

Conception d'un processus amélioré de gestion du risque en développement produit

par

Pierre BONZEL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE
LA MAÎTRISE AVEC MÉMOIRE EN GÉNIE AÉROSPATIALE
M. Sc. A.

MONTREAL, LE 19 JANVIER 2018

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Pierre Bonzel, 2017



Cette licence [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

Yvan Beauregard, directeur de mémoire
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

M. Victor Songmene, président du jury
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

Mme Sylvie Nadeau, membre du jury
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 20 DÉCEMBRE 2017

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans la direction et l'encouragement de nombreuses personnes et organisations. Je tiens à remercier mon directeur de recherche, le professeur Yvan Beauregard, de m'avoir guidé et appuyé dans ce processus de recherche et de rédaction. Ses recherches portent sur la conception et le fonctionnement des flux de valeur dans les développements de produits aérospatiaux afin de fournir une amélioration durable de leurs performances sous incertitude. Je lui suis reconnaissant de m'avoir fourni une base intellectuelle sur des domaines pertinents pour ma future carrière professionnelle. Par ailleurs, je remercie mes proches de m'avoir soutenu et accompagné tout au long de cette étude.

Je remercie également le « Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada » pour le financement accordé au programme de recherche mené par Yvan Beauregard et intitulé « *Aerospace product development value streams design and planning for sustainable performance improvement and optimal value under uncertainty.* » (RGPIN 2015 06253). Mon étude y étant rattachée, ce financement m'a directement permis de mener à bien cette recherche.

Je voudrais également remercier les autres membres du comité d'évaluation pour leurs commentaires éclairés sur mon mémoire.

CONCEPTION D'UN PROCESSUS AMÉLIORÉ DE GESTION DU RISQUE EN DÉVELOPPEMENT PRODUIT

Pierre BONZEL

RÉSUMÉ

Le développement de produits est une activité cruciale dans les organisations modernes. Il peut être encadré selon trois domaines orthogonaux : le produit, les activités impliquées dans la création ce dernier, et les personnes responsables de l'exécution de ces activités. Alors que la concurrence se raidit, les organisations sont maintenant non seulement forcées d'introduire continuellement de nouveaux produits, mais aussi de raccourcir leurs délais de développement, de réduire leurs coûts, et d'améliorer la variété et la qualité de leurs produits. Elles ont répondu avec succès à ce défi, en adoptant les pratiques d'ingénierie épurées, en se focalisant sur la valeur créée et en traquant les gaspillages de ressources. Les programmes de qualité et les outils d'amélioration continue permettent également d'accroître la performance résultant du développement. Cependant, la gestion du risque est trop souvent mise à part des outils de planification. Chaque étape du processus, et plus précisément chaque tâche, possède inévitablement des risques. On entend par risque, le déclenchement d'un événement entraînant, pour la tâche, un changement dans le scénario initial. Ce changement de chemin, même si prévu lors d'une planification antérieure, aura forcément un impact sur la performance (délai, coût, qualité) du processus global. Par le biais d'un sondage, effectué auprès d'acteurs de l'industrie aéronautique, cette étude permet de comprendre le niveau de satisfaction et les besoins des utilisateurs du processus de gestion du risque en développement produit. Suite à cela, elle propose un nouveau processus favorisant le recueil et l'exploitation des données de gestion du risque en développement produit.

Mots-clés : développement produit, secteur aéronautique, gestion du risque en développement produit, intégration continue, données de gestion du risque

DESIGN OF AN ENHANCED RISK MANAGEMENT PROCESS IN PRODUCT DEVELOPMENT

Pierre BONZEL

ABSTRACT

Product development is a crucial activity in modern organizations. It can be framed according to three orthogonal domains: the product, the activities involved in it, and the persons responsible for carrying out these activities. As competition stiffens, organizations are now not only forced to continuously introduce new products, but also to shorten their development time, reduce costs, and improve the variety and the quality of their products. They answered successfully to this challenge by adopting lean engineering practices and by focusing on value creation and tracking waste of resources. Quality programs and continuous improvement tools also help increasing the efficiency of product development. However, risk management is too often set apart from planning tools. Every step of product development process, and more precisely every task, inevitably has risks. By risk is meant the triggering of an event causing a change in the initial scenario of the task. This path change, even if planned during a previous earlier product development steps, will have an impact on the overall process performance (time, cost, quality). Through a survey of aerospace industry stakeholders, this study provides an understanding of the level of satisfaction and user needs regarding risk management process in product development. Following this, it proposes a new process to collect and exploit risk management data in product development.

Keywords: Risk management, product development, machine learning, continuous integration, big data.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE	9
1.1 Le développement produit	9
1.1.1 Définition et processus existants	9
1.1.2 Le processus Stage-Gate® et son évolution	11
1.1.3 Les processus et mesures de performance	15
1.1.4 Spécificités de l'industrie aéronautique	18
1.1.5 Conclusion	19
1.2 La gestion du risque dans les programmes de développement produit	19
1.2.1 Le risque : définition	19
1.2.2 La gestion du risque : principes, normes et processus	21
1.2.3 Communication et gestion de l'information du risque	25
1.2.4 L'évaluation de la performance du processus de gestion du risque	27
1.2.5 Critères d'efficacité et causes d'échecs du processus de gestion du risque	28
1.2.6 Conclusion	30
1.3 L'intégration continue	30
1.3.1 Définition, principes et objectifs	30
1.3.2 Applications dans le développement de produits physiques	31
1.3.3 Utilisations dans la gestion des connaissances	32
1.3.4 Utilisations dans la gestion des risques	33
1.3.5 Conclusion	35
1.4 La collecte et l'analyse des données au service des processus de gestion	35
1.4.1 Des données à leur valeur ajoutée	36
1.4.2 Les difficultés inhérentes aux données de gestions de risque	37
1.4.3 Traitement et exploitation des données de risque	38
1.4.4 Description de l'information relative à la GR	40
1.4.5 Conclusion	41
1.5 Conclusion et opportunités de recherche	42
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE	45
2.1 Stratégie et articulation des livrables de la recherche	45
2.1.1 La science de la conception, principes et processus	45
2.1.2 L'étude face à cette stratégie de recherche	46
2.2 Identification de la problématique et des besoins	48
2.2.1 Sondage : méthodologie et objectifs	48
2.2.2 Description du questionnaire	50
2.2.3 Validation des résultats collectés par une entrevue	50
2.2.4 La maison de la qualité	51
2.3 Suggestion de solutions	52

