à un processus générique de concept « Processus ». Le risque identifié a un impact additif d'une valeur de 2 sur la durée d'une tâche générique de concept « Livraison ».

Le concept de la tâche « Printer programming » du processus cible est plus spécialisé que le concept de la tâche de la Connaissance Risque (Conception détaillée  $\leq$  Conception). Pour les processus de réalisation, nous avons : Mécanique  $\leq$  Processus. Par conséquent, la mesure d'inclusion vaut 1 et la connaissance IR doit être réutilisée.

#### 4.2.2. Remémoration des expériences risques

La remémoration des expériences IR est basée sur le parcours des cas source (les expériences IR) capitalisés ainsi que sur des mesures de similarité. Cette sous-section présente en détail la mesure de similarité ainsi qu'un exemple tiré de notre exemple fil rouge.

##### 4.2.2.1. Mesure de similarité

La mesure de similarité permet de classer les expériences IR de la base de connaissances. Cette mesure de similarité se base sur la taxonomie proposée pour structurer la connaissance en réponse à appel d'offres, et vise à comparer les concepts des descripteurs du cas cible avec ceux des cas source présents dans la base de connaissance.

Postulat 6 : Portée des expériences IR et mesure de similarité

Nous considérons qu'une expérience IR définie sur un ensemble de concepts ( $C_1, \dots, C_n$ ) est intéressante pour tout ensemble de concepts ( $C'_1, \dots, C'_n$ ) similaires au-delà d'un certain seuil de similarité. Notons que le seuil de similarité est défini par un expert risque.

Dans nos travaux de recherche nous nous sommes basés sur les taxonomies de concepts et sur la mesure proposée dans Wu et Palmer 1994. Cette mesure de similarité entre deux concepts  $C_1$  et  $C_2$  est calculée de la manière suivante :  $\text{sim}(C_1, C_2) = \frac{2 \cdot N_3}{N_1 + N_2 + 2 \cdot N_3}$ .  $C_3$  désigne le concept qui représente le premier ancêtre commun des concepts  $C_1$  et  $C_2$ ,  $N_1$  est le nombre de nœuds entre  $C_3$  et  $C_1$ ,  $N_2$  est le nombre de nœuds entre  $C_3$  et  $C_2$  et  $N_3$  est le nombre de nœuds entre  $C_3$  et le concept racine « Universel ».

Dans notre travail, nous avons adapté cette formule où nous utilisons les arcs au lieu des nœuds pour le calcul de la similarité. L'utilisation des nœuds pour la mesure de similarité donne une valeur non nulle lorsque les deux concepts à comparer appartiennent à deux concepts de premiers niveaux différents. Par exemple, si  $C_1$  est un concept de risque et  $C_2$  est un concept de tâche, la mesure de similarité doit être égale à 0, d'où l'utilisation des arcs au lieu des nœuds.

La mesure de similarité, dans notre travail, devient donc :  $\text{sim}(C_1, C_2) = \frac{2 \cdot N_3}{N_1 + N_2 + 2 \cdot N_3}$ .  $C_3$  désigne le concept qui représente le premier ancêtre commun des concepts  $C_1$  et  $C_2$ ,  $N_1$  le nombre d'arcs liant  $C_3$  à  $C_1$ ,  $N_2$  le nombre d'arcs liant  $C_3$  à  $C_2$  et  $N_3$  le nombre des arcs liant  $C_3$  au concept racine « Universel ». Par conséquent, la similarité entre le cas cible ( $DP_c, \text{Task}_i$ ) et le cas source ( $DP_s, \text{Task}_j$ ) est calculée en multipliant la similarité entre les concepts des tâches et la similarité entre les concepts des processus de réalisation :  $\text{sim}(\text{cible}, \text{source}) = \text{sim}(C(\text{Task}_i), C(\text{Task}_j)) \times \text{sim}(C(DP_c), C(DP_s))$ .

##### 4.2.2.2. Exemple de mesure de similarité

Considérons le processus cible décrit sur la figure 4.6, de concept « Mécanique » composé de trois tâches, respectivement de concepts « Conception détaillée », « Impression » et « Livraison/installation ». La recherche des expériences IR est réalisée sur la tâche de concept

« Conception détaillée » afin d'identifier les risques potentiels. La base de connaissances contient sept expériences IR à ordonner selon leur mesure de similarité.

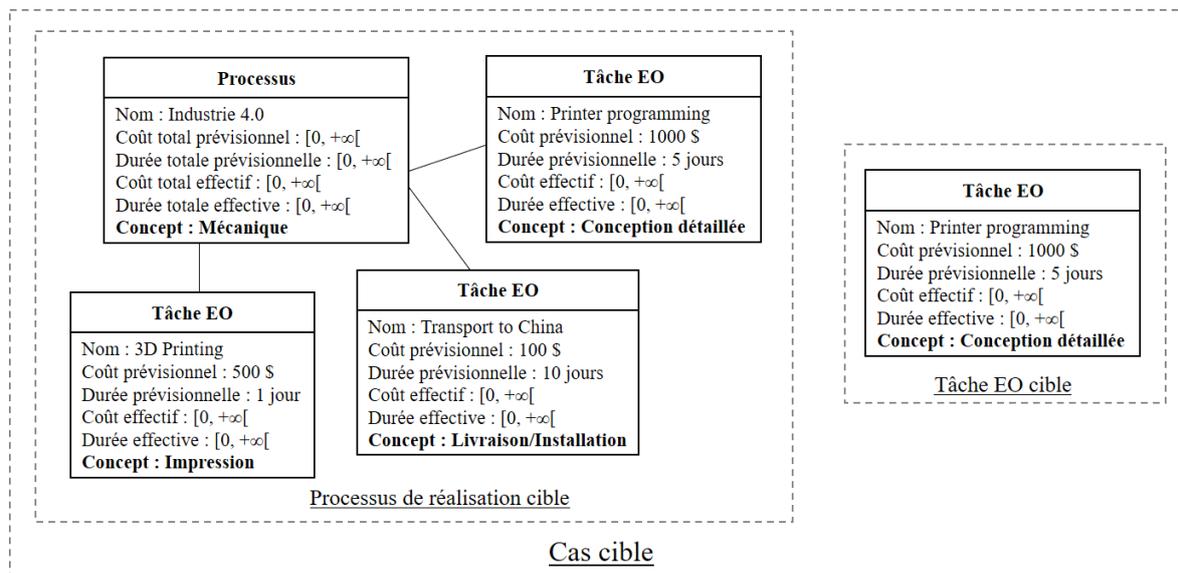


Figure 4.6 Exemple d'expérience IR capitalisée (cas cible)

Pour visualiser les risques correspondants aux cas source, pour chacun, un score est calculé. Ce score correspond à la somme des similarités entre le concept de la tâche EO cible et le concept de la tâche EO source. L'ensemble des concepts des risques est représenté avec pour chacun le score obtenu (Figure 4.7). Dans cet exemple, trois concepts de risques issus de neuf expériences IR capitalisées (cas source) ont été identifiés, « Consommable cassé » avec un score égal à 2.4, « Consommable inadéquat » avec un score égal à 1.6 et « Conditions climatiques défavorables » avec un score égal à 0.9. Pour deux expériences, le concept de la tâche source était similaire à 50% avec le concept de la tâche cible mais aucun risque n'a été associé. Le concept « ∅ » obtient donc le score de 1.

Examinons dans cet exemple le concept de risque ayant le plus grand score. L'analyse des trois cas source correspondants au concept de risque « Consommable cassé » va permettre d'aider à définir la probabilité d'occurrence. Ici, nous voyons que pour deux cas, la probabilité était de 0.8 et, pour un cas, de 0.4.

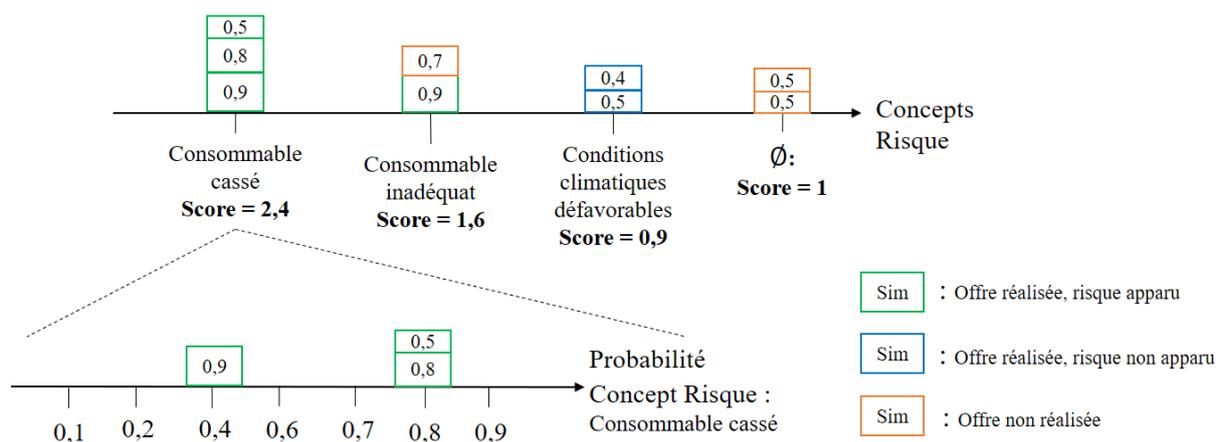


Figure 4.7 Distribution des Expériences IR selon les concepts des risques et leurs probabilités

### 4.2.3. Synthèse de l'étape de remémoration

Nous avons présenté dans cette section l'étape de remémoration des connaissances par rapport à un cas cible. La remémoration est basée sur une mesure d'inclusion pour les connaissances Risques et une mesure de similarité pour les expériences Risques.

Cette étape est réalisée autant de fois que nécessaire pour :

- identifier les risques et leur probabilité lors de la phase d'identification des risques,
- identifier les tâches impactées et leurs impacts lors de la phase d'évaluation des risques,
- les tâches curatives et préventives, ainsi que les stratégies locales, lors de la phase de mitigation.

Une fois les connaissances Risques et expériences Risques remémorées, l'étape de réutilisation peut avoir lieu.

### 4.3. Etape de réutilisation des connaissances nécessaires à l'ingénierie des risques

L'étape de réutilisation est effectuée au plus trois fois sur le processus préconisé par la norme ISO 31000 et au plus  $n$  fois sur les  $n$  tâches composant le processus de réalisation courant.

L'étape de réutilisation permet d'exploiter la connaissance capitalisée dans les connaissances Risques et les expériences Risques afin d'aider l'ingénierie des risques en réponse à appel d'offres. Seules les connaissances Risques dont la mesure d'inclusion est égale à 1 et seules les expériences Risques dont la mesure de similarité est supérieure au seuil fixé, sont exploitées.

Nous présentons dans un premier temps l'étape de réutilisation des connaissances IR, puis celle des expériences IR.

#### 4.3.1. Réutilisation des connaissances IR

L'exploitation des connaissances IR est systématique dès lors que la mesure d'inclusion est égale à 1. En effet, les connaissances IR sont considérées comme véridiques et incontournables. Elles sont donc systématiquement exploitées lors de l'ingénierie des risques courante. Cette sous-section présente la manière d'exploiter les connaissances IR ainsi qu'un exemple tiré de notre exemple fil rouge.

#### **4.3.1.1. Exploitation systématique des connaissances IR**

L'exploitation des connaissances IR est systématique, et nul ne peut y déroger, lorsque l'étape de remémoration est terminée avec l'ensemble identifié des connaissances IR (cas source) dont la mesure d'inclusion est non nulle. Cependant, quelques spécificités existent au regard de la phase du processus d'ingénierie des risques proposé par la norme ISO 31000.

Dans un premier temps, considérons la phase d'identification des risques de la norme ISO 31000. Les connaissances Risques étant valides pour tout processus de réalisation identique ou plus spécialisé dans le contexte IR défini, les risques identifiés, ainsi que leurs probabilités d'occurrence décrits dans les cas source, sont systématiquement ajoutés au processus de réalisation courant, pour la tâche cible traitée.

Dans un deuxième temps, considérons la phase d'analyse et évaluation des risques. Dans le cas où un ou plusieurs impacts des risques identifiés dans les connaissances IR remémorées sont associés à des tâches impactées qui n'existent pas dans le processus de réalisation en cours, ils sont associés aux tâches de concept les plus proches du processus de réalisation en cours. À cet effet, la tâche impactée du cas source est comparée aux tâches du processus de réalisation en cours. La tâche du processus de réalisation en cours la plus similaire à la tâche impactée du cas source, est considérée comme la tâche impactée par le risque identifié. Néanmoins, dans le cas où le processus de réalisation en cours ne contient pas de tâche EO suffisamment similaire à la tâche impactée du cas source, alors le risque n'est pas retenu puisque ce dernier impacterait une tâche qui n'existe pas dans le processus de réalisation en cours.

Dans un troisième temps, considérons la phase de mitigation des risques. La connaissance IR capitalisée peut également aider à renseigner une ou des stratégies locales pour la mitigation des risques ainsi que des réductions d'impacts associées. Les concepts des stratégies locales, des tâches IR ainsi que des réductions d'impacts sont directement instanciées et réutilisées comme les concepts des risques.

#### **4.3.1.2. Exemple de réutilisation de connaissance IR**

Reprenons les exemples illustrés dans les figures 4.4 et 4.5, la réutilisation du cas source remémoré permet d'associer systématiquement le risque du concept « Consommables insuffisants » à la tâche de concept « Conception détaillée » du processus de réalisation en cours. L'utilisateur peut désormais adapter l'entité Risque copiée et renseigner un nom « Encre insuffisante » comme illustré dans la figure 4.8. L'impact de la connaissance IR est également adapté au processus de réalisation en cours. Néanmoins le processus de réalisation cible ne comporte pas de tâche EO de concept « Livraison ». Dans ce cas, l'impact est associé à la tâche EO ayant le concept le plus similaire au concept « Livraison ». Dans cet exemple, la tâche « Transport to China » sera considérée comme la tâche impactée. Le calcul de similarité est détaillé dans la section 4.2.2.1.

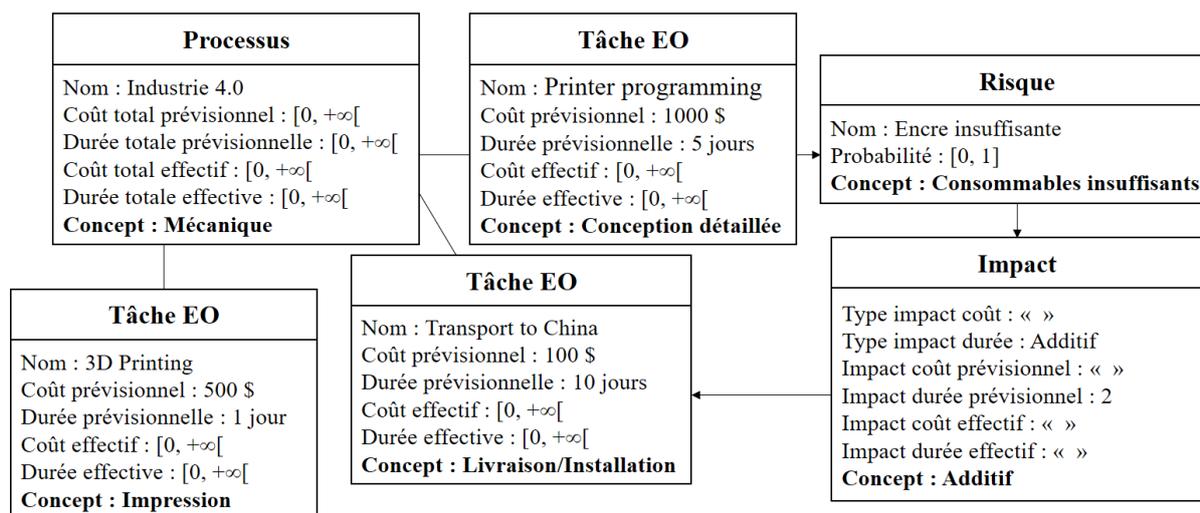


Figure 4.8 Exemple de réutilisation d'une Connaissance IR récupérée

### 4.3.2. Réutilisation des expériences IR

Toutes les expériences IR qui sont similaires au processus cible au-delà d'un certain seuil sont présentées à la personne en charge de l'ingénierie des risques qui peut ensuite choisir de réutiliser ou non les risques associés. Cette sous-section présente la manière d'exploiter les expériences IR ainsi qu'un exemple tiré de notre exemple fil rouge.

#### 4.3.2.1. Application intentionnelle des expériences IR

La réutilisation des expériences IR, contrairement aux connaissances Risques, est intentionnelle. C'est après l'analyse des expériences Risques remémorées et pertinentes, qu'il est décidé ou non de prendre en compte l'expérience dans l'ingénierie courante. Notons cependant que les éléments dont les concepts ont déjà été intégrés lors de l'application des connaissances IR ne sont pas pris en compte. Tout comme pour les connaissances Risque, quelques spécificités existent au regard de la phase du processus d'ingénierie des risques proposé par la norme ISO 31000.