2.4	Développement de la solution.....	52
2.4.1	Conception d'un processus d'intégration continue de la GR dans le DP	52
2.4.1.1	Place et objectifs de la GR dans le DP.....	52
2.4.1.2	Modélisation de processus d'affaires.....	53
2.4.2	Exploitation des données de GR : apprentissage machine.....	55
2.4.2.1	Place et objectifs de l'apprentissage machine appliquée à la GR dans le DP	55
2.4.2.2	Apprentissage machine : classification et regroupement.....	57
2.5	Évaluation de l'outil développé	64
2.5.1	Méthode d'évaluation	64
2.5.2	Validité des artefacts de l'étude.....	64
CHAPITRE 3	RÉSULTATS.....	67
3.1	Définition du problème, identifications et validation des besoins.....	67
3.1.1	Résultats du sondage.....	67
3.1.2	Validation par une entrevue.....	74
3.1.3	Analyse et synthèses des résultats.....	75
3.1.4	Besoins.....	77
3.1.5	Attributs	78
3.1.6	Construction de la maison de la qualité	80
3.2	Suggestion de solutions.....	83
3.2.1	Solution 1 : processus non relié à une base de données.....	83
3.2.2	Solution 2 : processus lié à une base de données.....	83
3.2.3	Solution 3 : processus lié à une base de données et intégré au PLM.....	84
3.2.4	Solution 4 : outil d'intégration continue de la gestion du risque conçu pour l'apprentissage machine	84
3.2.5	Synthèse et choix	85
3.2.6	Justification de la solution choisie	86
3.3	Solutions développées.....	90
3.3.1	Processus d'intégration continue de la GR au sein du DP.....	91
3.3.1.1	Représentation du processus d'affaires continu lié à la GR (SIPOC)	92
3.3.1.2	Cheminement d'un risque au sein du processus	95
3.3.1.3	Conclusion	96
3.3.2	Apprentissage machine exploitant les données de GR générées lors du DP	97
3.3.2.1	Méthode d'apprentissage supervisé de classification des descriptions de risques	97
3.3.2.2	Méthode de regroupement permettant l'évaluation de la performance d'identification des risques.....	102
3.3.2.3	Conclusion	106
3.4	Conclusion	107

CHAPITRE 4	VALIDATION, ANALYSE ET DISCUSSION.....	109
4.1	Validation.....	109
4.1.1	Processus d'évaluation de validité.....	109
4.1.2	Résultats.....	110
4.1.3	Conclusion.....	112
4.2	Contributions de la recherche.....	112
4.3	Limitations et validité de l'étude.....	114
4.4	Recommandations en vue de futurs travaux.....	117
CONCLUSION	119
ANNEXE I	MÉTHODES D'ÉVALUATION DU PROCESSUS DE GESTION DE RISQUE.....	123
ANNEXE II	QUESTIONNAIRE D'IDENTIFICATION DES BESOINS.....	125
ANNEXE III	MESSAGES DE PRÉSENTATION UTILISÉS LORS DE LA DIFFUSION DU SONDAGE.....	131
ANNEXE IV	LISTE DES MEMBRES DU CRIAQ ET CARIC SUJET À LA DIFFUSION.....	133
ANNEXE V	RÉPONSES BRUTES AU QUESTIONNAIRE D'IDENTIFICATION DES BESOINS.....	135
ANNEXE VI	GUIDE D'ENTREVUE DEMI-DIRECTIVE.....	149
ANNEXE VII	ÉCHANGES DÉTAILLÉS DE L'ENTREVUE.....	151
ANNEXE VIII	QUESTIONNAIRE DE VALIDATION DU PROCESSUS.....	153
ANNEXE IX	EXTRAIT ALÉATOIRE DE LA TABLE DE DONNÉE UTILISÉE POUR LES MODÈLES D'APPRENTISSAGE.....	157
ANNEXE X	CODE XML DE LA MÉTHODE DE CLASSIFICATION DES DESCRIPTIONS UTILISANT L'ALGORITHME K-NN.....	159
ANNEXE XI	CODE PYTHON D'ÉVALUATION DES REGROUPEMENTS.....	163
ANNEXE XII	ARTICLE - CONFERENCE MOSIM 2016.....	165
ANNEXE XIII	ARTICLE - CONFÉRENCE ASEM 2017.....	175
LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		185

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1	Principaux processus de DP existants et leurs étapes10
Tableau 1.2	Marqueurs de performance relevés au travers des 8 dimensions du LAT17
Tableau 2.1	Livrables et moyens face aux étapes et sous étapes mises en œuvre pour la réalisation des objectifs de l'étude.....47
Tableau 2.2	Exemple d'une table de n-grammes60
Tableau 3.1	Requis de la solution développée face à aux étapes de GR définies par ISO 3100080
Tableau 3.2	Spécifications81
Tableau 3.3	Synthèses des solutions évoquées85
Tableau 3.4	Mauvais classements résultant des différents modèles d'apprentissages expérimentés101
Tableau 3.5	Structure de la table résultant du regroupement104
Tableau 3.6	Performance de la GR exprimée en termes de surprises détectées (1 000 descriptions)105
Tableau 3.7	Performance de la GR exprimée en termes de surprises détectées (500 descriptions)106

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 0.1 Étude sur 1229 réponses des secteurs aérospatiaux et de la défense (tirée de PwC, 2015)	3
Figure 0.2 Cadre de la recherche.....	5
Figure 0.3 Illustration du processus de gestion au sein du DP	5
Figure 0.4 Relation entre les étapes du cycle de résolution de problèmes et la structure des chapitres de ce mémoire	7
Figure 1.1 Liens et différences entre le risque et l'incertitude.....	20
Figure 1.2 Relations entre les principes, le cadre et le processus de gestion des risques (tirée de ISO, 2009a)	23
Figure 1.3 Flux de communication au sein des processus traditionnels à gauche, Agile-Stage-Gate® à droite (tirée de Cooper et Sommer, 2016).....	26
Figure 1.4 Processus de gestion continue des risques (adaptée de DOD, 2015).....	34
Figure 1.5 Pyramide de la transformation des données (tirée de Asar, 2017)	37
Figure 1.6 Approches d'apprentissage en machine (tirée de Louridas & Ebert, 2016)	40
Figure 2.1 Processus d'une étude scientifique menée dans le cadre de la science de la conception (tirée de Vaishnavi et Kuechler, 2015).....	46
Figure 2.2 Cadre de la Maison de la Qualité (adaptée de Chowdhury & Quaddus, 2016).....	51
Figure 2.3 Occurrence discontinue du processus de GR au long du DP	53
Figure 2.4 Légende des diagrammes de flux.....	54
Figure 2.5 GR et engagement lors du DP de l'organisation envers ses clients	55
Figure 2.6 Diagramme de la classification des descriptions de risques	56
Figure 2.7 Diagramme de l'évaluation de la performance d'identification des risques psr regroupements	57
Figure 2.8 Prétraitement des documents améliorant la qualité du texte.....	59

Figure 3.1	Comparaison entre les réponses des deux vagues de diffusions.....	68
Figure 3.2	Critère de saturation empirique.....	69
Figure 3.3	Secteurs d'activités des entreprises où exercent les répondants	70
Figure 3.4	Rôles des répondants exercés au sein du DP	70
Figure 3.5	Relations entre le niveau de satisfaction moyen et le rôle durant le développement produit.....	71
Figure 3.6	Normes de gestions de risque utilisées par les répondants au sein de leur organisation.....	72
Figure 3.7	Difficultés relevées dans les étapes du processus de gestion de risques et leurs répartitions au travers des rôles impliqués dans le DP	73
Figure 3.8	Question du sondage utilisé pour la pondération des attributs	79
Figure 3.9	Maison de la qualité	82
Figure 3.10	Diagramme de Pareto.....	82
Figure 3.11	Diagramme de flux de la solution 4	85
Figure 3.12	Place de l'intégration continue et de son impact sur le processus de développement produit.....	91
Figure 3.13	Occurrence continue du processus de GR au long du DP après implémentation de son intégration continue	92
Figure 3.14	SPIOC processus de gestion de risques	93
Figure 3.15	Diagramme de la méthode d'intégration continue de la gestion du risque face à ses étapes définies par ISO 31000	94
Figure 3.16	Diagramme des flux de la méthode d'intégration continue de la gestion du risque face à ses étapes définies par ISO 31000	96
Figure 3.17	Processus de classification supervisée développée sur RapidMiner®.....	98
Figure 3.18	Processus d'entraînement et validation croisée des modèles	99
Figure 3.19	Mauvais classements par modèle expérimenté	101
Figure 3.20	Performances globales de classification des modèles en fonction du nombre de descriptions disponibles	102

Figure 3.21	Méthodes de regroupement implémenté sur RapidMiner®	103
Figure 4.1	Niveaux de compréhension du processus développé.....	110
Figure 4.2	Étapes du processus de GR bénéficiant le plus de l'apport du processus développé.....	111
Figure 4.3	Impacts exprimés au regard du processus développé sur les principes du GR.....	111

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

CARIC	Consortium pour la recherche et à l'innovation aérospatiales au Canada
CRIAQ	Consortium pour la recherche et l'innovation dans l'aérospatiale au Québec
DOD	Department of defense
GR	Gestion de risque
LAT	Lean assessment tools
OBS	Organizational breakdown structure
PLM	Product lifecycle management
WBS	Work breakdown structure

INTRODUCTION

Contexte de recherche

La gestion des processus de développement produits est loin d'être une préoccupation nouvelle dans l'industrie de l'aérospatiale et de la défense. Ces questions de gestion sont étudiées par ces industries depuis des décennies. Malgré le fait qu'elles continuent d'attirer les capitaux des investisseurs, et bien qu'elles ont toujours eu une expertise reconnue de la gestion de leurs programmes de développement produit, l'exécution de ces derniers reste leur talon d'Achille. On ne compte plus aujourd'hui le nombre de projets faisant face à des dépassements de coûts, de retards de calendrier ainsi que des problèmes de qualité. Même si ces derniers sont souvent des succès commerciaux, les investisseurs, qu'ils soient privés ou publics, veulent que ces programmes de développement soient bien gérés, tant au niveau des technologies utilisées que des processus mis en place. L'histoire bien documentée du développement de l'avion Boeing 777 illustre cela. Bien que le 777 ait obtenu un succès commercial et qu'il soit populaire auprès des voyageurs et des pilotes, ses coûts de développement ont été considérablement supérieurs à ceux prévus. Plus récemment, le programme du CSeries initié par Bombardier a défrayé la chronique pour ses retards et surcoûts (Austen, 2015, 2017; Owram, 2015).

L'augmentation de la complexité des systèmes et des exigences de certification toujours plus strictes conduisent à une augmentation du temps de cycle et des coûts de conception. Le coût unitaire de développement des avions commerciaux est en moyenne multiplié par dix tous les 18 ans (Augustine, 1997). Une telle augmentation couplée à la nécessité de satisfaire les actionnaires et les clients accroît l'importance de s'assurer de la performance et du succès des programmes de développements d'aéronefs. En effet, au vu de la durée des cycles de développement et des coûts y étant associés, les résultats de chacun de ces programmes sont critiques et influencent grandement la santé de ces entreprises. En raison de la concurrence mondiale accrue, des progrès technologiques et de l'évolution rapide des besoins des clients, réduire ou simplement respecter les délais et les coûts de développement d'un produit est une priorité stratégique pour de nombreuses organisations (Hilda C. Martinez León, Jennifer A.

Farris, & Letens, 2013). Dans ce contexte, les processus de gestion supportant les activités de développement de produits et leur efficacité sont considérés comme essentiels et critiques.

Motivation de l'étude

Chaque année, PricewaterhouseCoopers (PWC), cabinet d'audit britannique, réalise une étude à l'échelle mondiale afin de mieux comprendre les pratiques et les perspectives actuelles en matière de gestion des risques. Pour sa dernière révision de 2016, près de 1 700 réponses réparties dans 23 segments de l'industrie ont été récoltées. Des entretiens individuels avec des cadres sélectionnées parmi les sociétés du célèbre classement Fortune 100™ valident et aident à l'interprétation de ces résultats. L'étude « *Risk in review* » (PricewaterhouseCoopers, 2016b) porte un intérêt particulier à deux compétences parallèles dont les entreprises ont besoin pour réussir durablement : l'agilité et la résilience face au risque. L'agilité représente la capacité d'adapter rapidement l'infrastructure de gestion des risques (processus, contrôles, outils et technique) face aux conditions changeantes du marché et aux imprévus de développement. La résilience se définit par la capacité d'un système et de ses composants à anticiper, absorber, s'accommoder ou à se remettre, de manière rapide et efficace, des effets d'un choc (Mitchell & Harris, 2012). L'étude indique que les entreprises du secteur de l'aérospatiale et de la défense sont en train de transformer leurs activités commerciales pour accroître leur potentiel de croissance à long terme (PricewaterhouseCoopers, 2016a). Cependant, les réponses de ces entreprises montrent qu'elles n'exploitent pas le plein potentiel de la gestion du risque pour faire fructifier leurs efforts. Les entreprises de l'aérospatiale et de la défense doivent donc transformer leurs capacités de gestion des risques conjointement avec leurs activités afin de tirer profit des avantages de leurs transformations stratégiques (PricewaterhouseCoopers, 2016a).

La Figure 0.1 expose une partie des résultats d'une étude réalisée en 2015 auprès de 1229 acteurs des secteurs aérospatiaux et de la défense. Sur cette figure, le pourcentage présent dans le titre de chacun des diagrammes indique la proportion des répondants ayant répondu à l'affirmation en question. La proportion d'affirmations ou d'infirmités dans ces sous-ensembles de répondants est alors illustrée par un.

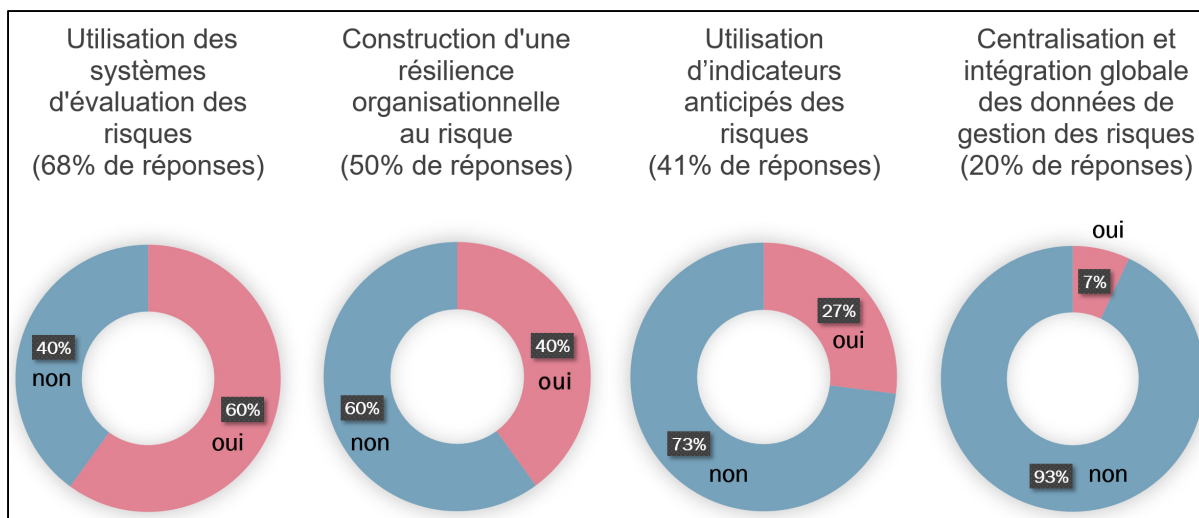


Figure 0.1 Étude sur 1229 réponses des secteurs aérospatiaux et de la défense (tirée de PwC, 2015)

Dans l'ensemble, les sociétés du secteur aérospatial et de la défense de ces récentes enquêtes exposent une résilience du risque supérieure à la moyenne d'autres secteurs. Cependant, elles sont en retard lorsqu'il s'agit de démontrer leur agilité face aux risques. En effet, comme le montre la synthèse des résultats de l'étude (*Voir* Figure 0.1), la centralisation et l'utilisation des données de gestions de risque pour la création d'indicateurs anticipé restent encore une pratique très peu répandue. L'amélioration de ces capacités renforcerait les perspectives de création de valeurs de cette industrie (PricewaterhouseCoopers, 2016a). Ce constat se trouve être une des motivations à la conception de processus pour le recueil et l'exploitation des données du processus de gestion du risque (GR) en vue de l'amélioration de sa performance.