Dans un premier temps, considérons la phase d'identification des risques de la norme ISO 31000. Lorsqu'un risque, issu d'une expérience Risque est réutilisé, toutes les valeurs des attributs doivent être adaptées. Le concept est conservé, mais le nom du risque et la valeur de sa probabilité peuvent être modifiés et adaptés par rapport à l'ingénierie des risques en cours. Pour la valeur de probabilité, la liste des Expériences IR remémorées est utilisée.

Dans un deuxième temps, considérons la phase d'analyse et d'évaluation. Les impacts des expériences IR remontées sont affichés à l'utilisateur selon une répartition basée sur les concepts des tâches impactées et les concepts des impacts, additionnel ou multiplicatif (Figure 4.9).

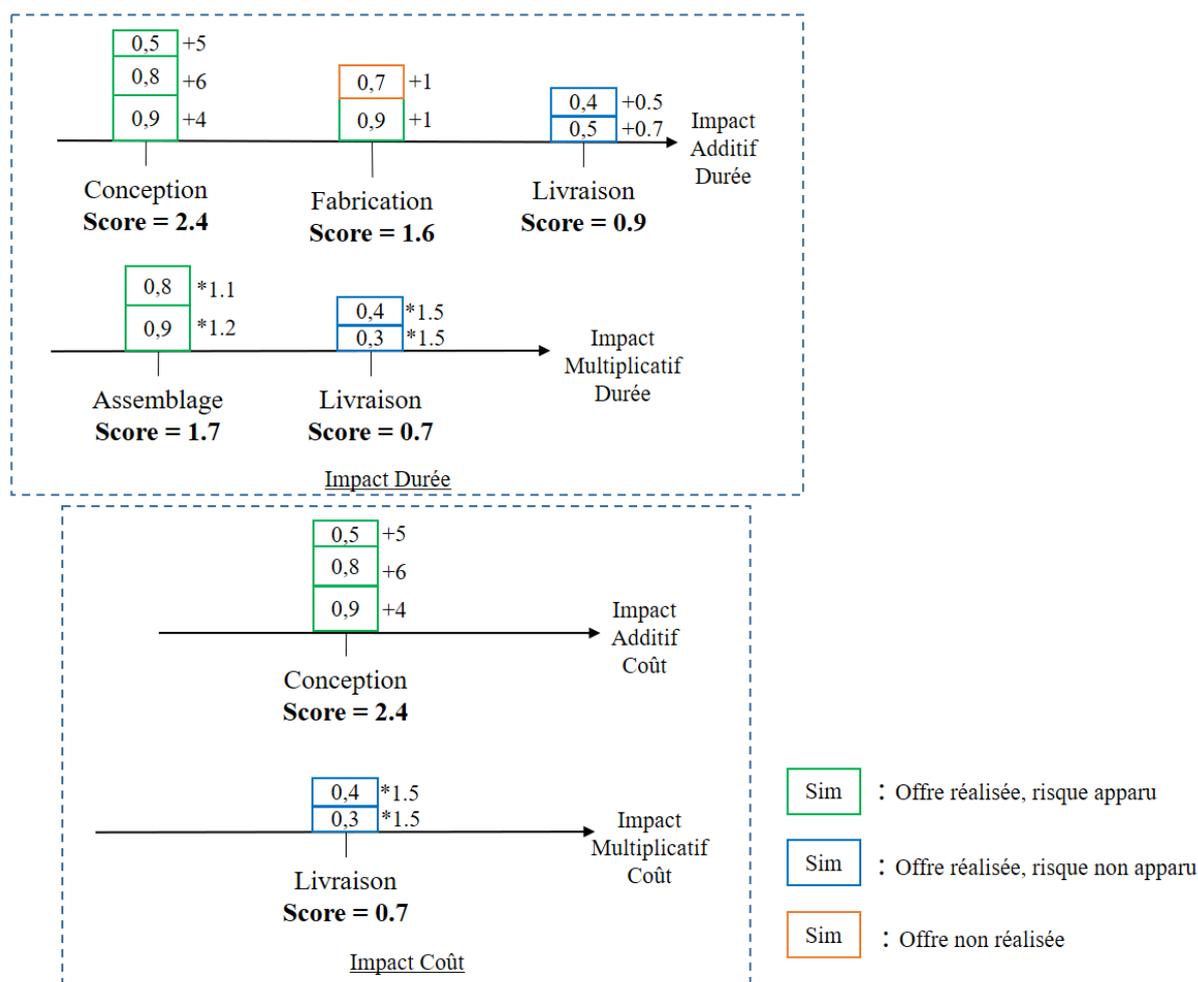


Figure 4.9 Distribution des expériences IR pour un risque  $R_{ik}$  selon les concepts des tâches impactées et les concepts des impacts

Dans cet exemple, le risque  $R_{ik}$  est associé à la tâche source  $T_i$ . Les expériences IR similaires, remémorées et présentées à la personne en charge de l'évaluation des risques, montrent : (i) des impacts additifs sur la durée des tâches de concepts « Conception », « Fabrication » et « Livraison », (ii) des impacts multiplicatifs sur la durée des tâches de concepts « Assemblage » et « Livraison » (iii) des impacts additionnels sur le coût de la tâche de concept « Conception » et (ii) des impacts multiplicatifs sur le coût de la tâche de concept « Livraison ».

Prenons les expériences remémorées avec un impact additif sur la métrique durée de la tâche de concept « Conception ». Trois expériences IR similaires ont été la cible du risque courant qui a impacté la tâche de conception. Ces trois expériences IR représentent des offres réalisées et le risque concerné est apparu. Le score des expériences IR, calculé à partir des similarités, est égal à 2.4 (somme des similarités). Devant chaque expérience IR remémorée, une valeur est affichée. Elle désigne la valeur d'impact du risque sur la tâche de conception.

La personne en charge de l'évaluation des risques visualise et interprète les expériences IR remémorées à l'aide du score pour chaque concept de tâche impactée, du type d'impact et de la valeur de l'impact, pour choisir à la fin une tâche impactée et une valeur d'impact.

Dans un troisième temps, considérons la phase de mitigation des risques. Pour chaque risque identifié, la personne en charge de l'ingénierie des risques, visualise la liste des concepts de tâches IR utilisés dans les expériences IR similaires et décide de la tâches IR à mettre en place.

Ci-dessous un exemple de tâches IR proposées pour un risque  $R_i$  (Tableau 4.1).

Risque $R_{ik}$	Concept	Nombre des expériences IR
Tâche préventive 1	Formation	5 expériences IR
Tâche préventive 2	Action GRH : gestion des ressources humaines.	2 expériences IR
Tâche curative 1	Sous-traitance.	1 expérience IR
Tâche curative 2	Recherche de ressources adaptées.	1 expérience IR

Tableau 4.1. Exemple de tableau de tâches IR issues des Expériences IR remémorées

Dans cet exemple, quatre tâches IR ont été utilisées pour mitiger le risque  $R_{ik}$ . Deux tâches préventives ont été utilisées dans sept expériences IR similaires et deux tâches curatives ont été utilisées dans deux expériences IR passées similaires. La personne en charge de l'ingénierie des risques choisit dans ce cas une ou plusieurs tâches IR parmi celles proposées. Elle peut aussi utiliser une ou plusieurs nouvelles tâches IR pour mitiger les risques. Par la suite, l'utilisateur sélectionne les tâches IR choisies pour créer les stratégies locales et définir les réductions d'impacts.

#### 4.3.3. Synthèse de l'étape d'exploitation

Nous avons présenté dans cette section l'étape d'exploitation des connaissances par rapport à un cas cible. L'exploitation des connaissances Risques est systématique tandis que l'exploitation des expériences Risques est intentionnelle. Les expériences Risques pour un risque  $R_{ik}$  sont présentées selon leur distribution dans la base de connaissance. C'est après l'analyse des expériences Risques que celles-ci seront exploitées ou non dans l'ingénierie des risques courante.

Une fois l'ingénierie des risques terminée et l'offre acceptée par le client, la phase de suivi de l'offre peut débuter. Celle-ci se résume à capitaliser les données effectives sur les tâches du processus : la durée des tâches, l'occurrence effective des risques identifiés, la survenue de risques non prévus, la surveillance des impacts, les actions et stratégies mises ou non en place, etc.

Les connaissances Risques et les expériences Risques peuvent être capitalisées à tout moment dans le processus d'ingénierie des risques. Cette capitalisation fait l'objet de la section suivante.

#### 4.4. Etape de capitalisation des connaissances nécessaires à l'ingénierie des risques

L'étape de capitalisation est très importante pour aider l'ingénierie des risques en réponse à appel d'offres. C'est lors de cette étape que l'ensemble des connaissances nécessaires à l'ingénierie des risques sont capitalisées pour une exploitation future. Afin de garantir la cohérence et la véracité des connaissances en ingénierie des risques capitalisées deux règles sont à respecter avant de capitaliser les connaissances IR. Ces dernières font l'objet de cette

section. Concernant les expériences IR, seul un expert risque peut autoriser ou non la capitalisation des expériences dans la base de connaissances.

#### 4.4.1. Capitalisation des connaissances Risques

L'expert risque crée des connaissances IR, par instanciation de certaines ou de toutes les classes du modèle UML proposé dans le chapitre 3 (voir section 3.3). Ces connaissances IR sont à prendre en compte et à respecter, si le domaine d'application correspond, par toutes les personnes qui réalisent une ingénierie des risques. Ainsi, la base de connaissances doit toujours contenir des connaissances IR valides qui ne conduisent pas à une inférence erronée, à une redondance ou à une contradiction. Pour cela, nous proposons dans cette section, deux règles de cohérence permettant d'avertir l'expert risque si ce dernier demande la création d'une nouvelle connaissance IR invalide ou redondante par rapport à celles déjà capitalisées et donc, d'interdire toute création d'une telle connaissance. Dans ce dernier cas, si l'expert risque est sûr de vouloir créer la nouvelle connaissance IR, il doit supprimer la ou les connaissances IR capitalisées qui causent le problème de la création de cette nouvelle connaissance IR.

##### 4.4.1.1. Unicité des connaissances IR

La règle d'unicité des connaissances IR interdit la création de plus d'une connaissance IR pour le même couple ( $C_T$ ,  $C_R$ ) de concept de risque  $C_R$  et de concept de tâche source  $C_T$  (Figure 4.10).

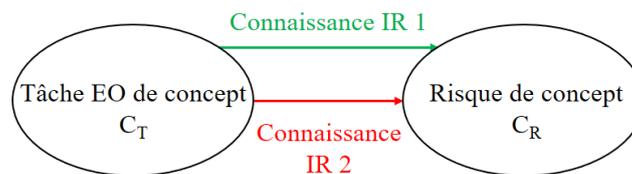


Figure 4.10 Exemple 1 de connaissances IR invalides et interdites par la règle de cohérence

Les connaissances IR, présentées dans la figure 4.10, sont interdites car sinon elles mèneraient à associer un même risque deux fois à la même tâche du processus de réalisation en cours, ce qui engendrerait un calcul erroné d'impacts et des redondances lors de la définition des tâches de mitigation, des stratégies locales et des réductions d'impacts.

##### 4.4.1.2. Cohérence taxonomique des connaissances IR

Pour la création de deux ou plusieurs connaissances IR, la règle de cohérence taxonomique exige que, si le concept tâche de la première connaissance IR ( $C_{T1}$ ) est un concept identique ou père du concept de la tâche de la deuxième connaissance IR ( $C_{T2}$ ), le concept risque ( $C_{R1}$ ) de la première connaissance doit être fils du concept risque de la deuxième connaissance IR ( $C_{R2}$ ). Ceci est illustré dans les exemples des deux figures 4.11 et 4.12.

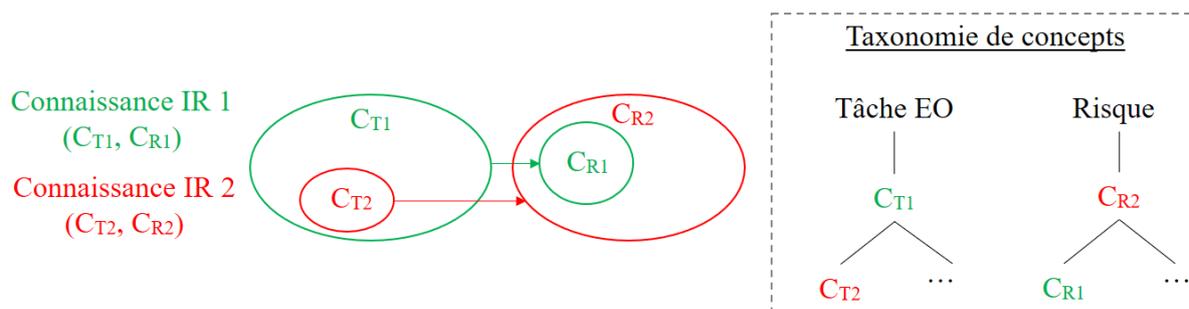


Figure 4.11 Exemple 2 de connaissances IR invalides et interdites par la règle de cohérence

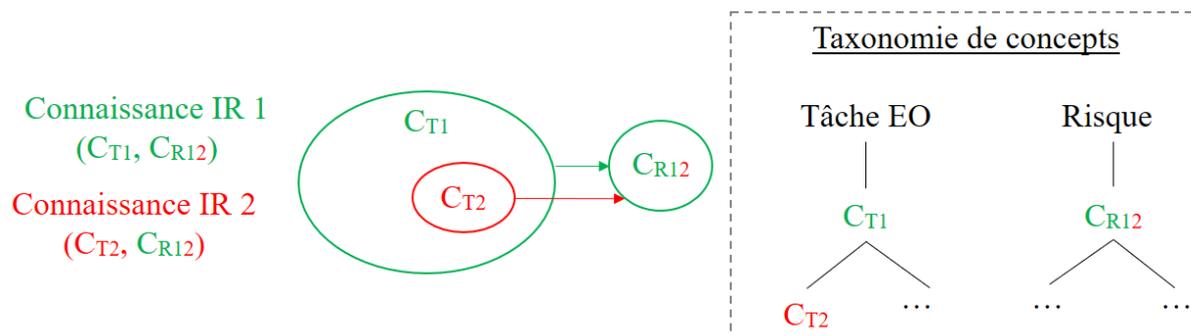


Figure 4.12 Exemple 3 de connaissances IR invalides et interdites par la règle de cohérence

La taxonomie de concepts est construite pour hiérarchiser les concepts et elle est basée sur une relation de spécialisation/généralisation entre concepts. En effet, un concept  $C_1$  spécialisé du concept  $C$  hérite de toutes les informations liées au concept parent  $C$ . La règle de cohérence interdit donc l'héritage d'informations redondantes qui conduiraient à des calculs d'impacts erronés.

#### 4.4.2. Capitalisation des expériences Risques

La capitalisation des expériences Risques repose davantage sur l'expertise humaine. Lors d'une ingénierie des risques, un utilisateur peut décider de soumettre tout ou partie de son ingénierie pour capitalisation. Cette capitalisation concerne donc, à la fois des processus de réalisation complets, uniquement certaines tâches du processus, quelques risques ou plusieurs avec ou sans stratégies de mitigation.

C'est véritablement l'expert risque, sur la base de son expérience, qui va juger bon ou non de capitaliser l'expérience. Les règles de cohérence ne s'appliquent pas dans ce cas de figure, car les expériences risque ne sont pas exploitées de manière systématique.

La base de connaissances peut alors stocker des expériences risques incohérentes ou redondantes. L'incohérence de deux expériences Risques ne pose pas de véritable problème. L'utilisateur devra faire son choix au regard des connaissances remémorées et de leur mesure de similarité. Quant à la redondance, celle-ci permet d'augmenter la confiance de l'utilisateur dans le choix des risques à prendre en compte, à leurs impacts et leurs stratégies de mitigation.

#### **4.4.3. Synthèse sur l'étape de capitalisation**

L'étape de capitalisation est une étape importante de notre proposition. L'exploitation d'une base erronée ou incohérente ne permet pas d'aider à l'ingénierie des risques en réponse à appels d'offres. Deux règles de cohérence ont été proposées pour les connaissances Risques : une règle d'unicité et une règle de cohérence taxonomique. Celles-ci garantissent la véracité des connaissances Risques. Concernant les expériences, ces deux règles-là sont moins critiques, car elles n'influent en aucun cas les étapes de remémoration et de réutilisation des expériences Risques.

#### **4.5. Conclusion du chapitre 4**

Dans ce chapitre, nous avons décrit comment exploiter le modèle de connaissance proposé dans le chapitre III. En effet, nous avons expliqué comment réutiliser la connaissance formalisée et capitalisée dans la base de connaissances pour aider l'ingénierie des risques lors de la réponse à un appel d'offres.

L'approche de réutilisation proposée dans ce chapitre suit le principe de la norme ISO 31000 où elle comprend une phase d'identification des risques, une phase d'évaluation des risques et une phase de mitigations des risques.

Nous nous sommes également basés sur les principes de la méthode CBR (Aamodt et Plaza 1994). Pour chaque phase de l'ingénierie des risques, l'approche de réutilisation proposée nous avons suivi trois étapes, (i) la définition du cas cible qui représente le problème courant pour chaque phase, (ii) la remémoration des expériences et connaissances IR capitalisées et (iii) la réutilisation de ces dernières pour aider l'ingénierie des risques en cours.

La première étape de remémoration se base sur une mesure d'inclusion pour les connaissances IR et sur une mesure de similarité adaptée de la formule de Wu et Palmer (1994) pour les expériences IR. Les connaissances IR sont réutilisées systématiquement et les risques identifiés, leurs impacts et leurs mitigations, s'ils existent, sont copiés et associés au processus de réalisation et à la tâche EO courants. Une adaptation est envisageable par l'utilisateur si besoin, par exemple pour renseigner les noms des risques identifiés. Les expériences IR similaires sont proposées, pour chaque phase, à l'utilisateur pour qu'il adapte les solutions obtenues et les réutilise pour le problème courant (cas cible).

L'ingénierie des risques s'effectue tâche par tâche, une fois que l'identification des risques, leur évaluation et leur mitigation sont finies, une phase de suivi est proposée dans l'approche de réutilisation pour renseigner les données effectives obtenues sous la condition de la réalisation de l'offre (coûts et durées des tâches EO et du processus de réalisation, occurrences effectives des risques et leurs impacts effectifs si cela est possible).

En se basant sur la méthode CBR de (Aamodt et Plaza 1994), nous avons proposé une dernière étape de capitalisation. Cette étape consiste à capitaliser les connaissances en ingénierie des risques. Pour les connaissances Risques, deux règles de cohérence, l'une portant sur l'unicité des connaissances et l'autre sur la cohérence taxonomique des connaissances, doivent être respectées afin de garantir la validité de la base de connaissances. Pour les expériences Risques,

Exploitation de la connaissance sur les risques capitalisée pour aider l'ingénierie des risques

leur capitalisation est confiée à un expert risque qui peut, ou non, valider cette nouvelle expérience IR pour qu'elle serve aux futures ingénieries des risques.



# Chapitre 5

## Exemple de mise en œuvre d'un processus d'ingénierie des risques

Dans ce chapitre, nous présentons une mise en situation de nos propositions d'aide à l'ingénierie des risques. Le cas illustré est inspiré d'un cas d'usage mis en œuvre dans le projet ANR OPERA par l'entreprise « Mécanumeric », partenaire industriel dans ce projet. Il illustre l'ensemble des propositions réalisées dans ce travail en s'appuyant sur le logiciel OPERA développé dans le cadre du projet.

Le logiciel OPERA est un démonstrateur permettant de bâtir des réponses à appel d'offre pour des produits, des systèmes ou des services en réalisant une ingénierie des risques sur le processus de réalisation de l'offre. Le but est de mitiger les risques possibles et donc de mieux maîtriser les incertitudes quant au respect des exigences de délai et de coût lorsque l'offre est acceptée par le client. Le logiciel OPERA est modulaire avec un module propre à l'élaboration des offres (offre et processus de réalisation) et un module propre à l'ingénierie des risques. Dans nos travaux de thèse, nous avons défini les spécifications du module d'aide à l'ingénierie des risques grâce à des développements réalisés en PHP. Pour la partie ingénierie des risques, la base d'expériences/connaissances a également été spécifiée à partir des modèles présentés dans le chapitre 3. Ces travaux ont ensuite permis de réaliser l'intégration en langage Ruby grâce à l'environnement Ruby on Rails par l'équipe de développeurs du projet ANR OPERA. Nous illustrons donc notre exemple en déroulant un scénario d'aide à l'ingénierie des risques qui utilise le logiciel OPERA.

L'exemple met en œuvre un scénario de réalisation du processus complet partant de l'élaboration d'une offre jusqu'à la réalisation du processus d'ingénierie des risques. Ce processus comporte les activités suivantes : (i) la création d'une offre d'une machine spéciale avec son processus de réalisation, (ii) l'identification des risques (et de leur probabilité d'occurrence), (iii) l'évaluation des risques (quantification des impacts et identification des tâches impactées), iv) la mitigation des risques (définition des tâches IR curatives et préventives, des stratégies de mitigation et de réduction d'impacts pour chaque risque) et v) la simulation de risques et de stratégies de mitigation afin, pour l'utilisateur, de sélectionner la plus intéressante.

La section 5.1 permet de présenter le scénario à cinq étapes mis en œuvre pour illustrer l'aide à l'ingénierie des risques pour un utilisateur qui utilise le logiciel OPERA. Le scénario tient compte des interactions avec la base de connaissances/expériences afin de montrer les éléments qui en sont extraits ou qui sont enregistrés.

Dans la section 5.2, nous présentons l'activité d'élaboration de l'offre qui permet d'obtenir la solution technique et son processus de réalisation, mais également le contexte de réalisation de l'offre.

La section 5.3 aborde la première étape de l'ingénierie des risques. L'identification des risques est réalisée sur l'exemple en se basant sur le modèle de connaissance lié à l'ingénierie des risques proposé dans le chapitre 3 ainsi que sur l'approche de réutilisation proposée dans le chapitre 4.

La section 5.4 illustre l'évaluation des risques. L'identification des tâches impactées et la quantification des impacts sont assistées grâce à l'approche de réutilisation des connaissances et des expériences proposée dans le chapitre 4.

La section 5.5 de ce chapitre illustre l'étape de mitigation des risques avec la création d'une tâche IR pour chaque risque et d'une stratégie locale de mitigation. La section 5.6 est dédiée à la simulation des scénarios possibles après l'ingénierie des risques.

### **5.1.Scénario de mise en œuvre d'une aide à l'ingénierie des risques**

Le diagramme de séquence UML de la figure 5.1 illustre le scénario de mise en œuvre du processus complet. Les cinq étapes sont représentées (création d'offre, identification, évaluation, mitigation des risques et simulation). Les lignes de vie du diagramme de séquence correspondent à l'utilisateur, au logiciel OPERA et à la base de connaissances/expériences. Les échanges synchrones entre ces éléments sont représentés par les flèches horizontales.

## Exemple de mise en œuvre d'un processus d'ingénierie des risques

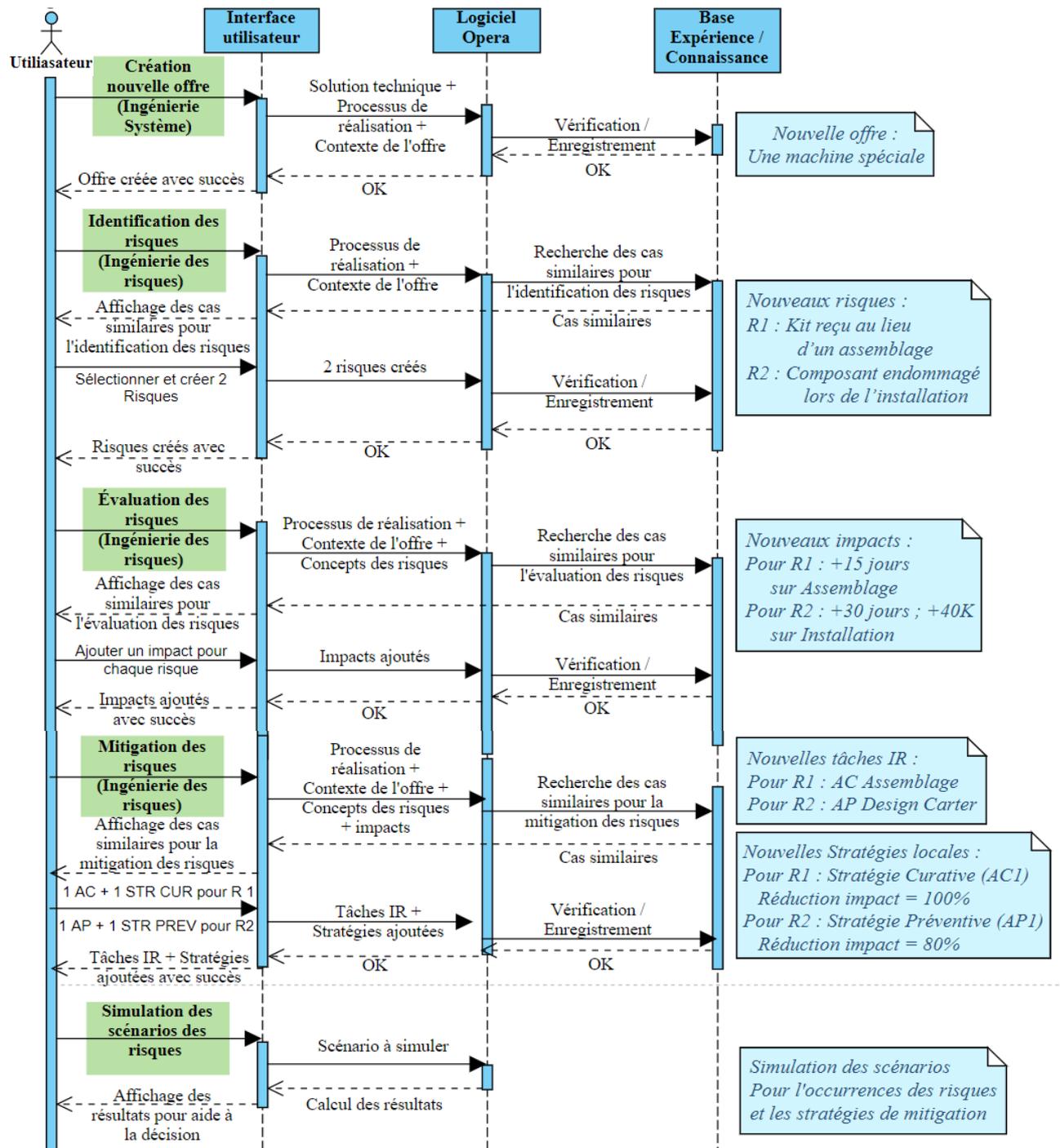


Figure 5.1 Diagramme de séquence pour un exemple d'ingénierie des risques

La réalisation de ce scénario est décrite dans les sections qui suivent.

### 5.2. Création d'une offre, de son processus de réalisation et de son contexte

Le processus de réalisation que nous prenons comme exemple est issu d'un cas d'usage de l'entreprise « Mécanuméric ». Ce dernier est associé au concept « Processus » (i.e. le concept le plus général possible) et son nom est « Machine spéciale ». Il est composé de cinq tâches, chacune avec un coût et une durée prévisionnels, un nom et un concept de tâche EO.

Le processus de réalisation décrit ci-dessus est illustré dans la figure 5.2 :

## Exemple de mise en œuvre d'un processus d'ingénierie des risques

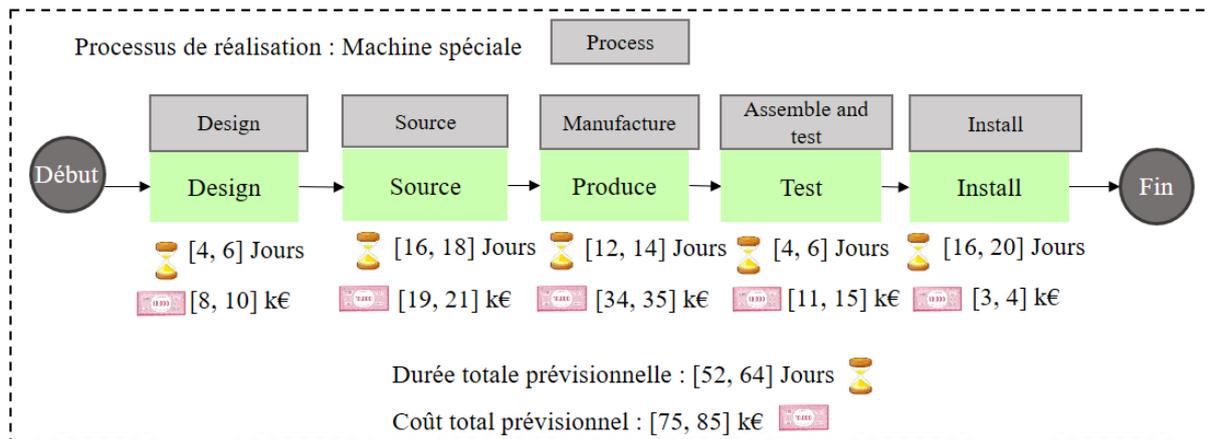


Figure 5.2 Processus de réalisation de la machine spéciale

Le processus de réalisation illustré dans la figure 5.2 se compose de cinq tâches EO respectivement associées aux concepts : Design, Source, Manufacture, Assemble and test et Install. Ces concepts sont issus de la taxonomie de concepts de la base de connaissances. La durée et le coût totaux du processus sont calculés pour un scénario nominal sans occurrence de risques.

Le logiciel OPERA permet de créer une offre en renseignant son nom, « Machine spéciale » dans notre exemple.

Après la création de l'offre, l'utilisateur définit le contexte (Figure 5.3). Pour notre exemple, le contexte est décrit par une seule variable nommée « Machine Complexe ». Cette variable possède un domaine booléen et l'utilisateur choisit la valeur « oui ».

Variables

Domaine	Domaine contraint	Valeurs utilisateur
Machine - ALT1 / - / Machine complexe		Oui Non

Figure 5.3 Définition du contexte de l'offre « Machine spéciale »

Après la création de l'offre et la définition de son contexte, la création d'un processus de réalisation est possible. Dans cet exemple, le processus est créé (Figure 5.2) avec le même nom que l'offre « Machine spéciale ». L'ajout des tâches EO est présenté dans la figure suivante (Figure 5.4) :

## Exemple de mise en œuvre d'un processus d'ingénierie des risques

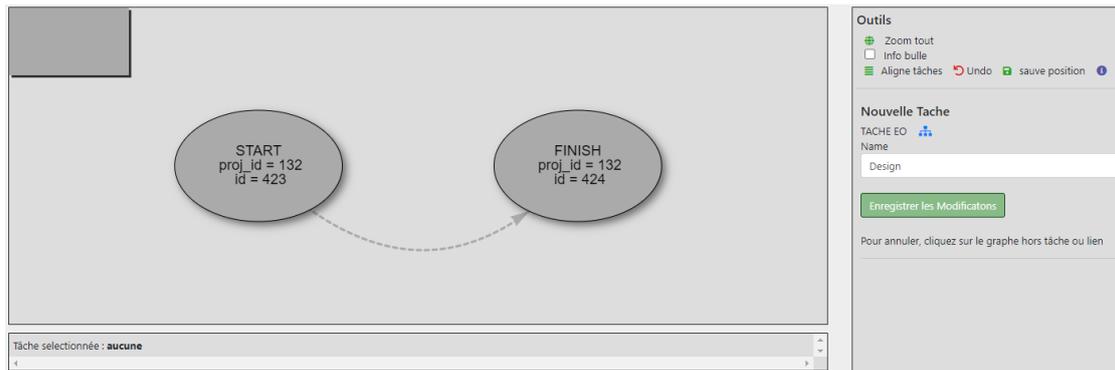


Figure 5.4 Création d'une nouvelle tâche appelée « Design »

La tâche EO « Design » est créée en renseignant en premier lieu son nom (Figure 5.4). Par défaut, le concept de la tâche est le plus général : « Tâche EO ». La figure suivante (Figure 5.5) montre la taxonomie affichée à l'utilisateur pour permettre la spécialisation du concept « Tâche EO » en « Design » dans notre exemple.

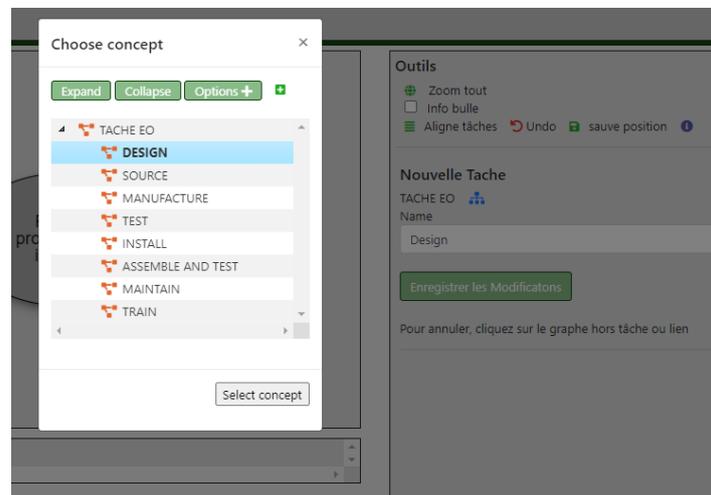


Figure 5.5 Choix du concept « Design » pour la tâche EO

Quand la tâche est créée, l'utilisateur doit renseigner les valeurs des métriques de coût et durée liées à la tâche comme le montre la figure 5.6.



Figure 5.6 Ajout des valeurs des métriques liées à la nouvelle tâche EO « Design »

Dans la figure 5.6, la nouvelle tâche EO « Design » a une valeur de coût exprimée sous forme d'intervalle et est égale à [8, 10]. La valeur de la durée de cette tâche est également exprimée sous forme d'intervalle et est égale à [4, 6].