Le conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada a accordé en 2015 une subvention à la découverte pour la recherche intitulée « *Aerospace product development value streams design and planning for sustainable performance improvement and optimal value under uncertainty* » menée par Yvan Beauregard. Cette décision fait écho aux résultats d'audits exposés précédemment et associe la nécessité de développer une nouvelle approche plus performante de développement produit dans le secteur aéronautique. C'est dans cette vaste problématique de recherche que cette étude, traitant la partie relative au processus de gestion du risque et son intégration au sein du développement produit, se tient.

Problématique et objectifs de recherche

La problématique de cette recherche appliquée est d'établir, par le biais d'un sondage réalisé auprès des praticiens du secteur aéronautique, leurs besoins entourant les thèmes du développement produit et de la gestion des risques. Le but est ici de connaître l'état de l'art de l'utilisation dans l'industrie du processus de gestion des risques et d'établir les attentes et les besoins en termes d'amélioration de ces processus. En réponse à ces besoins et aux écarts observés, un processus d'exécution de la gestion du risque au sein du développement produit est conçu. Ce processus permet une nouvelle forme d'intégration et d'exécution des normes de gestion de risques existantes, telle que ISO 31000 largement utilisée (International Standard, 2009a), dans le contexte du développement de produit. De plus, il vise à établir un cadre permettant de collecter et d'utiliser plus efficacement les données générées par l'exécution du processus de GR. Les incertitudes émanant des objectifs du DP sont transformées en risque quantifiable par le processus de GR. Les parties représentées en pointillés dans la Figure 0.2 correspondent aux éléments visant à être développés par cette étude. Ainsi, cette structure permettra de faciliter le développement de modèle d'apprentissage machine visant l'amélioration de la performance du processus de GR au sein des entreprises. Cette recherche s'insère également dans un cadre plus global visant une utilisation des données générées par les processus de gestion internes aux entreprises comme support à l'amélioration de leur performance.