La même démarche de création de tâche est suivie pour aboutir au processus complet. La figure suivante (Figure 5.7) montre le processus complet après la création de cinq tâches : « Design » de concept « Design », « Source » de concept « Source », « Manufacture » de concept « Produce », « Assemble and test » de concept « Test » et la tâche « Install » de concept « Install ».

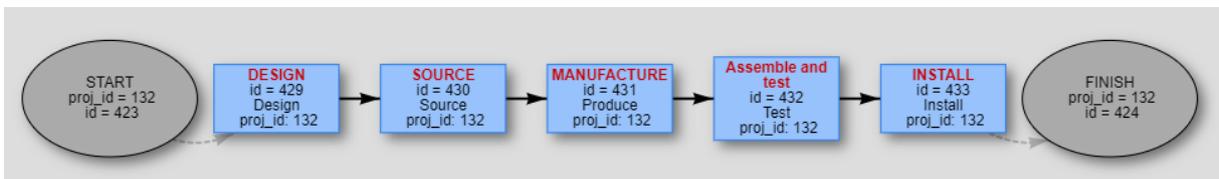


Figure 5.7 Processus de réalisation complet édité dans le logiciel OPERA

### 5.3. Identification des risques

La première étape d'ingénierie des risques est l'identification des risques. Lors de cette étape, le processus de réalisation est déjà créé ainsi que le contexte de l'offre. L'utilisateur peut consulter les offres passées d'ingénierie des risques qui lui sont proposées par le logiciel OPERA. Il choisit ainsi les concepts de risques qui lui semblent pertinents et crée les nouveaux risques associés aux tâches pour le processus de réalisation courant.

Exemple de mise en œuvre d'un processus d'ingénierie des risques

Pour créer un risque, l'utilisateur renseigne le concept du risque, la tâche source, le nom du risque, sa description et sa probabilité.

La figure suivante (Figure 5.8), montre la sélection, dans la taxonomie des concepts de risque (cf. chapitre 3), du concept du nouveau risque à créer.

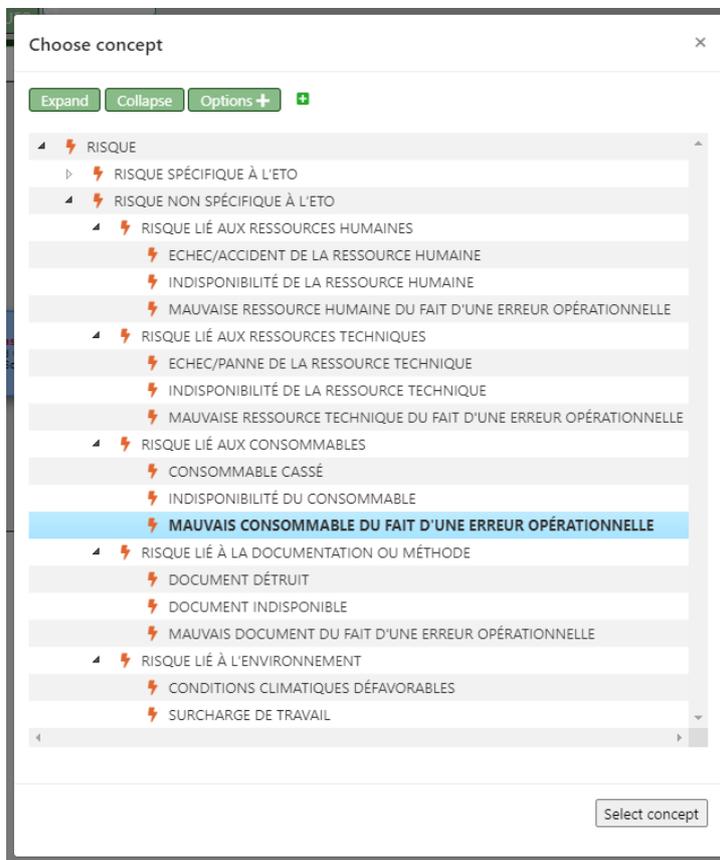


Figure 5.8 Sélection du concept pour le nouveau risque appelé « Mauvais consommable du fait d'une erreur opérationnelle »

Dans cet exemple, le concept du premier risque est « Mauvais consommable du fait d'une erreur opérationnelle ». Ce concept est spécialisé à partir du concept « Risque lié aux consommables », lui-même étant une spécialisation du concept « Risque non lié à l'ETO » (Voir la taxonomie des risques dans le chapitre 3, figure 3.14).

L'utilisateur renseigne ensuite la tâche source du risque, le nom du risque, sa description et sa probabilité d'occurrence, comme le montre la figure 5.9.

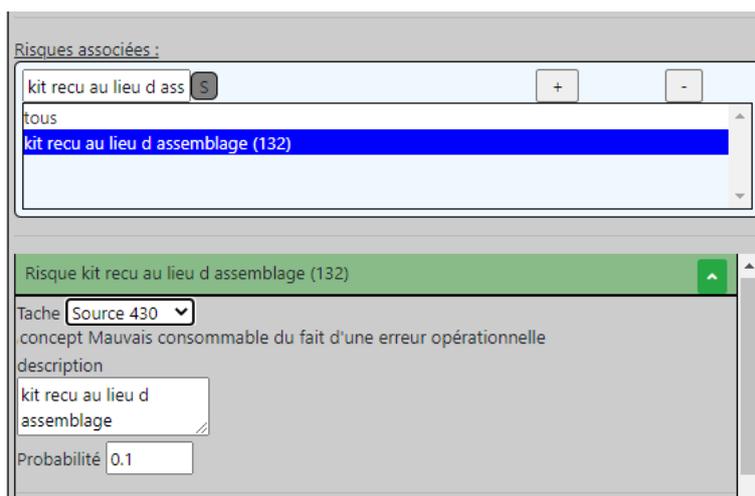


Figure 5.9 Création du risque appelé « Kit reçu au lieu d'un assemblage »

Dans l'exemple de ce chapitre, le premier risque est appelé « Kit reçu au lieu d'un assemblage » (Figure 5.9). Ce risque est lié à la tâche d'approvisionnement appelée « Source ». La probabilité de ce risque est de 0.1.

Dans cet exemple, l'utilisateur crée un deuxième risque de concept « Echech/Panne de la ressource technique » (Figure 5.10).

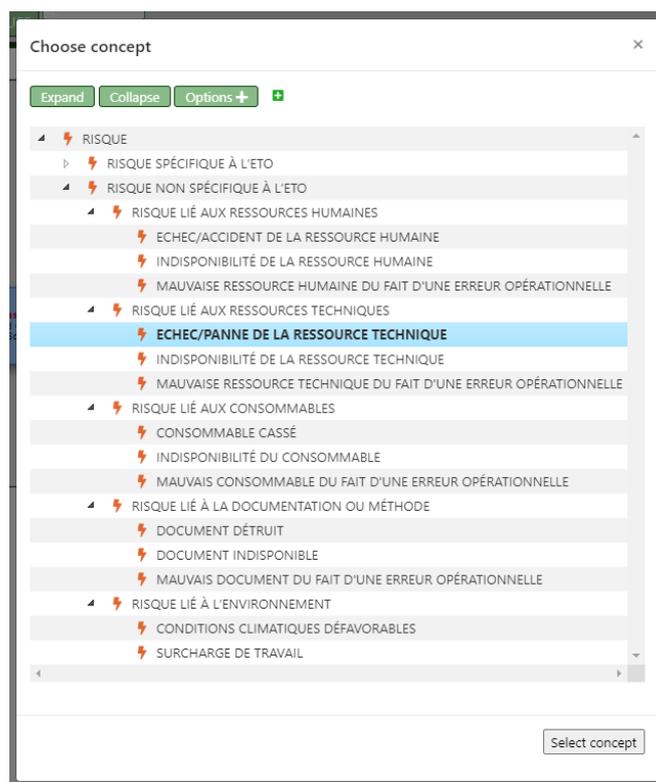


Figure 5.10 Sélection du concept « Echech/Panne de la ressource technique » pour le second risque

Le deuxième risque est lié à la tâche « Install ». Il est nommé « Composant endommagé lors de l'installation », sa description est « Installation d'une machine particulière » et sa probabilité d'occurrence est égale à 0.01 (Figure 5.11).

## Exemple de mise en œuvre d'un processus d'ingénierie des risques

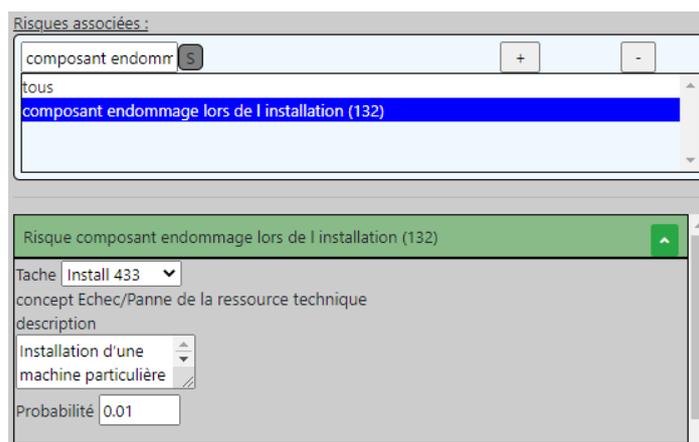


Figure 5.11 Création du deuxième risque nommé « Composant endommagé lors de l'installation »

Les deux risques sont maintenant visibles sur le processus de réalisation comme le montre la figure 5.12 issue d'une copie d'écran du logiciel OPERA. Les tâches sujettes à risque sont mises en évidence.

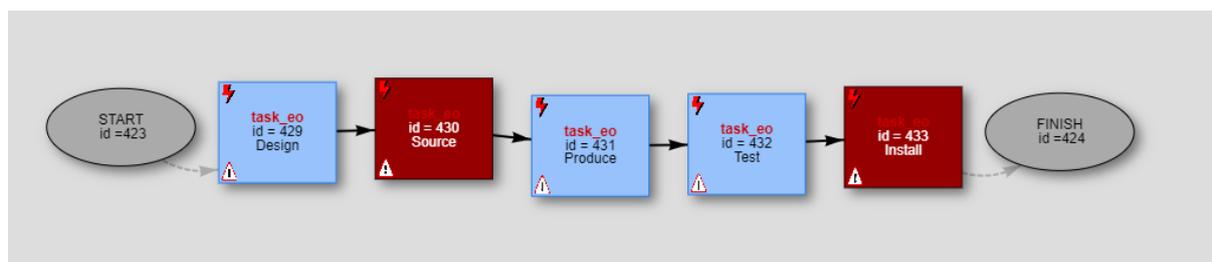


Figure 5.12 Processus de réalisation avec les deux risques créés

Après la création des risques, l'utilisateur ajoute les valeurs des impacts de ces derniers ainsi que les tâches impactées. Ceci est détaillé dans la section suivante.

Illustrons maintenant l'exploitation de connaissances IR et d'expériences IR dans le logiciel OPERA. Nous mettons en œuvre les propositions faites dans le chapitre 4 afin d'aider l'utilisateur. Pour cela, un troisième risque est associé à la tâche « Produce » qui est de concept « Manufacture ». Le logiciel OPERA nous suggère des risques avec pour chacun un ensemble de connaissances IR et/ou d'expériences IR. La figure 5.13 illustre le choix du concept de risque « Conditions climatiques défavorables ». Les connaissances IR proposées à l'utilisateur sont indiquées en haut de liste. Ici, le risque « Environnement/Fab » est une connaissance IR capitalisée dans le cas #11 appelé « OFFRE GEN. » et qu'il faut nécessairement ajouter (l'inclusion est égale à 1.0) au cas courant. Un ensemble d'expériences IR est également disponible avec une similarité représentée entre parenthèses. Par exemple, l'expérience IR #30 (appelée « Offre SPE 1 ») suggère de rajouter le risque de concept « CondClim-Neige ». La similarité entre la tâche courante « Produce » et la tâche source du risque dans l'expérience IR #30 est de 0.67. La probabilité d'occurrence de ce risque dans l'expérience IR #30 vaut 0.1. L'utilisateur peut choisir ce risque et l'ajouter en l'adaptant au cas courant.

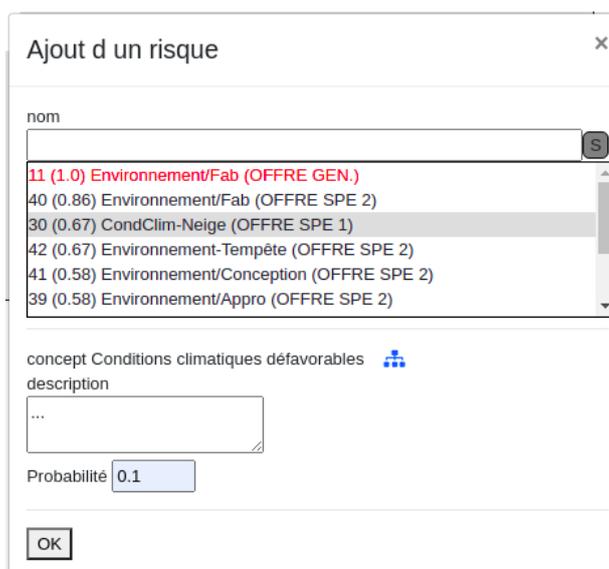


Figure 5.13 Exploitation de connaissances IR et d'expériences IR

#### 5.4. Evaluation des risques

L'évaluation des risques permet de quantifier les impacts des risques et de définir les tâches impactées. Le premier risque impacte la tâche d'assemblage en rajoutant 15 jours à sa durée (Figure 5.14).

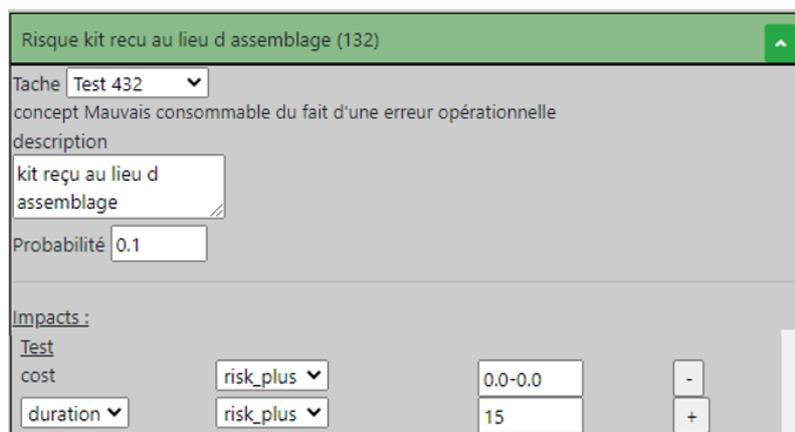


Figure 5.14 Ajout des impacts pour le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage »

La figure 5.14 montre que, pour ajouter un impact de risque, il faut renseigner la tâche impactée, c'est-à-dire la tâche de concept « Test » dans cet exemple. L'utilisateur renseigne ensuite le type d'impact (additionnel dans notre exemple) et rajoute à la fin la valeur de l'impact qui peut être sous forme d'intervalle ou d'une seule valeur.

Le deuxième risque « Composant endommagé lors de l'installation » impacte la même tâche source « Install ». La tâche « Install » est donc à la fois la tâche source et la tâche impactée pour ce deuxième risque.

Risque composant endommagé lors de l'installation (132)

Tache: Install 433

concept Echec/Panne de la ressource technique

description

Installation d'une machine particulière

Probabilité: 0.01

Impacts :

Impact	Direction	Value	Operator
cost	risk_plus	40.0-40.0	-
duration	risk_plus	30.0-30.0	+

Figure 5.15 Ajout impacts pour le risque « Composant endommagé lors de l'installation »

Dans la figure 5.15, le deuxième risque « Composant endommagé lors de l'installation » impacte la tâche « Install » en rajoutant 40 k€ à son coût et 30 jours à sa durée.

Nous illustrons maintenant l'exploitation d'expériences IR pour aider l'utilisateur à définir les impacts du risque de concept « CondClim-Neige » de tâche source « Produce ». Sur la figure 5.16, le choix de la tâche impactée « Produce » indique la distribution des valeurs de durée de tâche pour les expériences IR passées, avec un concept d'impact multiplicatif. Le score maximum obtenu vaut 3.86 pour les valeurs comprises entre 1.40 et 1.60 (somme des similarités entre la tâche « Produce » et la tâche impactée pour les expériences IR passées). Cet intervalle peut donc être réutilisé comme coefficient multiplicateur de la durée en tant qu'impact sur la tâche « Produce » si le risque « CondClim-Neige » apparaît lors de sa réalisation. Une vision plus pessimiste de l'utilisateur peut au contraire mener à définir la valeur maximale comme multiplicateur de durée (3.00 dans notre cas).