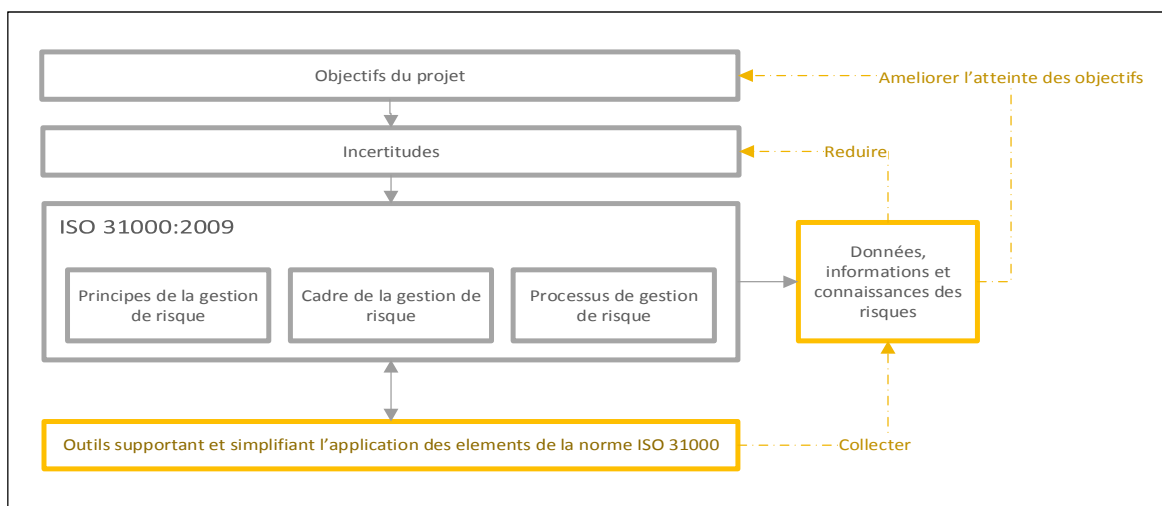


Figure 0.2 Cadre de la recherche

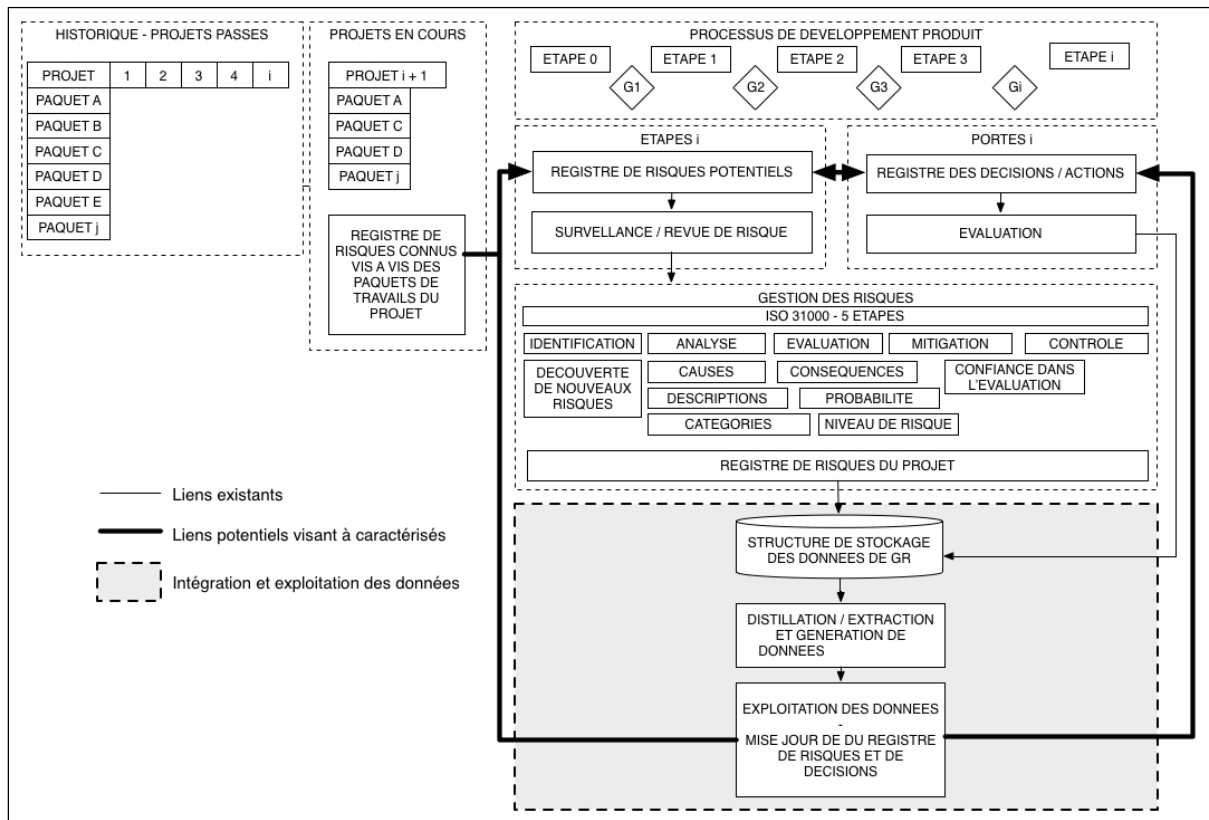


Figure 0.3 Illustration du processus de gestion au sein du DP

Dans cette étude, l'objectif principal est donc la conception d'un processus pour l'intégration et l'exploitation des données de GR en DP. Les parties représentées en gras dans la Figure 0.3 correspondent aux liens visant à être caractérisés par cette étude. Pour assurer la validité, la pertinence et pour spécifier les étapes de celle-ci, la méthodologie des sciences de la conception est mise en application. La science de la conception offre un cadre de recherche visant à créer des artefacts et de nouvelles connaissances afin de résoudre des problèmes spécifiques (Dresch, Lacerda, & Antunes Jr, 2015). En passant au travers des étapes de cette méthodologie, cette étude vise donc à donner réponse aux sous objectifs suivant :

1. Par le biais d'un sondage, identifier l'état d'implantation, le niveau de satisfaction, ainsi que les besoins de l'industrie au regard des pratiques de gestion du risque dans le développement de produits aéronautiques;

2. Concevoir, développer et valider un processus, répondant aux besoins exprimés, pour l'intégration et l'exploitation des données de GR en DP facteur d'une possible amélioration de la performance du processus de GR.

Livrables et contributions de l'étude

En réponse aux objectifs précédemment exposés, cette étude propose aux différents domaines de recherche traités, par le biais des étapes de la science de la conception, les livrables et leurs contributions suivantes.

1. Un sondage dressant un état des lieux des pratiques, de ses manques et des besoins en termes de pratiques et d'outils liés à la gestion des risques au sein du DP en aéronautique;
2. Les besoins et les requis d'un processus répondant aux attentes relevées par le sondage;
3. La conception d'un processus pour l'intégration et l'exploitation en continue des données de GR durant le DP;
4. La classification et le regroupement de descriptions de risques visant à exploiter les données de la GR pour en améliorer son efficacité.

Structure et organisation de l'étude

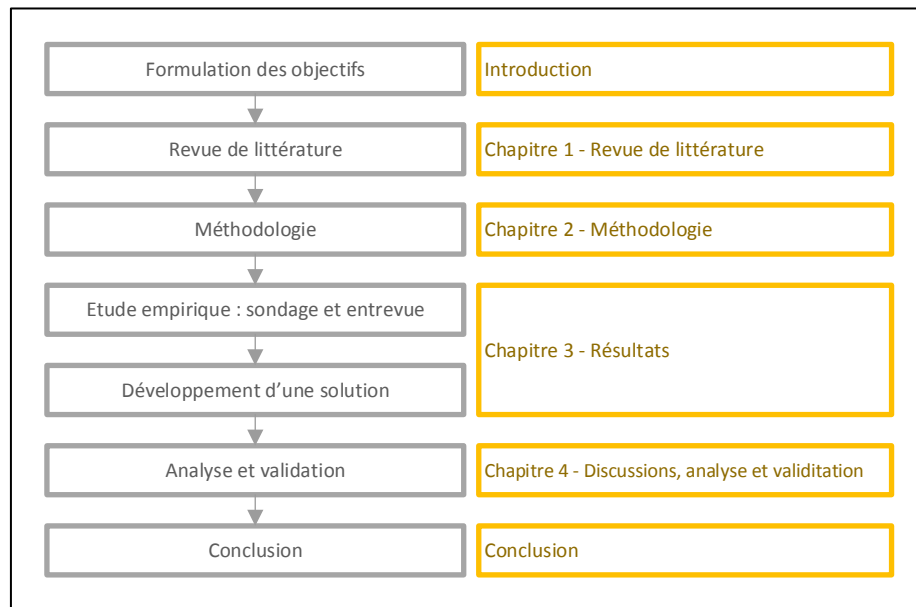


Figure 0.4 Relation entre les étapes du cycle de résolution de problèmes et la structure des chapitres de ce mémoire

La Figure 0.4 illustre comment s'articulent les différents éléments du plan de cette recherche. Le chapitre 1 présente une revue de littérature voulue la plus pertinente et exhaustive possible face à la problématique et aux objectifs évoqués ci-dessus. Elle couvre les thèmes principaux de l'étude :

- le développement produit,
- la gestion de risques au sein de celui-ci,
- la performance et l'exécution de ces processus,
- la notion d'intégration continue dans les processus de gestion,
- les données générées et leur exploitation.

Une revue de la littérature peut servir un ou plusieurs des objectifs suivants (Neuman, 2002) :

1. Démonstration de familiarité avec un ensemble de connaissances et ainsi établir une forme de crédibilité;
2. Intégrer et synthétiser ce qui est connu d'un domaine;

3. Apprendre des autres travaux de recherche et stimuler l'émergence de nouvelles idées;
4. Montrer les voies et les opportunités évoquées par les recherches précédentes et leurs liens avec les objectifs de recherche en cours;

Dans le but de répondre à ces quatre objectifs, les recherches ont été effectuées en utilisant des mots-clés simples et des phrases et expressions plus spécifiques. La recherche de la littérature est axée sur des publications universitaires ainsi que sur l'expertise collective de l'industrie.

Le chapitre 2 traite de la méthodologie et de la stratégie de recherche choisie. Elle est structurée en parties correspondant respectivement aux méthodologies employées pour la réalisation de chacune des étapes de la science de la conception.

Le chapitre 3 est spécifique aux résultats. Chacune de ses parties répond à une étape des sciences de la conception. Il expose donc l'identification des besoins, les alternatives de solutions et la conception des artéfacts réalisés lors de cette étude.

Pour finir, le chapitre 4 est dédié à la validation des artéfacts conçus et l'analyse des résultats. Enfin, une partie de discussion ouvre vers de futures recherches. Les limitations et les évolutions possibles du processus développé sont également évoquées.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

Ce chapitre, par un examen de la littérature, présente l'état de l'art de la gestion de risques dans les processus de développement produits, ainsi que la place des données dans ces derniers. Cet examen s'intéresse également à la manière dont est exécutée la gestion du risque au sein de ce dernier. La synthèse de ce chapitre apportera une part de la justification de cette étude en mettant en avant les ouvertures et les manques des recherches existantes.

1.1 Le développement produit

À mesure que les besoins des clients évoluent, que les cycles de vie des produits se raccourcissent, que ceux existants deviennent rapidement obsolètes, que les marchés se globalisent et que la concurrence se raidit, les entreprises doivent constamment innover et développer de nouveaux produits pour survivre (Sethi, 2012). Un développement produit relie et implique de nombreuses activités, telles que la détermination des exigences et des besoins, le développement et la mise à l'essai d'un concept de produit, la définition complète de celui-ci, son développement, la gestion des fournisseurs impliqués, la planification des processus de fabrication ou encore la conception d'une stratégie marketing. La mise en œuvre efficace des processus inhérents à ces activités conditionne la réussite d'un développement produit.

1.1.1 Définition et processus existants

La NASA a introduit la planification par étapes du développement produit dans les années 1960. Ce processus d'examen progressif était constitué de cinq phases (analyse préliminaire, définition, conception, développement, opérations) pouvant être examinées individuellement ou par séquence. Les critères d'examen présent à la fin de chaque phase définissaient ou non le passage à la phase suivante. Ces processus précurseurs d'examen progressif sont considérés comme étant de première génération : ils ne tiennent pas compte de l'analyse des marchés dans le développement de nouveaux produits. Ces modèles posent néanmoins les bases d'une

méthodologie de contrôle et de mesure garantissant que toutes les tâches d'un projet soient remplies (Booz & Hamilton, 1982).

Sur la base des succès et des échecs qu'ils observent, Cooper et Kleinschmidt (1986) estiment que les entreprises avaient besoin d'utiliser un processus formel pour le développement de produits et l'évaluation de projets (Robert G. Cooper & Kleinschmidt, 1986). Ils développent donc un processus dans lequel les différents stades du développement du produit sont séparés par des portes de revues et d'évaluation. C'est basé sur ces conclusions que le processus Stage-Gate® est né en 1986.

Tableau 1.1 Principaux processus de DP existants et leurs étapes

Auteur	Processus	Étapes / « stages »
Boer (1999)	5 étapes	1 - Idées brutes 2 - Projet conceptuel 3 - Faisabilité 4 - Développement 5 - Commercialisation précoce
Cooper & Kleinschmidt (2001)	6 étapes : Stage-Gate®	1 – Idéation 2 - Portée et concept 3 - Plan d'affaires 4 - Développement 5 - Tests et validation 6 – Lancement
Schroeder (2003)	3 étapes	1 - Développement du concept 2 - Design du produit 3 - Test et production pilote
Ulrich et Eppinger (2004)	5 étapes	1 - Développement du concept 2 - Design conceptuel 3 - Design détaillé 4 - Tests et ajustements 5 - Mise en production
Cooper (2016)	6 étapes : Agile-Stage-Gate®	6 - Mêmes étapes que 2001

Le Tableau 1.1 présente les différents processus de DP existants ainsi que leurs auteurs respectifs. On remarque par l'intitulé des étapes de chaque processus que les différences entre

chacun ne sont pas majeures et suivent de plus ou moins près les étapes instaurées par Cooper en 2001. Ulrich et Eppinger axent cependant leur cycle de développement sur le produit lui-même en laissant pour un autre processus le soin de s'assurer des considérations de rentabilité et de marché.

1.1.2 Le processus Stage-Gate® et son évolution

Le processus Stage-Gate®, maintenant marque déposée du « *Product Development Institute Inc.* », propose une méthode d'examen continu du processus de DP. Il devient ainsi une progression logique répondant à des objectifs définis. Chaque étape consiste en un ensemble d'activités prescrites, interfonctionnelles et parallèles conçues pour recueillir les informations nécessaires pour faire passer le projet à l'étape suivante (Robert G. Cooper & Kleinschmidt, 1986). L'entrée de chaque étape étant conditionnée au passage d'une porte. Ces portes contrôlent l'avancée dans le processus et servent de contrôle de qualité. À chaque point de contrôle, une décision de type « acceptation / rejet » est prise.

Ce processus suit six étapes linéaires, elles-mêmes entrecoupées de cinq portes. À l'état initial, c'est la découverte : de nouvelles idées et concepts de produits sont générés. À la porte une, ces idées sont listées et une décision de type « acceptation / rejet » est prise sur chacune d'elle. Le projet doit ou devra répondre à certains critères préétablis pour passer ce portail. Si une décision positive est prise, le projet passe à l'étape une, appelée « portée et concept ». À ce stade d'étude préliminaire, une première étude de marché et une évaluation technique sont effectuées. Les besoins des utilisateurs ciblés sont ébauchés, un test conceptuel et des groupes de discussion peuvent être utilisés pour déterminer la taille, le potentiel et la capacité d'acceptation du marché. De même, la faisabilité technique et de fabrication, les délais ainsi que les coûts sont établis. L'analyse de portée relate quant à elle les projections du marché et l'analyse des avantages techniques et commerciaux du produit. Le but étant de recueillir à faible coût et en peu de temps ces informations pour préparer le passage de la porte deux. À cette porte, les projets subissent un deuxième écran, similaire méthodologiquement au premier, mais beaucoup plus rigoureux. Au vu des critères impératifs et conditionnels, si une décision

« d'acceptation » est prise, le projet passe alors à une phase de dépenses plus lourde. C'est la phase de création d'un plan d'affaires rigoureux où une analyse détaillée est construite. Des études de marché sont faites pour comprendre les besoins et les désirs des clients. Une analyse détaillée, compétitive, technique, commerciale et financière est effectuée. Elle permet, avec une définition exhaustive du produit, de définir et justifier le plan d'exécution en termes de ressources et d'objectifs du programme de développement. Une approbation à la porte trois conduit à la conception réelle et au développement du nouveau produit. Si le produit conçu est approuvé à la porte quatre, le produit passe alors à la phase de validation et de test. Il est suivi par la porte cinq qui marque le lancement final du produit. Enfin, un examen de post lancement vient clôturer le processus.

Au fil des années, certains problèmes liés au procédé Stage-Gate® ont été identifiés. En effet, bien qu'il ait introduit plus de contrôle et d'ordre dans le processus de développement produit des entreprises, ce dernier reste assez bureaucratiquement contraignant, lourd à implémenter et long à mettre en œuvre. Afin de résoudre ces problèmes, quelques caractéristiques, créant ainsi la troisième génération, lui sont rajoutées (Robert G Cooper & Kleinschmidt, 2001). Ces dernières sont connues en anglais sous le nom des six « F » : « *Flexibility* (flexibilité), *Fuzzy* (flou), *Fluidity* (fluide), *Focus* (centré vers une stratégie), *Facilitation* (facilité), *Forever green* (amélioration continue du processus) » (Robert G Cooper & Kleinschmidt, 2001). Suite à ces intégrations, Cooper (2008) a décliné différentes versions du procédé Stage-Gate® en l'adaptant à différents types de produits. Alors qu'un processus Stage-Gate® complet s'applique au projet les plus complexes, un processus Stage-Gate® Xpress composé de trois étages et deux portes serait plus efficace pour les projets à risque modéré, tels que les améliorations, les modifications et les extensions de produit déjà existant. De la même manière, un processus Stage-Gate® Lite avec deux étapes et une porte est décliné pour de très petits projets, tels que des produits développés en réponse par exemple à de simples demandes émises par un client pour une adaptation mineure d'un produit déjà existant. De ces déclinaisons se dégage une relation entre le nombre de portes à implémenter et le risque inhérent au projet (Robert G Cooper, 2008). Plus le risque est grand, plus on devra s'attacher à suivre le processus complet. Il suggère également de tendre vers des processus de développement en spirale afin

que les équipes de projet puissent rapidement finaliser la conception du produit à travers un certain nombre d'itérations de type « *build - test - feedback - review* (construire, tester, retour d'information, revue) » (Robert G Cooper, 2008). Ces itérations sont la base des méthodes agiles exposées dans la suite de cette partie.

Bien que le procédé Stage-Gate® suggère des portes ayant des critères contraignants, rigoureux et bien définis, on constate que dans de nombreuses entreprises, les portes sont assez mal définies (Robert G Cooper, Edgett, & Kleinschmidt, 2002b). De ce fait, les organisations ont du mal à abandonner pragmatiquement des projets qui le devraient. Il est donc suggéré que les critères de révision soient officiellement établis et strictement respectés pour que les évaluateurs puissent effectuer une évaluation efficace des projets (Sethi, 2012). De plus, il est montré que des portes plus contraignantes améliorent la performance du processus de développement (Robert G Cooper, Edgett, & Kleinschmidt, 2002a; Robert G Cooper et al., 2002b). Les critères doivent également être objectifs, de sorte qu'ils ne puissent pas être interprétés différemment par les différents gestionnaires et ainsi permettre une application uniforme à chaque nouveau produit. D'un point de vue plus concret, cette objectivité empêche les gestionnaires d'interpréter les critères pour favoriser de manière non objective leurs projets.