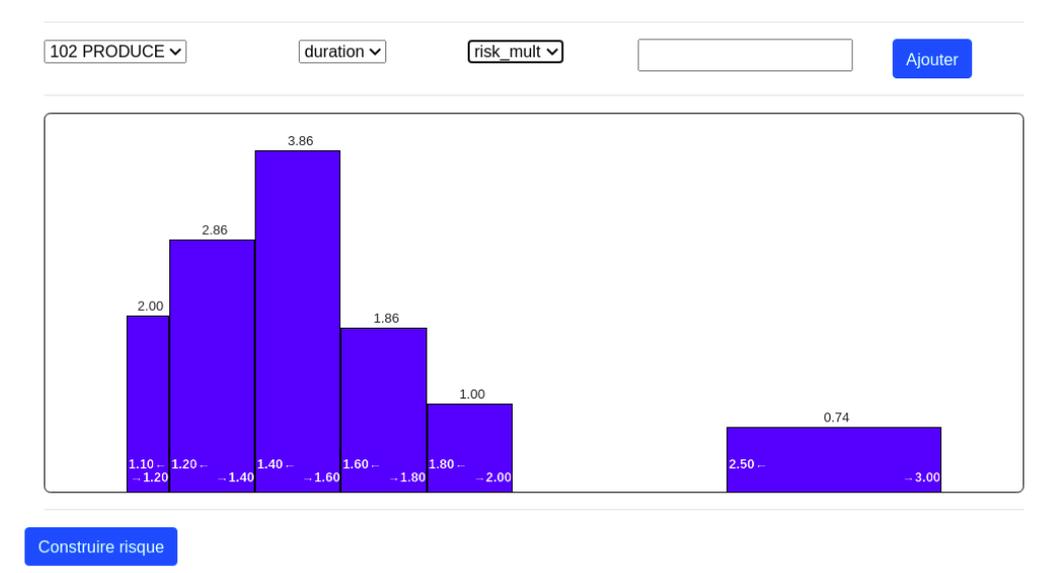


Figure 5.16 Distribution des valeurs d'impacts sur la durée de la tâche « Produce »

## 5.5. Mitigation des risques

Après la création des risques et l'ajout des tâches impactées et des impacts, l'étape de mitigation des risques débute. Il s'agit de définir des tâches IR curatives et/ou préventives ainsi que des stratégies locales et de préciser comment elles vont réduire les impacts. L'utilisateur crée les tâches IR en renseignant leur nom et les valeurs de leurs métriques. Il crée ensuite les stratégies locales pour chaque risque et ajoute les réductions d'impacts associées.

### 5.5.1. Création des tâches curatives/préventives

Dans notre exemple, une tâche curative est créée pour le premier risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » et une tâche préventive est créée pour le deuxième risque « Composant endommagé lors de l'installation ».

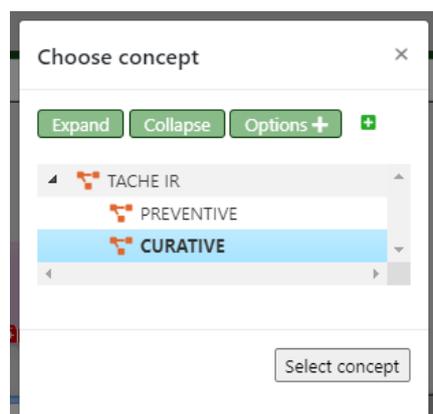


Figure 5.17 Sélection d'un concept de la tâche curative pour le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage »

La figure 5.17, montre la sélection du concept de la tâche d'ingénierie des risques « Curative ». L'utilisateur peut maintenant renseigner le nom de la tâche et la créer comme montré dans la figure suivante (Figure 5.18).

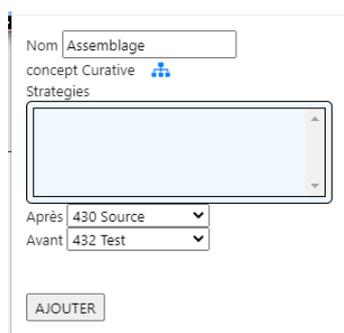


Figure 5.18 Création de la tâche curative appelée « Assemblage »

La tâche curative pour la mitigation du risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » est appelée « Assemblage » (Figure 5.18). Elle est positionnée après la tâche d'approvisionnement dont le concept est « Source » et avant la tâche d'assemblage et test dont le concept est « Test ». Elle sera donc en parallèle avec la tâche de fabrication de concept « Produce » (Figure 5.21).

Pour le deuxième risque « Composant endommagé lors de l'installation », une tâche IR est définie avec le concept « Préventive ».

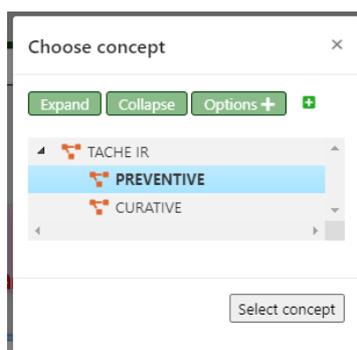


Figure 5.19 Concept tâche préventive pour le risque « Composant endommagé lors de l'installation »

La figure 5.19, montre la sélection du concept de la tâche d'ingénierie des risques « Préventive ». L'utilisateur peut maintenant renseigner le nom de la tâche et la créer comme montré dans la figure suivante (Figure 5.20).

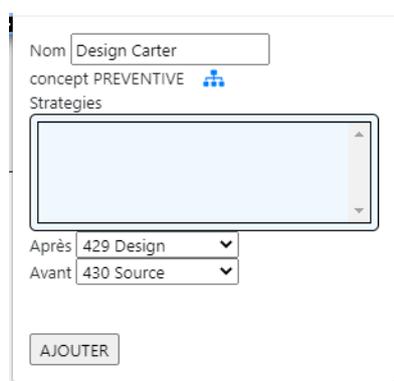


Figure 5.20 Création de la tâche préventive appelée « Design Carter »

La tâche préventive pour la mitigation du risque « Composant endommagé lors de l'installation » est appelée « Design Carter » (Figure 5.20). Elle est positionnée après la tâche de conception dont le concept est « Design » et avant la tâche d'approvisionnement dont le concept est « Source » (Figure 5.21).

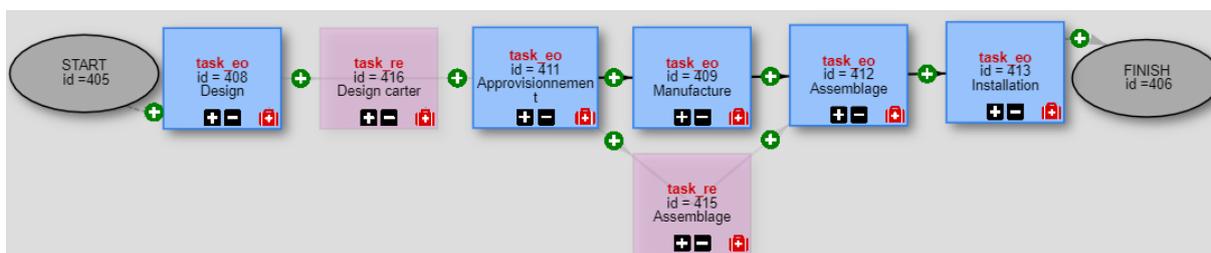


Figure 5.21 Processus de réalisation avec les deux tâches de mitigation

### 5.5.2. Définition des stratégies locales et des réductions d'impacts

Pour le premier risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage », une stratégie locale curative est définie contenant la tâche curative « Assemblage » comme le montre la figure 5.22.

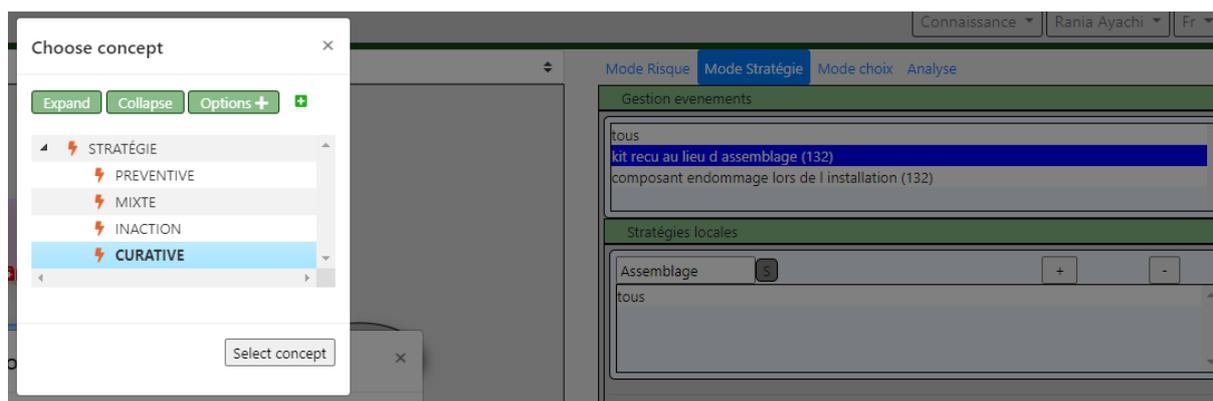


Figure 5.22 Création de la stratégie locale curative pour le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage »

Après la création de la stratégie locale, l'utilisateur définit les réductions d'impacts qui en résultent, comme le montre la figure suivante (Figure 5.23).

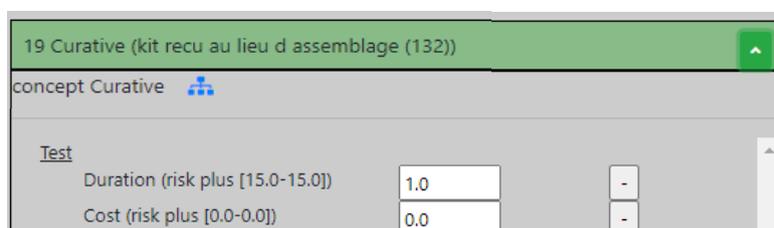


Figure 5.23 Définition des réductions d'impacts associées à la stratégie locale curative

La stratégie locale curative créée pour le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage », réduit de 100% l'impact de +15 jours sur la tâche nommée « Assemble and test » (voir figure 5.8.). L'impact de ce risque pourra donc être annulé grâce à la mise en œuvre de cette stratégie curative si le risque apparaît.

Pour le deuxième risque « Composant endommagé lors de l'installation », une stratégie locale préventive est définie contenant la tâche préventive nommée « Design Carter » comme le montre la figure 5.24.

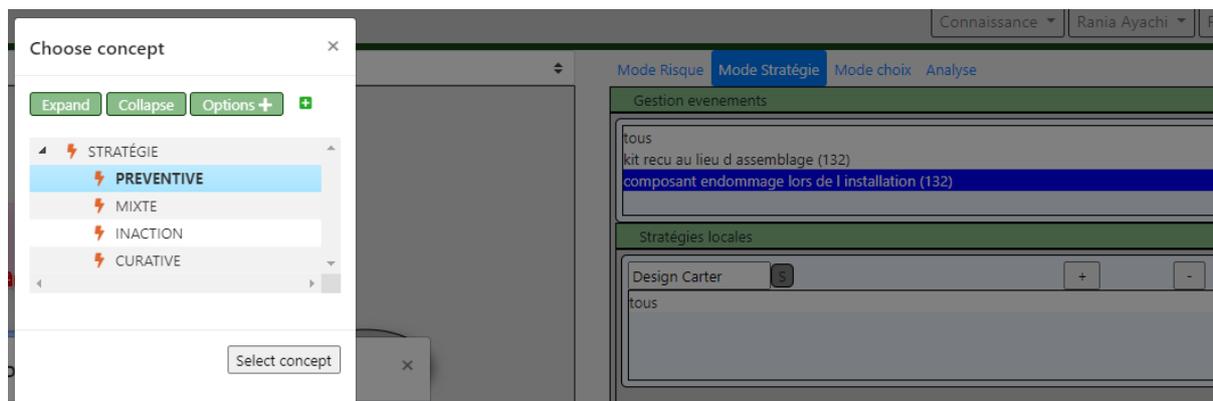


Figure 5.24 Création de la stratégie locale préventive pour le risque « Composant endommagé lors de l'installation »

Après la création de la stratégie locale pour le risque « Composant endommagé lors de l'installation », l'utilisateur définit les réductions d'impacts associées, comme le montre la figure suivante (Figure 5.25).

20 PREVENTIVE (composant endommagé lors de l'installation (132))		
concept PREVENTIVE		
Installation		
Cost (risk plus [40.0-40.0])	0.8	-
Duration (risk plus [30.0-30.0])	0.8	-
Ratio reduction proba	0.8	

Figure 5.25 Définitions des réductions d'impacts associées à la stratégie locale préventive

La mise en œuvre de la stratégie locale préventive créée pour le risque « Composant endommagé lors de l'installation » permet de réduire de 80% les impacts de +40 k€ et +30 jours sur la tâche d'installation nommée « Install » (voir figure 5.8.). L'utilisateur choisit, pour cette stratégie locale préventive, une réduction de probabilité égale à 80%. La mise en œuvre de cette stratégie préventive locale permet donc une limitation de la probabilité d'occurrence du risque de 80 %. Si malgré tout le risque apparaît, ses impacts seront limités.

## 5.6. Simulation des scénarios

Le logiciel OPERA permet à l'utilisateur de réaliser des simulations de scénarios d'occurrence de risques et de leur mitigation. Cela permet d'évaluer l'impact des risques sur les métriques et de choisir la stratégie de mitigation la mieux appropriée. Le principe de simulation des scénarios a été présenté dans le chapitre 3. Avec l'augmentation du nombre de tâches EO, de risques, de tâches IR et de stratégies locales, le nombre de scénarios à simuler peut devenir très important. Pour pallier à ce problème, le logiciel OPERA permet à l'utilisateur de construire ses scénarios en sélectionnant les risques ainsi que les stratégies de mitigation qu'il souhaite simuler. Dans les sections suivantes, nous étudions les deux risques « Kit reçu au lieu d'un assemblage » et « Composant endommagé lors de l'installation ».

### 5.6.1. Simulation systématique

Lorsque l'utilisateur en fait la demande, le logiciel OPERA réalise trois simulations de manière systématique. Il s'agit (i) du scénario sans occurrence de risque, (ii) du scénario avec occurrence de tous les risques sans mitigation (Stratégies locales « Inaction » pour chaque risque) et, (iii) des scénarios où les risques sont simulés l'un après l'autre (Figure 5.26).

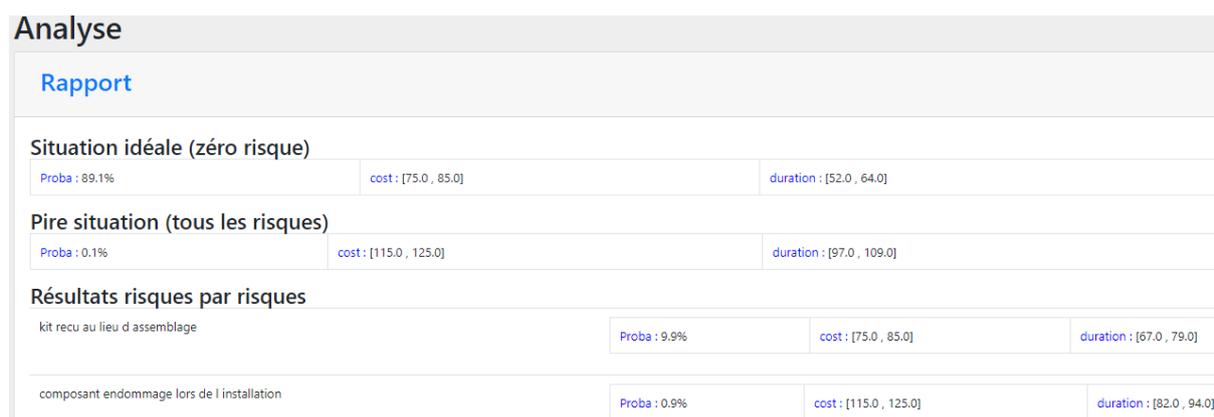


Figure 5.26 Première simulation des scénarios

Nous détaillons dans les sections suivantes la simulation de ces scénarios avec les résultats obtenus.

### 5.6.1.1. Scénario 1 : Situation idéale

Dans la figure 5.26, le premier scénario simulé est celui de la situation idéale dans laquelle aucun risque ne survient. Les deux risques « Kit reçu au lieu d'un assemblage » et « Composant endommagé lors de l'installation » sont donc simulés selon leur probabilité de non-occurrence le simulateur du logiciel OPERA.

La probabilité de ce premier scénario est égale à 89.1%. Elle est calculée en multipliant (i) la probabilité de non-occurrence du risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » ( $1-0.1 = 0.9$ ) par la probabilité de non-occurrence du risque « Composant endommagé lors de l'installation » ( $1-0.01=0.99$ ). Nous rappelons que les risques sont considérés indépendants. La probabilité de ce scénario est donc :  $0.9 * 0.99 = 0.891$ . Il s'agit de la probabilité pour qu'aucun risque n'apparaisse.

Pour ce scénario, les métriques caractérisant chaque tâche du processus de réalisation sont agrégées pour quantifier celles du processus de réalisation dans sa globalité. Ce qui donne, comme montré dans la figure 5.26, un coût global de [75, 85] k€ et une durée globale de [52, 64] jours.

### 5.6.1.2. Scénario 2 : Pire situation

Le deuxième scénario simulé systématiquement (pire situation) est le scénario où les deux risques apparaissent. Ils sont simulés selon leur probabilité d'occurrence avec une stratégie globale « Inaction » (stratégie locale « Inaction » pour chaque risque).

La probabilité de ce scénario est égale à 0.1%. Elle est calculée en multipliant (i) la probabilité pour que le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » survienne (10 %) par (ii) la probabilité pour que le risque « Composant endommagé lors de l'installation » survienne (1 %).

Les valeurs globales des métriques du processus de réalisation pour ce scénario sont calculées en agrégeant celles (i) des tâches EO qui, agrégées, sont égales à [75, 85] k€ pour le coût et [52, 64] jours pour la durée ainsi que (ii) les valeurs des impacts des deux risques qui sont égales à +15 jours sur la métrique durée caractérisant la tâche de l'assemblage pour le premier risque et +30 jours et +40 k€ sur les métriques durée et coût caractérisant la tâche « Install ». Les résultats

sont synthétisés dans le tableau de la figure 5.26. Le coût du scénario est de [115, 125] k€ et sa durée est de [97, 109] jours.

### **5.6.1.3. Scénario 3 : Simulation risque par risque**

Dans la figure 5.26, chaque risque est simulé seul en considérant que les autres n'apparaissent pas. La stratégie globale de mitigation est « Inaction ».

Pour le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage », la probabilité d'occurrence du scénario est égale à 0.099 (9.9%). Elle est calculée en multipliant (i) la probabilité pour que le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » survienne (10%) par (ii) la probabilité pour que le risque « Composant endommagé lors de l'installation » ne survienne pas 99% ( $1 - 0.01 = 0.99$ ). Les valeurs globales des métriques du processus de réalisation pour ce scénario sont calculées en agrégeant celles (i) des tâches EO qui, agrégées, sont égales à [75, 85] k€ pour le coût et [52, 64] jours pour la durée ainsi que (ii) la valeur de l'impact du risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » qui est égale à +15 jours pour la métrique durée caractérisant la tâche d'assemblage. Les valeurs globales des métriques sont [75, 85] k€ pour le coût et [67, 79] jours pour la durée.

Pour le deuxième risque « Composant endommagé lors de l'installation », la probabilité du scénario est égale à 0.9%. Elle est calculée en multipliant (i) la probabilité pour que le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » ne survienne pas (90%) par (ii) la probabilité pour que le risque « Composant endommagé lors de l'installation » survienne (1%). Les valeurs globales des métriques du processus de réalisation pour ce scénario sont calculées en agrégeant celles (i) des tâches EO qui, agrégées, sont égales à [75, 85] k€ pour le coût et [52, 64] jours pour la durée ainsi que (ii) les valeurs des impacts du risque « Composant endommagé lors de l'installation » qui sont égales à +30 jours et +40 k€ pour les métriques durée et coût caractérisant la tâche d'installation. Le coût de ce scénario est donc de [115, 125] k€ et sa durée est de [82, 94] jours, pour une probabilité d'occurrence de 0.9 %.

### **5.6.2. Simulation de tous les scénarios par risque**

Le logiciel OPERA permet de faire une simulation de chaque scénario possible par risque. Les scénarios concernés prennent en compte l'occurrence du risque ainsi que les stratégies de mitigation possibles.

#### **5.6.2.1. Simulation de tous les scénarios de mitigation possibles pour le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage »**

La figure 5.27 illustre les résultats de simulation des quatre scénarios possibles pour le premier risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » qui sont décrits comme suit : (i) le risque survient et la stratégie globale est « Inaction », (ii) le risque survient et la stratégie globale est composée de la stratégie locale curative, (iii) le risque ne survient pas et la stratégie globale est « Inaction », et (vi) le risque ne survient pas et la stratégie globale est composée de la stratégie locale curative.

Simulation des cas de figures par risque		
kit reçu au lieu d'assemblage		
<b>Le risque arrive</b>		
Pas de stratégie :		
Proba : 9.9%	cost : [75.0 , 85.0]	duration : [67.0 , 79.0]
Avec la stratégie Curative(19) :		
Proba : 9.9%	cost : [77.0 , 87.0]	duration : [52.0 , 64.0]
<b>Le risque n'arrive pas</b>		
Pas de stratégie :		
Proba : 89.1%	cost : [75.0 , 85.0]	duration : [52.0 , 64.0]
Avec la stratégie Curative(19) :		
Proba : 89.1%	cost : [75.0 , 85.0]	duration : [52.0 , 64.0]

Figure 5.27 Simulation des scénarios possibles pour le premier risque

- Pour le premier scénario (1), le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » survient et nous ne faisons rien (inaction). Dans ce cas, la probabilité du scénario est égale à 9.9%. Elle est calculée en multipliant la probabilité d'occurrence du risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » et la probabilité de non-occurrence du risque « Composant endommagé lors de l'installation ».
- Les valeurs globales des métriques du processus de réalisation pour ce scénario sont égales à [75, 85] k€ pour le coût et [67, 79] jours pour la durée. Elles sont calculées en agrégeant celles (i) des tâches EO qui, agrégées, sont égales à [75, 85] k€ pour le coût et [52, 64] jours pour la durée, (ii) la valeur de l'impact du risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » qui est égale à +15 jours sur la métrique durée caractérisant la tâche d'assemblage.
- Pour le deuxième scénario (2), le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » survient et la stratégie curative est mise en place. Dans ce cas, la probabilité du scénario reste la même que pour le scénario précédent (9.9%).
- Les valeurs globales des métriques du processus de réalisation pour ce scénario sont égales à [77, 87] k€ pour le coût et [52, 64] jours pour la durée et sont calculées en agrégeant celles (i) des tâches EO qui, agrégées, sont égales à [75, 85] k€ pour le coût et [52, 64] jours pour la durée, (ii) la valeur de l'impact du risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » qui est égale à +15 jours sur la métrique durée caractérisant la tâche de l'assemblage, (iii) le coût et la durée de la tâche curative qui sont égaux à 2k€ pour le coût et 5 jours pour la durée (cette tâche est en parallèle avec une la tâche de fabrication) ainsi que (vi) la réduction d'impact associée à la stratégie locale curative qui est égale à 100% (l'augmentation de +15 jours due au risque est annulée).
- Pour le troisième scénario (3), le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » ne survient pas et la stratégie de mitigation consiste à ne pas intervenir (inaction). Dans ce cas, la probabilité du scénario est égale à 89.1%. Elle est calculée en multipliant la probabilité pour que le risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » ne survienne pas par la

probabilité pour que le risque « Composant endommagé lors de l'installation » ne survienne pas. Les valeurs globales des métriques du processus de réalisation pour ce scénario sont les mêmes que celles du scénario sans occurrence des risques avec la stratégie globale « Inaction » (Coût global : [75, 85] k€ ; Durée globale : [52, 64] jours).

- Le quatrième scénario (4) fournit les mêmes résultats que le scénario (3) car si le risque ne survient pas, la tâche curative n'est pas mise en œuvre (Coût global : [75, 85] k€ ; Durée globale : [52, 64] jours).

### 5.6.2.2. Simulation de tous les scénarios de mitigation possibles pour le risque « Composant endommagé lors de l'installation »

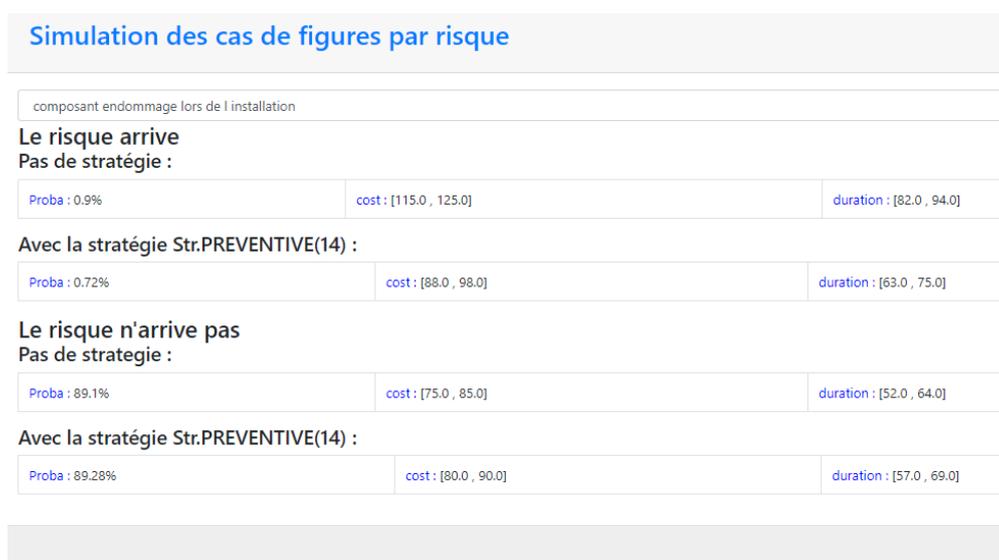


Figure 5.28 Simulation des scénarios possibles pour le deuxième risque

Dans la figure 5.28, les quatre scénarios simulés pour le risque « Composant endommagé lors de l'installation » sont les scénarios où : 1) le risque survient et nous ne faisons rien (stratégie d'inaction) ; 2) le risque survient et nous mettons en œuvre une stratégie préventive ; 3) le risque ne survient pas et nous ne faisons rien ; 4) le risque ne survient pas et nous mettons en œuvre la stratégie préventive.

Tous les calculs des trois premiers scénarios sont faits comme ceux pour les trois premiers scénarios du risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » sauf pour le quatrième scénario.

Le quatrième scénario (le risque n'arrive pas ; Stratégie préventive), dont la probabilité est de 89.28 %, prend en compte la tâche préventive « Design Carter » qui est mise en œuvre même si le risque ne survient pas. Ainsi, les valeurs globales des métriques du processus de réalisation pour ce scénario sont égales à [80, 90] k€ pour le coût et [57, 69] jours pour la durée et sont calculées en agrégeant celles (i) des tâches EO qui, agrégées, sont égales à [75, 85] k€ pour le coût et [52, 64] jours pour la durée ainsi que (ii) les valeurs du coût et de la durée de la tâche préventive qui sont égaux à 5 k€ pour le coût et 5 jours pour la durée.

### 5.6.3. Simulation personnalisée

Le logiciel OPERA permet de faire une simulation personnalisée en définissant si les risques peuvent survenir ou non dans la simulation ainsi que les stratégies locales que l'on peut mettre en œuvre pour chaque risque.

La figure suivante (Figure 5.29) est un exemple de simulation personnalisée.

Nom Risque	Probabilité	Occurance	Stratégie de traitement
kit reçu au lieu d'assemblage	0.1	<input checked="" type="checkbox"/> Se produit	rien
composant endommagé lors de l'installation	0.01	<input type="checkbox"/> Se produit	SM-PREVENTIVE (14)

Résultats :

Proba : 9.92%    cost : [80.0, 90.0]    duration : [72.0, 84.0]    price : [80.0, 180.0]

Figure 5.29 Simulation d'un scénario personnalisé

Le scénario proposé dans la figure 5.29 décrit l'occurrence du premier risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » avec la stratégie locale « Inaction » et la non-occurrence du deuxième risque « Composant endommagé lors de l'installation » avec la stratégie locale préventive.

Ce scénario donne un coût total de [80, 90] k€ et une durée totale de [72, 84] jours. Les valeurs des métriques sont calculées en prenant en compte les valeurs des métriques du processus de réalisation, l'impact du risque « Kit reçu au lieu d'un assemblage » et les valeurs des métriques caractérisant la tâche préventive « Design Carter ».

### 5.6.4. Vers des éléments d'ergonomie pour aider au choix de stratégie de traitement

Toutes ces simulations fournissent au décideur des éléments devant lui permettre de choisir une stratégie de traitement de risques à mettre en œuvre. Cependant, en l'état ces données numériques sans mise en forme particulière sont délicates à interpréter. Il est prévu dans le logiciel OPERA un module de présentation des résultats pour faciliter ce choix, mais qui n'est pas actuellement opérationnel. Nous n'aborderons pas cette problématique se situant entre interfaces homme/machine et ergonomie mais souhaitons juste donner quelques idées et surtout monter comment cela peut se concrétiser sur les résultats précédents.

L'ergonomie proposée dans le mémoire a juste pour but de montrer, pour une stratégie, comment peuvent se positionner sur un repère durée/coût tous les scénarii de risques. L'idée étant ensuite de pouvoir à l'écran superposer plusieurs stratégies pour pouvoir les comparer. Afin de ne pas complexifier les images, les intervalles de valeurs des durées et coûts sont approximés par leur milieu. Les probabilités ne sont également pas représentées, cependant il peut être noté que pour le cas considéré les ordres de grandeur sont de l'ordre de : 1 en l'absence d'occurrence de risque, de 0.1 avec le risque R1, de 0.01 avec le risque R2 et des 0.001 avec les deux risques R1 et R2.

Le cas étudié dans ce chapitre met en œuvre quatre stratégies globale : ne rien faire, corrective AC1, préventive AP2 et mixte AC1 et AP2. La visualisation de la première stratégie « ne rien faire » ou « inaction » est en figure 5.30. Celle des deux stratégies curative et préventive sont en figure 5.31.

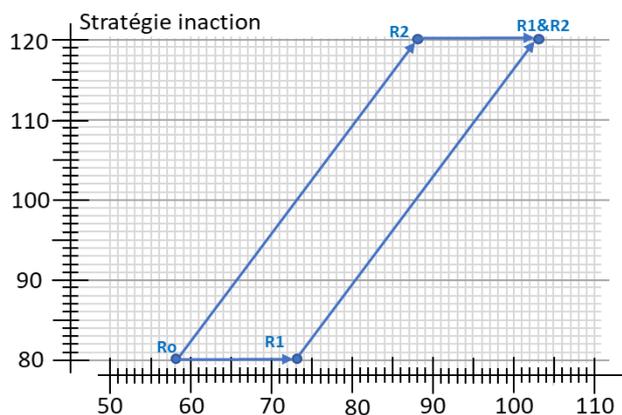


Figure 5.30 Scénarios de risque stratégie Inaction

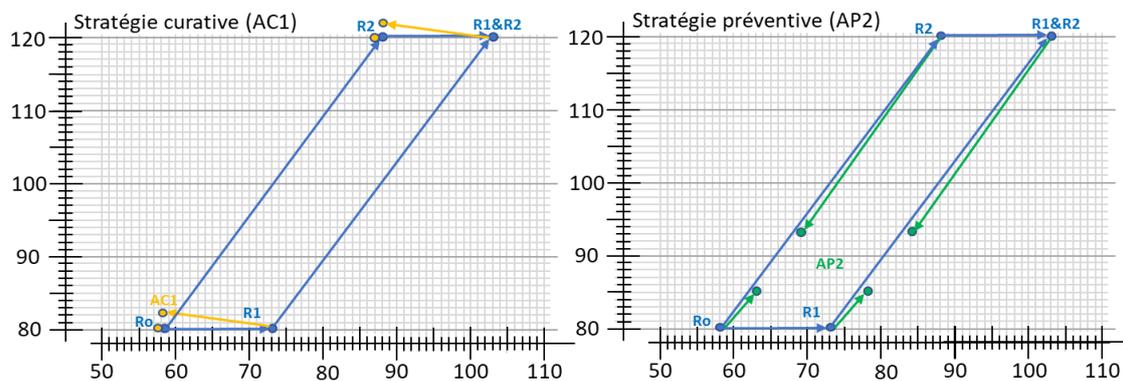


Figure 5.31 Scénarios de risque stratégies curative et préventive

A la vue de ces écrans, il est plus que probable que si le client est particulièrement exigeant sur les délais ou si les pénalités de retards sont au minimum de 5%, la stratégie curative sera considérée pour mitiger le risque R1. En ce qui concerne la stratégie préventive, il est clair que l'impact en retard du risque R2 est fortement minimisé mais pour une probabilité de l'ordre de 0.01 le surcoût systématique est supérieur à 5%. Il est probable que des paramètres de contexte de type « client stratégique à satisfaire totalement » peuvent justifier cette stratégie préventive. Les résultats de la stratégie mixte sont en figure 5.32.

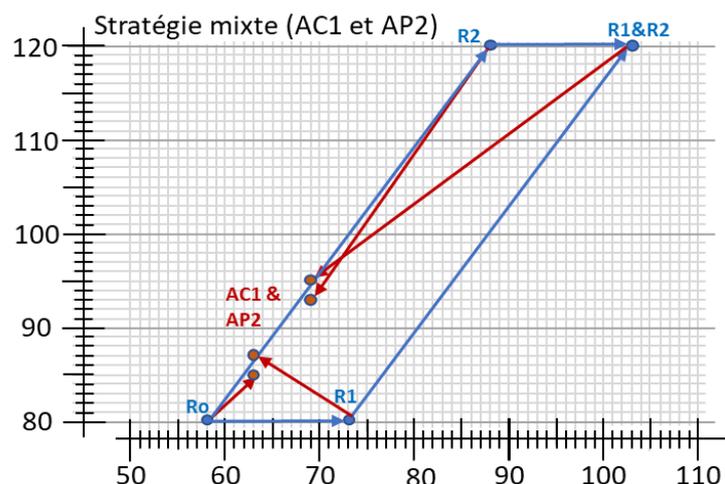


Figure 5.32 Scénarios de risque stratégie globale mixte

Il est indéniable que la stratégie mixte limite de manière significative les fluctuations de durée et de coût. Il est clair que cette stratégie procure au fournisseur une plus grande confiance dans l'offre proposée au client et en conséquence une relation client/fournisseur plus sereine.