Ces dernières années, les méthodologies de développement dites « agile » ont été largement adoptées par l'industrie du développement logiciel. Elles ont donné des résultats positifs en améliorant des domaines relatifs à l'exécution du DP, tels que la communication et la coordination des efforts au sein des équipes (Pikkarainen, Haikara, Salo, Abrahamsson, & Still, 2008; Vázquez-Bustelo, Avella, & Fernández, 2007). La philosophie de développement produit agile consiste à nourrir un état d'esprit qui permet de s'adapter constamment à des situations en évolution rapide tout en recherchant constamment les moyens les plus efficaces pour résoudre les problèmes (Varma, 2015). Dans cette optique, une nouvelle approche, le modèle hybride Agile-Stage-Gate®, intègre les principes et la philosophie de la gestion de projet agile à celle du Stage-Gate®. Comme mentionné dans un article récent (Robert G Cooper & Sommer, 2016), l'intégration des méthodes Agile-Scrum à Stage-Gate® constituerait le

changement le plus significatif des méthodes de développement produit depuis près de 30 ans. Ces nouvelles méthodes introduisent de nouveaux outils tels que :

- « *story* » ou « récit utilisateur » en français : technique synthétisant les besoins. Qui, quoi dans quel but;
- « *sprint* » : horizon à court terme du DP, souvent appelé itération, 1 mois maximum. Pas de traduction française à notre connaissance;
- « *scrum* » ou « mêlée quotidienne » en français : cadre méthodologique de la gestion de projet dite agile;
- « *surndown charts* » ou « graphiques burndown » en français : graphique montrant l'évolution du travail restant en fonction du temps, utilisé pour suivre l'avancement du « sprint ».

Mais ces nouvelles méthodes et leurs nouveaux outils peuvent-ils vraiment être intégrés à l'approche traditionnelle et populaire de Stage-Gate® et utilisés ensuite sur des produits physiques ? (Robert G Cooper & Sommer, 2016). Il s'agit d'une question parmi de nombreuses autres soulevée dans un article explicitant les nouveaux champs de recherche levés par ce nouveau processus. Des données initiales, mais limitées, indiquent qu'une poignée d'entreprises manufacturières ont utilisé ce modèle hybride pour leurs nouveaux produits physiques. Ces données montrent que les avantages de ce modèle hybride résident dans une réponse plus rapide et plus adaptée aux besoins changeants des clients, une meilleure intégration de l'avis du client, une meilleure communication d'équipe, une productivité de développement améliorée et une mise sur le marché plus rapide. La productivité en DP peut se définir comme le rapport entre les résultats d'un processus vis-à-vis des ressources qu'il a consommées (Hinckeldeyn, Dekkers, & Kreutzfeldt, 2015). L'exemple d'une société de jouets, LEGO®, est fourni à titre d'illustration de ses résultats préliminaires (Robert G Cooper & Sommer, 2016). Une autre étude de cas récente montre que la philosophie agile n'est pas encore implantée dans beaucoup de sociétés manufacturières (Leite & Braz, 2016). Cependant, il a été constaté que de nombreuses pratiques de gestion agile étaient déjà mises en œuvre dans ces entreprises sans association explicite avec cette philosophie (Leite & Braz, 2016; Pham, Pham, & Thomas, 2008). Bien que les résultats initiaux semblent prometteurs, des recherches sont

nécessaires pour explorer ce nouveau modèle hybride Agile-Stage-Gate®. De nombreux défis quant à son intégration bénéfique ou non au sein d'entreprise telle que celle du secteur aéronautique, aérospatial ou de défense demeurent (Conforto & Amaral, 2016; Gunasekaran, Tirtiroglu, & Wolstencroft, 2002; Stelzmann, 2012)

1.1.3 Les processus et mesures de performance

Pour assurer la réussite d'un projet, il ne suffit pas de bien le planifier. Le meilleur des plans de développement n'est rien sans une méthodologie en assurant son contrôle. En recherche et développement de produits, la mesure de la performance des processus reste une tâche difficile et complexe (Chiesa, Frattini, Lazzarotti, & Manzini, 2009; Loch & Tapper, 2002) principalement en raison de la nature non répétitive et non structurée de ce processus (Browning & Eppinger, 2002). Plusieurs auteurs ont montré l'influence des facteurs externes (ex : les sous-traitants et partenaires) qui échappent au contrôle des gestionnaires sur la réussite d'un projet et la place prépondérante du temps dans leur réalisation (Hornos da Costa, Oehmen, Rebentisch, & Nightingale, 2014; Talbot & Venkataraman, 2011). En plus d'être considérée comme une tâche difficile, la mesure de l'efficacité, si elle est faite de manière incorrecte ou inefficace, peut représenter un risque pour l'organisation. Souvent, les gestionnaires de programmes et de projets fondent leurs décisions sur ces mesures (Hornos da Costa et al., 2014). Par conséquent, des mesures trompeuses peuvent créer une évaluation erronée du programme avant son démarrage ou lorsqu'il est en cours. Cela entraîne le plus souvent de mauvaises décisions ayant un impact négatif sur les progrès d'une tâche et se répercutant sur le ou les projets en cours. En ce sens, la fiabilité du système de mesure est donc capitale pour connaître l'état réel d'un développement produit, mais également pour en connaître l'évolution (Al-Ashaab et al., 2015). En effet, afin d'en maximiser son efficacité, il faut que le système de surveillance du développement produit soit harmonisé, intégré et qu'il tienne compte de tous les facteurs influençant sa performance.

L'objectif de la gestion de projet quantitative (QPM : Quantitative Project Management) est de représenter exhaustivement et quantitativement le projet pour favoriser l'atteinte de ses

objectifs en termes de qualité du produit et de performance du processus. La performance des processus se traduit donc par la quantification de leurs résultats réels produits. Elle est caractérisée par deux types de mesures, une relative aux processus eux-mêmes (par exemple, le temps d'exécution) et une relative à ce qu'ils créent (par exemple, la fiabilité du travail effectué ou le nombre de défauts). Une étude de littérature (Pakdil & Leonard, 2014) dresse une liste des paramètres permettant d'évaluer la performance d'un processus de développement. Le « *Lean Assessment Tools* » (LAT) qu'ils développent se structure autour de huit dimensions (Pakdil & Leonard, 2014). Ces dimensions sont présentées dans le Tableau 1.2.

Pour chacune, il propose une liste de marqueurs propres. Il arrive donc à un total de 51 marqueurs de mesure de performance (Pakdil & Leonard, 2014). Une autre liste de 50 métriques classées par degré d'utilisation dans l'industrie, apparition dans la littérature et catégorie d'application est développée par (Hornos da Costa et al., 2014). Ces résultats révèlent que 38% des marqueurs sont considérés comme très utiles, 54% modérément, et 8% légèrement. Les plus utiles sont présentés dans le Tableau 1.2.