### 5.7. Conclusion du chapitre 5

Dans ce chapitre, nous avons présenté un exemple de mise en œuvre du logiciel OPERA pour réaliser l'ingénierie des risques sur un processus de réalisation d'une offre concernant une machine spéciale pour un client. L'exemple est inspiré d'un cas concret proposé par l'entreprise « Mécanuméric », partenaire du projet ANR OPERA. Le scénario que nous avons déroulé a permis d'illustrer la création (simplifiée) d'une offre, de son processus de réalisation et du processus d'ingénierie des risques. Pour ce dernier, quatre étapes ont été abordées : l'identification des risques, l'évaluation des risques, la mitigation des risques et leur simulation.

Pour l'identification des risques, deux risques ont été identifiés et créés. L'évaluation des risques a permis d'ajouter un impact pour le premier risque sur tâche impactée différente de la tâche source du risque. Pour le deuxième risque la tâche source est aussi la tâche impactée par le risque.

La mitigation des risques dans l'exemple présenté dans ce chapitre décrit une stratégie locale pour chaque risque. Pour le premier risque, une tâche curative a été créée et associée à la stratégie locale curative ainsi qu'une réduction d'impact qui permet d'annuler l'impact du risque. Pour le deuxième risque, une tâche préventive a été créée et associée à la stratégie locale préventive ainsi qu'une réduction d'impacts qui permet de réduire à 80% les impacts du risque.

Pour la simulation des scénarios possibles, nous avons montré une simulation systématique qui propose les résultats pour les scénarios dans une situation idéale, dans la pire situation et une simulation risque par risque avec la stratégie globale « Inaction ».

Nous avons également montré qu'une simulation de tous les scénarios possibles pour chaque risque était possible. Cette dernière prend en compte l'occurrence du risque ainsi que la ou les stratégies de mitigation définies.

Une simulation personnalisée d'un scénario où il est possible de choisir le risque à simuler ainsi que la stratégie locale pour chaque risque a également été proposée.

La dernière section introduit des idées d'éléments d'ergonomie pour interpréter plus facilement ces résultats que l'on peut qualifier de « bruts ». L'utilisateur peut ainsi voir les résultats des simulations et les comparer pour pouvoir choisir la stratégie globale qu'il va mettre en œuvre à la fin de l'ingénierie des risques et, par la suite, décider de la réponse à envoyer au client.

Il s'agit d'un apport important permettant au décideur d'avoir une meilleure visibilité sur son processus de réalisation en tenant compte des risques possibles, de leurs impacts et de leurs mitigations possibles. Cependant, nous n'avons pas défini de méthode d'aide au choix de stratégie pour l'utilisateur. De même, avec l'augmentation du nombre de risques et de stratégies locales de mitigation, le nombre de scénarios possibles augmente de manière exponentielle et la simulation de toute la combinatoire n'est pas toujours envisageable.



## Chapitre 6

# Conclusion générale et perspectives

Nous proposons dans un premier temps une synthèse de ce mémoire soulignant les contributions proposées. Par la suite, certaines limites de ces propositions sont discutées ce qui permet de proposer de nouvelles pistes de recherche.

### 6.1. Conclusion générale

Cette thèse s'intéresse à la relation client-fournisseur du point de vue du fournisseur. Plus précisément, nous nous intéressons à l'élaboration de l'offre en situation d'ingénierie à la commande lorsque l'offre est construite à partir de principes de conception sommaires sans conception détaillée. Dans ce cadre nous nous intéressons aux risques que le fournisseur doit assumer lorsqu'il n'est pas en mesure de livrer le système en respectant les délais et coûts définis dans l'offre proposée au client. La prise en compte et le traitement de ces risques peut se faire par une ingénierie des risques sur les tâches du processus de réalisation, avant l'envoi de l'offre au client. Notre objectif est d'assister cette ingénierie des risques, actuellement réalisée principalement par un expert humain, avec un système à base de connaissances.

Pour cela, nous avons étudié dans le deuxième chapitre de ce mémoire l'existant scientifique du domaine. Dans un premier temps nous avons revu les définitions principales liées aux risques, les principes de gestion des risques (entre autres les préconisations de la norme ISO31000, les risques en élaboration d'offres, en gestion de projet ainsi qu'en conception de nouveaux produits (NPD). Par la suite, nous avons étudié les principes des systèmes à base de connaissances, les méthodes de raisonnement à partir de cas en détaillant les définitions existantes de l'expérience et de la connaissance, les ontologies, les taxonomies ainsi que les méthodes exploitant le retour d'expérience.

Note première contribution, proposée dans le troisième chapitre, présente un modèle de connaissance supportant l'ingénierie des risques en élaboration d'offre.

Ce modèle permet de mémoriser : l'identification des risques avec leur probabilité d'occurrence, les tâches pendant lesquelles les risques peuvent survenir (tâches sources des risques), l'évaluation des risques en quantifiant leurs impacts et en identifiant les tâches impactées, les moyens de mitigation de ces risques (regroupant actions préventives et curatives) et les résultats sous forme de réductions d'impacts et/ou de probabilité d'occurrence.

De plus, le modèle proposé permet de formaliser et de capitaliser dans une même base de connaissances, (i) des connaissances risques expertes, qui représentent la connaissance de l'expert risque et qui sont valides pour toute ingénierie des risques réalisée dans le même contexte, ainsi que (ii) des expériences passées d'ingénierie des risques réalisées sur des offres réelles traitées dans le passé.

Visant une assistance efficace, nous avons proposé des entités plus abstraites pour pouvoir réutiliser les connaissances capitalisées. Plusieurs taxonomies de concepts partielles ont été proposées pour le contexte d'ingénierie des risques, le processus de réalisation, les tâches EO, les risques, les impacts, les tâches IR et les stratégies de mitigation.

Notre seconde contribution, décrite dans le quatrième chapitre, propose une approche de réutilisation issue de l'intégration des processus préconisés par la norme ISO31000 et par le raisonnement à partir de cas.

Cette approche consiste, en premier lieu, à définir un cas cible (un problème courant) pour chaque étape de l'ingénierie des risques. En deuxième lieu, l'approche de réutilisation consiste à chercher les connaissances nécessaires à l'ingénierie des risques (connaissances IR) ad hoc, grâce à un calcul d'inclusion et de réutiliser ces dernières. La réutilisation de ces connaissances expertes est réalisée systématiquement en laissant l'utilisateur les adapter si nécessaire. Ensuite, l'approche de réutilisation permet de chercher les expériences passées d'ingénierie des risques similaires. Ces dernières sont ordonnées et présentées à l'utilisateur pour qu'il puisse en tirer, selon l'étape de l'ingénierie des risques en cours, des concepts de risques, des impacts, des concepts de tâches IR ou de stratégies de mitigation. Cette étape passe par un calcul de similarité entre le cas courant et les cas passés.

L'approche de réutilisation propose également une phase de suivi qui consiste à renseigner les valeurs effectives des métriques liées aux tâches de processus de réalisation (tâche EO) si l'offre est réalisée. Une phase de capitalisation est proposée à la fin de l'approche de réutilisation pour permettre de retenir l'expérience d'ingénierie des risques en cours et de la capitaliser comme une expérience pouvant être réutilisée dans des expériences d'ingénierie des risques futures.

Le dernier chapitre de ce mémoire présente une mise en situation de ces propositions sur un cas d'utilisation complet détaillant les étapes d'ingénierie des risques à travers un exemple tiré du cas d'usage du partenaire industriel « Mécanumeric » du Projet OPERA.

À notre connaissance, il n'existait pas de modèle de connaissance risque dédié à l'élaboration d'offre. Outre le formalisme proposé pour les modèles de connaissances permettant de stocker connaissances et expériences, les taxonomies de concepts constituent clairement des avancées dans le domaine. En ce qui concerne l'exploitation des connaissances, en complément des métriques, similarités et algorithmes proposés, il nous semble que l'association des deux processus d'ingénierie des risques de l'ISO31000 et de raisonnement à partir de cas constitue également une contribution originale innovante.

### **6.2. Limites et perspectives de travail**

Pour aller plus loin, il est nécessaire de s'affranchir de certaines limites ouvrant des perspectives de travail prometteuses.

Dans ce travail nous avons considéré que les risques identifiés sont indépendants, c'est-à-dire qu'un risque ne peut pas engendrer ou modifier les caractéristiques d'un autre risque. Cet aspect pourra être développé dans d'autres travaux de recherche, car si les risques peuvent dépendre d'autres risques, plusieurs étapes du processus d'ingénierie des risques devront être modifiées. Outre les modèles de connaissances qui seront à actualiser, les calculs de probabilités

d'occurrence des risques et des scénarios de risque seront à revoir. De même, le calcul des impacts ou des cumuls d'impacts sera à reconsidérer ainsi que les traitements de mitigation des risques.

Nous nous sommes également limités en considérant l'occurrence du risque au niveau de la tâche source globalement. C'est-à-dire que nous ne faisons pas de différence si l'événement redouté se produit au début, au milieu ou à la fin de la tâche. Prendre cela en compte permettrait d'avoir une estimation des métriques coûts et délais plus fidèle à la réalité. Ceci semble particulièrement nécessaire en présence de tâches de durées très différentes.

De même, pour mitiger les risques, nous nous sommes limités à la mise en place des actions préventives et curatives, qui, regroupées, constituent des stratégies de mitigation. Les actions de mitigation correspondent uniquement à des tâches (tâche IR) définies par des métriques (coût et durée) avec des liens de précédences permettant de les placer dans le processus de réalisation. La mitigation des risques par une prise de décision, comme supprimer une tâche EO ou la remplacer par une autre, n'est pas considérée et devrait être étudiée.

Après la réalisation de l'ingénierie des risques, nous avons proposé une heuristique simple pour la simulation des scénarios possibles. Nous avons proposé de simuler une situation idéale sans risques, la pire situation avec tous les risques survenus et une simulation personnalisée où l'utilisateur choisit les risques à simuler ainsi que les stratégies de mitigation. Dans un projet, en présence de plusieurs risques identifiés et de plusieurs stratégies de mitigation possibles, la complexité de la simulation des scénarios possibles peut conduire à une explosion combinatoire. Il serait intéressant de proposer une approche permettant de sélectionner les scénarios pertinents à simuler.

La dernière limite que nous évoquons est l'interprétation des résultats de simulation. La présentation des résultats des simulations d'une manière synthétique est un point important à développer afin d'aider au mieux l'utilisateur à choisir la stratégie de risque qui lui semble la plus appropriée. Ceci constitue un problème difficile s'apparentant à une aide à la décision multicritère sous incertitude.

# Références

## A

- Aamodt, Agnar, et Enric Plaza. 1994. « Case-Based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches ». *AI Communications* 7: 39-59.
- Abul-Haggag, Ossama Y., et Walied Barakat. 2013. « Application of Fuzzy Logic for Risk Assessment using Risk Matrix ». *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 3: 49-54.
- Ahmad, Sohel, Debasish N. Mallick, et Roger G. Schroeder. 2013. « New product development: Impact of project characteristics and development practices on performance ». *Journal of Product Innovation Management* 30: 331-348.
- Amir-Heidari, Payam, Reza Maknoon, Bahram Taheri, et Mahdieh Bazyari. 2017. « A new framework for HSE performance measurement and monitoring ». *Safety Science* 100: 157-167.
- Arp, Robert, Barry Smith, et Andrew D. Spear. 2016. *Building Ontologies with Basic Formal Ontology*.
- Aven, Terje, et Jens Kørte. 2003. « On the use of risk and decision analysis to support decision-making ». *Reliability Engineering and System Safety* 79: 289-299.
- Ayachi, Rania, Delphine Guillon, François Marmier, Elise Vareilles, Michel Aldanondo, Thierry Coudert, Laurent Geneste, et Yvan Beauregard. 2018. « Elaboration d'offres en relation client-fournisseur: vers une exploitation des connaissances pour l'ingénierie des risques ». In *Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation – MOSIM 2018*.
- Ayachi, R. et al. 2019. « Towards a Knowledge based Support for Risk Engineering When Elaborating Offer in Response to a Customer Demand ». In *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*.
- Azis, Ade A. A., Aftab H. Memon, Ismail A. Rahman, Qadir B. Latif, et Sasitharan Nagapan. 2012. « Cost management of large construction projects in South Malaysia ». In *ISBEIA 2012 - IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications*, 625-629.

## B

- Baccigalupo, Claudio et Enric Plaza. 2006. *Advances in Case-Based Reasoning*.
- Barafort, Béatrix, Antoni Lluís Mesquida, et Antònia Mas. 2018. « Integrated risk management process assessment model for IT organizations based on ISO 31000 in an ISO multi-standards context ». *Computer Standards and Interfaces* 60: 57-66.
- Beler, Cédric. 2008. « Modélisation générique d'un retour d'expérience cognitif Application à la prévention des risques ». Université de Toulouse.
- Bensaou, Mustapha. 1999. « Portfolios of Buyer-Supplier Relationships ». *Sloan management review* 40: 35.

## Références

- Bergmann, Ralph. 2002. *Experience management: foundations, development methodology, and internet-based applications*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Bi, Rui, Robert M. Davison, et Kosmas X. Smyrniotis. 2017. « E-business and fast growth SMEs ». *Small Business Economics* 48: 559-576.
- Botero, Lopez J. D. 2014. « Gestion des risques par retour d'expérience dans le processus de réponse à appel d'offres ». Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse).
- Botero, Juan Diego, Cédric Beler, Daniel Noyes, et Laurent Geneste. 2012. « Integration of experience feedback into the product lifecycle: An approach to best respond to the bidding process ». *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* 45(1): 1095-1100.
- den Braber, Folker, Theo Dimitrakos, Bjørn A. Gran, Ketil Stølen, Jan Ø. Aagedal. 2002. Information Resources Management Association International Conference (IRMA'2002) *Model-based risk management using UML and UP*.
- den Braber, Folker, Theo Dimitrakos, Bjørn Axel Gran, Ketil Stølen, et Jan Øyvind Aagedal. 2002. *Model-based risk management using UML and UP*.
- Brière-Côté, Antoine, Louis Rivest, et Alain Desrochers. 2010. « Adaptive generic product structure modelling for design reuse in engineer-to-order products ». *Computers in Industry* 61: 53-65.
- ### C
- Cerutti, Alessandro K., Simone Contu, Fulvio Ardente Dario Donno, Gabriele L. Beccaro. 2016. « Carbon footprint in green public procurement: Policy evaluation from a case study in the food sector ». *Food Policy* 58: 82-93.
- Chandrasekaran, Balakrishnan 1986. « Generic Tasks in Knowledge-Based Reasoning: High-Level Building Blocks for Expert System Design ». *IEEE Expert-Intelligent Systems and their Applications* 1: 23-30.
- Chen, Yong Qiang, Su Juan Zhang, Li Sha Liu, et Jia Hu. 2015. « Risk perception and propensity in bid/no-bid decision-making of construction projects ». *Engineering, Construction and Architectural Management* 22: 2-20.
- Clermont, Philippe, et Bernard Kamsu-Foguem. 2018. « Experience feedback in product lifecycle management ». *Computers in Industry* 95: 1-14.
- Collins, Daniel W., et Richard R. Simonds. 1979. « SEC Line-of-Business Disclosure and Market Risk Adjustments ». *Journal of Accounting Research*: 352-383.
- Coudert, Thierry. 2014. HDR. « Formalisation et exploitation de connaissances et d'expériences pour l'aide à la décision dans les processus d'ingénierie système ». Université de Toulouse.
- ### D
- Dalkir, Kimiz. 2013. *Knowledge Management in Theory and Practice*.
- Desroches, Alain. 2008. « Gestion des risques d'un projet ». *Techniques de l'ingénieur*.
- ### F
- Fang, Chao, et Franck Marle. 2012. « A simulation-based risk network model for decision support in project risk management ». *Decision Support Systems* 52(3): 635-644.

## Références

Fischhoff, Baruch. 1995. « Risk Perception and Communication Unplugged: Twenty Years of Process ». *Risk Analysis* 15: 137-145.

de Falco, Massimo, et Roberto Macchiaroli. 1998. « Timing of control activities in project planning ». *International Journal of Project Management* 16: 51-58.

## G

Garvey, Paul R., et Zachary F. Lansdowne. 1998. « Risk Matrix: An Approach for Identifying, Assessing, and Ranking Program Risks ». *Air Force journal of logistics* 22: 18-21.

Godfrey, Patrick S. et William Halcrow. 1996. *Control of risk: a guide to the systematic management of risk from construction*.

Gourc, Didier. 2006. « Vers un modèle général du risque pour le pilotage et la conduite des activités de biens et de services ». HDR.

Gruber, Thomas R. 1993. « A translation approach to portable ontology specifications ». *Knowledge Acquisition* 5:199-220.

Guebitz, Brigitte, Hubert Schnedl, et Johannes G. Khinast. 2012. « A risk management ontology for Quality-by-Design based on a new development approach according GAMP 5.0 ». *Expert Systems with Applications* 39(8):7291-7301.

Guillon, Delphine, Abdourahim Sylla, Elise Vareilles, Michel Aldanondo, Eric Villeneuve, Christophe Merlo, Thierry Coudert, et Laurent Geneste 2018. « Customer supplier relation: Towards a constraint-based model for bids ». In *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 1067-1071.

Guillon, Delphine. 2019. Thèse. « Assistance à l'élaboration d'offres du produit au service : proposition d'un modèle générique centré connaissances et d'une méthodologie de déploiement et d'exploitation ». Université de Toulouse.

Guillon, Delphine. 2020. « ProductYservice system configuration: a generic knowledge-based model for commercial offers ». *International Journal of Production Research*: 1:1-20.

Guus, Schreiber, Wielinga Bob, de Hoog Robert, Akkermans Hans, et Van de Velde Walter. 1994. « CommonKADS: A comprehensive methodology for KBS development ». *IEEE expert* 9:28-37.

## H

Hallikas, Jukka, Kaisu Puumalainen, Toni Vesterinen, et Veli Matti Virolainen. 2005. « Risk-based classification of supplier relationships ». *Journal of Purchasing and Supply Management* 11(2-3): 72-82.

Hawksley, John L. 1999. « Developing a major accident prevention policy ». *Journal of Hazardous Materials* 65: 109-121.

Hegge, Herman M.H., et Hans J. C. Wortmann. 1991. « Generic bill-of-material: a new product model ». *International Journal of Production Economics* 23: 117-128.

Hillson, David. 2002. « Extending the risk process to manage opportunities ». *International Journal of Project Management* 20: 235-240.

Hillson, David a., et David T. Hulett. 2004. « Assessing risk probability : alternative approaches ». *Proceedings of PMI Global Congress*: 1-5.

Hirman, Martin, Andrea Benesova, Frantisek Steiner, et Jiri Tupa. 2019. « Project Management during the Industry 4.0 Implementation with Risk Factor Analysis ». *Procedia Manufacturing* 38: 1181-1188.

## I

Inkinen, H. 2016. « Review of empirical research on knowledge management practices and firm performance ». *Journal of Knowledge Management* 20:230-257.

Ishikawa K, Loftus JH. 1990. « (Eds): Introduction to quality control ». Tokyo, Japan: 3A Corporation.

ISO. 2003. « ISO 10006:2003. Quality management systems – Guidelines for quality management in projects. Second Edition. ISO Standards ».

ISO. 2009. « ISO 31000:2009. Risk Management –Principles and Guidelines. ISO Standards ».

ISO. 2015. « ISO 9001:2015. Quality management systems –Requirements. ISO Standards ».

## J

Jabrouni, Hicham. 2012. « Exploitation des connaissances issues des processus de retour d'expérience industriels ». Université de Toulouse.

Jiang, Jay et David Conrath. 1997. « Semantic similarity based on corpus statistics and lexical taxonomy ». in International Conference on Research in Computational Linguistics.

Johnsen, Sara M., et Lars Hvam. 2019. « Understanding the impact of non-standard customisations in an engineer-to-order context: A case study ». *International Journal of Production Research* 57: 6780-6794.

## K

Kamsu Foguem, Bernard, Thierry Coudert, Cédrick Béler, et Laurent Geneste. 2008. « Knowledge formalization in experience feedback processes: An ontology-based approach ». *Computers in Industry* 59: 694-710.

Karray, Mohamed Hedi, Brigitte Chebel-Morello, et Noureddine Zerhouni. 2012. « A formal ontology for industrial maintenance ». *Applied Ontology* 7(3):269-310.

Kolodner, Janet. 1993. *Case-Based Reasoning*. Morgan Kaufmann.

Kröker, Mathias. 1998. « BIDPREP–towards simultaneous bid preparation ». *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 11: 45-51.

Krömker, Mathias, Klaus D. Thoben, et Andreas Wickner. 1997. « An infrastructure to support concurrent engineering in bid preparation ». *Computers in Industry* 33: 201-208.

Kwak, Young Hoon, et Rudy J. Watson. 2005. « Conceptual estimating tool for technology-driven projects: Exploring parametric estimating technique ». *Technovation* 25: 1430-1436.

## L

Lacoste, Sylvie M. 2014. « Coopetition and framework contracts in industrial customer-supplier relationships ». *Qualitative Market Research* 17:43-57.

## Références

- Lalonde, Carole, et Olivier Boiral. 2012. « Managing risks through ISO 31000: A critical analysis ». *Risk Management* 14: 272-300.
- Landquist, Habba, Ida M. Hassellöv, Lars Rosen, Fredrik J. Lindgren, et Ingela Dahllöf. 2013. « Evaluating the needs of risk assessment methods of potentially polluting shipwrecks ». *Journal of Environmental Management* 119: 85-92.
- Lascelles, David M., et Barrie G. Dale. 1989. « The Buyer-Supplier Relationship in Total Quality Management ». *Journal of Purchasing and Materials Management* 25: 10-19.
- Leake, David B. 1996. « CBR in Context: The Present and Future ». *Case-Based Reasoning: Experiences, Lessons & Future Directions*, 3-30.
- Lee, Amy H.I. 2009. « A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks ». *Expert Systems with Applications* 36: 2879-2893.
- Levin, M. Sh, et M. L. Nisnevich. 2001. « Combinatorial scheme for management of life cycle: Example for concrete macrotechnology ». *Journal of Intelligent Manufacturing* 12: 393-401.
- Lin, Dekang. 1998. « An Information-Theoretic Definition of Similarity ». in ICML.
- Luko, Stephen N. 2014. « Risk assessment techniques ». *Quality Engineering*.
- M**
- Manotas N., Vanessa. 2017. « Amélioration de la maîtrise des risques dans les projets par l'utilisation des mécanismes de retour d'expérience ». INP Toulouse.
- Marmier, François, Didier Gourc, et Frédéric Laarz. 2013. « A risk oriented model to assess strategic decisions in new product development projects ». *Decision Support Systems* 56(1): 74-82.
- Marmier, François. 2014. HDR. « Contribution au pilotage des projets et des processus par la prise en compte d'informations relatives aux activités, aux produits, aux ressources et aux risques ». Université de Toulouse.
- Melendez Gonzalez, Diana Sofía. 2019. Thèse. « Proposal of an experience feedback approach to improve collaboration in industrial processes ». Université de Toulouse.
- Mitra, Rudradeb, et Jayanta Basak. 2005. « Methods of case adaptation: A survey ». *International Journal Of Intelligent Systems* 20: 627-645.
- Munier, Nolberto. 2016. *Risk Management for Engineering Projects*. Springer.
- N**
- Nguyen, Trong Hung, François Marmier, et Didier Gourc. 2013. « A decision-making tool to maximize chances of meeting project commitments ». *International Journal of Production Economics* 142: 214-224.
- Ni, Huihui, An Chen, et Ning Chen. 2010. « Some extensions on risk matrix approach ». *Safety Science* 48: 1269-1278.
- Norrman, Andreas, et Ulf Jansson. 2004. « Ericsson's proactive supply chain risk management approach after a serious sub-supplier accident ». *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 34: 434-456.

**O**

O'Shaughnessy, John. 1992. « *Explaining buyer behavior: Central concepts and philosophy of science issues* ». Oxford University Press on Demand.

Oehmen, Josef, Alison Olechowski, C. Robert Kenley, et Mohamed Ben-Daya. 2014. « Analysis of the effect of risk management practices on the performance of new product development programs ». *Technovation* 34: 441-453.

Ogawa, Susumu, et Frank T. Piller. 2006. « Reducing the risks of new product development ». *MIT Sloan Management Review*.

**P**

Patwardham, S. 2003. « Incorporating Dictionary and Corpus Information in a Measure of Semantic Relatedness ». University of Minnesota, Duluth, MN.

Project Management Institute. 2008. *Project Management Journal A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide)*.

Provitolo, Damienne, Dubos-paillard Edwige, et Jean-pierre Müller 2011. « Vers une ontologie des risques et des catastrophes : le modèle conceptuel ». *Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels*, 1:1-16.

**R**

Rada, Roy, Hafedh Mili, Ellen Bicknell, et Maria Blettner. 1989. « Development and Application of a Metric on Semantic Nets ». *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*.

Rakoto, Holitiana. 2004. « Intégration du Retour d'Expérience dans les processus industriels: Application à Alstom Transport ». Université de Toulouse.

Raz, Tzvi, et Erdal Erel. 2000. « Optimal timing of project control points ». *European Journal of Operational Research* 127: 252-261.

Recio-Garcia, Juan A., et Nirmalie Wiratunga. 2010. « Taxonomic semantic indexing for textual case-based reasoning ». *International Conference on Case-Based Reasoning*, 302-316.

Resnik, Philip. 1995. « Using information content to evaluate semantic similarity in a taxonomy ». 448-453 in *International Joint Conference for Artificial Intelligence*.

Rollason, V, G Fisk, et P Haines. 2010. « Applying the ISO 31000 risk assessment framework to coastal zone management ». *NSW Coastal Conference*.

Rush, Christopher et Rajkumar Roy. 2000. « Analysis of cost estimating processes used within a concurrent engineering environment throughout a product life cycle ». *7th ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications* 58-67.

de Ruyter, Ko, Luci Moorman, et Jos Lemmink. 2001. « Antecedents of Commitment and Trust in Customer-Supplier Relationships in High Technology Markets ». *Industrial Marketing Management* 30: 271-286.

Ryals, Lynette J., et Simon Knox. 2005. « Measuring risk-adjusted customer lifetime value and its impact on relationship marketing strategies and shareholder value ». *European Journal of Marketing* 39:456-472.

## Références

Ryals, Lynette, et Simon Knox. 2007. « Measuring and managing customer relationship risk in business markets ». *Industrial Marketing Management* 36: 823-833.

## S

Sardana, G. D., et Mohammed Laeequddin. 2010. « What breaks trust in customer supplier relationship? » *Management Decision* 48: 353-365.

Sepp, Neves, Antonio Augusto, Sepp Neves, Nadia Pinardi, Flavio Martins, Joao Janeiro, Achilleas Samaras, George Zodiatis, et Michela De Dominicis. 2015. « Towards a common oil spill risk assessment framework - Adapting ISO 31000 and addressing uncertainties ». *Journal of Environmental Management* 159: 158-168.

Smith, Eric D., William T. Siefert, et David Drain. 2009. « Risk matrix input data biases ». *Systems Engineering* 12: 344-360.

Strang, Thomas, et Claudia Linnhoff-Popien. 2004. « A Context Modeling Survey ». In *Workshop on Advanced Context Modelling, Reasoning and Management, UbiComp 2004 - The Sixth International Conference on Ubiquitous Computing*.

Suárez-Figueroa, Mari Carmen. 2010. « NeOn Methodology for Building Ontology Networks: Specification, Scheduling and Reuse ». Facultad de Informática (UPM).

Studer, Benjamins, et Fensel, 1998 Knowledge Engineering: Principles and Methods. *Data & Knowledge Engineering*, 25: 161-197.

Sylla, Abdourahim, Elise Vareilles, Michel Aldanondo, Thierry Coudert, Laurent Geneste, et Konstantinos Kirytopoulos. 2017. « Customer/supplier relationship: Reducing uncertainties in commercial offers thanks to readiness, risk and confidence considerations ». *Lecture Notes in Mechanical Engineering*: 1115-1122.

Sylla, Abdourahim, Elise Vareilles, Thierry Coudert, Konstantinos Kirytopoulos, Michel Aldanondo, et Laurent 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.

Sylla, Abdourahim. 2018. Thèse. « Aide à la décision en réponse à appel d'offres : une approche intégrée de conception conjointe produit-processus, de gestion des risques et de retour d'expérience ». Université de Toulouse.

## T

Tawfik, Andrew A. et Janet L. Kolodner. 2016. « Systematizing scaffolding for problem-based learning: A view from case-based reasoning ». *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning* 10:6.

Thun, Jörn Henrik, et Daniel Hoenig. 2011. « An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry ». *International Journal of Production Economics* 131(1): 242-249.

## V

Vinaja, Roberto. 2004. « World Class Supply Management: The Key to Supply Chain Management ».

**W**

Waldman, David A., et David E. Bowen. 1998. « The acceptability of 360 degree appraisals: A customer-supplier relationship perspective ». *Human Resource Management* 37: 117-129.

Ward, Stephen et Chris Chapman. 2003. « Transforming project risk management into project uncertainty management ». *International Journal of Project Management* 21:97-105.

Willams, Terry M. 1994. « Using a risk register to integrate risk management in project definition ». *International Journal of Project Management* 12: 17-22.

Wu, Zhibiao, et Martha Palmer. 1994. « Verbs semantics and lexical selection ». In *Proceedings of the 32nd Annual Meetings of the Associations for Computational Linguistics*, 133-138.

**Z**

Zavadskas, Edmundas Kazimieras, Zenonas Turskis, et Jolanta Tamosaitiene. 2010. « Risk assessment of construction projects ». *Journal of Civil Engineering and Management* 16: 33-46.

Zogbi, Maria Valentina Llamas. 2017. Thèse. « Vers une méthodologie agile pour la résolution des problèmes industriels ». Université de Toulouse.

Zuo, Fei, et Kailing Zhang. 2018. « Selection of risk response actions with consideration of secondary risks ». *International Journal of Project Management* 36: 241-254.

## **Résumé :**

Nos travaux de thèse se déroulent dans le cadre de la relation client-fournisseur. Nous nous intéressons plus précisément au processus d'élaboration d'offres que le fournisseur suit pour répondre à un besoin client ou à un appel d'offres. En effet, lors de la réponse à un appel d'offres, l'élaboration d'une offre est un processus complexe, généralement caractérisé par des informations partielles et imprécises ainsi qu'un temps de réponse limité. A l'issue de l'élaboration d'une offre, sont définis (i) une solution technique décrivant le système ou le produit à réaliser ainsi (ii) qu'un processus de réalisation décrivant les tâches à réaliser pour obtenir et livrer le système ou le produit commandé.

Nous considérons des systèmes ou produits tangibles issus principalement de processus manufacturiers (grues, machines-outils, moteurs...) et nécessitant une phase d'ingénierie plus ou moins conséquente. La situation considérée est donc une situation industrielle de type ingénierie à la commande (ETO). Nous considérons également que l'élaboration de l'offre se limite à une forme de conception préliminaire. Ceci génère le risque que le fournisseur ne soit pas capable de finaliser, réaliser et fournir le système commandé par le client, en respectant ce qui a été promis dans l'offre en termes de coûts et de délais. Adoptant le point de vue des entreprises soumissionnaires, ces travaux de thèse se concentrent sur l'élaboration d'outils à base de connaissances pour aider l'ingénierie des risques du processus de réalisation d'un produit ou d'un système, de sa conception à sa livraison.

Nous proposons d'une part un modèle de connaissance liées aux risques permettant de formaliser et capitaliser toute connaissance liée aux risques lors de la réponse à un appel d'offres. En complément logique, nous proposons une approche de réutilisation des connaissances capitalisées pour aider à l'ingénierie des risques en termes : d'identification des risques, d'évaluations de leurs impacts et de définition de leurs traitements de mitigation.

## **Abstract :**

Our thesis work takes place within the scope of the customer-supplier relationship. More specifically, we are interested in the bidding process that the supplier follows to respond to a customer need or a call for tenders. Indeed, when responding to a call for tenders, the elaboration of an offer is a complex process, generally characterized by partial and imprecise information as well as a limited response time. At the end of the elaboration of the offer, are provided (i) a technical solution describing the system or the product to be realized as well as (ii) a delivery process describing the tasks to be realized to obtain and deliver the ordered system or product.

We consider tangible systems or products mainly resulting from manufacturing processes (cranes, machine tools, engines...) and requiring at least one more or less consequent engineering activity. The considered situation is therefore an industrial situation of the engineering to order (ETO) type. We also consider that the elaboration of the offer is limited to a form of preliminary design. This generates the risk that the supplier will not be able to finalize, realize and supply the system ordered by the customer, respecting what was promised in the offer in terms of costs and deadlines. Adopting the point of view of bidding companies, this thesis work focuses on the development of knowledge-based tools to assist in the risk engineering of the process of leading a product or system, from its design to its delivery.

We propose firstly a risk knowledge model to formalize and capitalize risk knowledge when responding to a call for tenders. As a logical complement, we propose an approach for reusing the capitalized knowledge to help risk engineering in terms of risk identification, risk impact assessment and definition of mitigation treatments.