Ces derniers résultent d'une enquête faite dans l'industrie sous forme de groupe de discussion et basée sur un échantillon réduit de 25 réponses représentant l'industrie de l'aérospatiale et de la défense. Il en ressort que les gestionnaires de projets rendent compte de l'utilité des mesures qui sont fondées sur des appréciations personnelles au lieu de celles purement quantitatives. Cela est appuyé par les dimensions de l'étude évoquées précédemment. En effet, la présence de dimensions telles que les ressources humaines où les consommateurs montrent bien que leurs intérêts pour les paramètres financiers sont en train de changer vers des mesures plus axées sur la valeur créée.

Une autre étude réalisée auprès de 12 entreprises aéronautiques Canadienne et 4 Danoises identifie six marqueurs principaux de performance utilisés dans les développements produits (Kazerouni, Achiche, Hisarciklilar, & Thomson, 2011). Ces derniers sont également présents dans le Tableau 1.2.

Le Tableau 1.2 synthétise les marqueurs de performance relevés dans la littérature en les classant au travers des dimensions du LAT (Pakdil & Leonard, 2014). Le nombre d'occurrences par auteur et total met en lumière trois dimensions majeures dans l'évaluation de la performance d'un DP : l'efficacité temporelle, le coût et le consommateur. L'importance de ces trois dimensions se retrouve vérifiée pour l'étude réalisée sur le secteur aéronautique (Kazerouni et al., 2011).

Tableau 1.2 Marqueurs de performance relevés au travers des 8 dimensions du LAT

Dimensions (Pakdil & Leonard, 2014)	Auteurs	Marqueurs	Occurrences par auteur	Occurenc es totales
Efficacité temporelle	Costa et al., (2004)	Le pourcentage de livraison à temps du projet	2	4
		La différence entre le temps réel par rapport au temps prévu pour l'achèvement du projet		
	Kazerouni, Achiche, Hisarciklilar & Thomson, (2011)	Lancement à temps	2	
		La progression du projet de développement par rapport à celle planifiée		
Qualité	Kazerouni, Achiche, Hisarciklilar & Thomson, (2011)	Satisfaire les critères de qualité exigés	1	1
Processus	Costa et al., 2004	Le nombre et nature des goulots d'étranglement	1	1
Coût	Costa et al., 2004	Le coût total du projet	1	3
	Kazerouni, Achiche, Hisarciklilar & Thomson, (2011)	Satisfaire les coûts de développement	2	
		Respecter le prix de vente final estimé		
Ressources humaines	Costa et al., (2004)	Satisfaction des employés	1	1
Chaîne d'approvisionne ment	Costa et al., (2004)	Le nombre et nature des goulots d'étranglement	1	1
Consommateur	Costa et al., (2004)	La satisfaction client	2	3
		La précision d'interprétation des exigences du client		
	Kazerouni, Achiche, Hisarciklilar & Thomson, (2011)	Fournir les besoins des clients	1	

1.1.4 Spécificités de l'industrie aéronautique

Une compréhension des caractéristiques du processus du développement de produits aéronautiques ou de produits d'une complexité similaire est nécessaire pour développer de telles solutions intégrant mieux le risque et sa gestion. Comme très peu d'études se sont concentrées sur le secteur aéronautique et de par la confidentialité des données y étant associées, la documentation récente disponible sur ces processus et leur utilisation est limitée.

La conception et le développement des aéronefs et de leurs composantes sont des activités complexes et hautement réglementées. Ces dernières doivent passer par un processus de certification rigoureux et détaillé (Transports Canada, 2017). C'est cette précieuse certification qui donne leurs véritables valeurs commerciales. De ce fait, les entreprises de fabrication d'aéronefs ne sont pas les organisations les plus efficaces et ont tendance à s'appuyer sur un certain nombre de filets de sécurité et d'activités sans valeur ajoutée pour atteindre leurs objectifs de qualité (Dostaler, 2010). On distingue les industries manufacturières de faible volume des industries à fort volume par une production annuelle inférieure à 500 unités, par une planification de la production ajustée à la commande et par des produits d'une grande variété et d'une grande complexité technique (Jina, Bhattacharya, & Walton, 1997; Rahman Abdul Rahim & Shariff Nabi Baksh, 2003). La quantité de technologie utilisée dans le produit, le nombre de pièces, de composants et la nouveauté du produit est alors considérée en tant que critères principaux de complexité des produits (Lakemond, Johansson, Magnusson, & Safsten, 2007).

On peut donc synthétiser une liste des caractéristiques auxquelles répond l'industrie aéronautique :

- faible volume,
- complexe,
- cycle de DP long,
- intégratif,
- nombreux sous-traitant,

- certifications requérant des standards qualitatifs exigeants.

1.1.5 Conclusion

Malgré les nombreuses recherches et méthodes, le développement de nouveaux produits souffre toujours d'une mauvaise performance en termes de dépassement de coût et de cédule. Au vu des dépassements engendrés lors du programme de développement du « CSeries », cela est particulièrement vrai dans le secteur aéronautique (Austen, 2015; Oworm, 2015). Il existe donc, sur de nombreux aspects, des lacunes pour lesquelles il est important de proposer de nouvelles méthodes et outils supportant l'amélioration de ce processus créateur de valeur.

1.2 La gestion du risque dans les programmes de développement produit

Le risque est présent dans presque tous les aspects de la vie. Les êtres humains essaient, de manière volontaire ou non, de le réduire sans jamais pouvoir l'éliminer. Le cadre industriel et sa nécessité à générer des profits à la hauteur des investissements engagés ont poussé le développement de nombreuses méthodes d'analyse. Le but de cette partie est d'exposer et de comparer les systèmes et méthodes d'évaluation des risques existants afin d'en extraire les plus à même d'avoir un impact positif sur les marqueurs de performance précédemment évoqués. L'exécution de ces méthodes au sein du DP en aéronautique sera également décrite au travers de la littérature.

1.2.1 Le risque : définition

Afin de poser les bases d'une discussion autour du risque et de sa gestion, ces termes et concepts doivent être définis. Le terme risque n'a pas de définition unique convenue. En effet, sa définition varie selon son domaine d'application : entreprise, social, économie, sécurité, investissement, militaire, politique, etc. Une définition acceptée du risque au sein de la gestion de projet est de considérer ce dernier comme un événement ou une condition qui a un impact positif (opportunité) ou négatif (menace) sur les objectifs du projet (Project Management Institute, 2009a). Toutefois, pour la plupart des gestionnaires en activité, le management du

risque vise à identifier et à gérer les menaces. De ce fait, considérant le développement produit, nous suivons la norme ISO 31000 (International Standard, 2009a) qui définit le risque comme « l'effet de l'incertitude sur la réalisation des objectifs de ce dernier ». On entend par effet, l'écart par rapport à ce qui est attendu (positif ou négatif). Les objectifs peuvent prendre différents aspects (financiers, calendaire, technique, commerciaux, environnementaux, etc.) et peuvent s'appliquer à différents niveaux (stratégique, organisationnel, produit, processus, etc.). Dans ce contexte, l'incertitude ne doit pas être confondue avec le risque et se trouve être l'état, même partiel, de la déficience d'information liée à la compréhension ou la connaissance de la conséquence ou de la probabilité d'un événement (Aven, 2011b). Certains ouvrages tel que le PMBOK (Project Management Institute, 2009a) ne font pas cette distinction. La probabilité est quant à elle définie comme une mesure de la possibilité d'occurrence d'un événement exprimée par un nombre compris entre 0 et 1 (Aven, 2011b). L'incertitude peut seulement être réduite, mais jamais être totalement éliminée, et cela, quelle que soit la façon dont la gestion du risque est effectuée (Kaplan & Garrick, 1981). La Figure 1.1 résume et illustre cette différence et le rôle joué par le processus de GR.

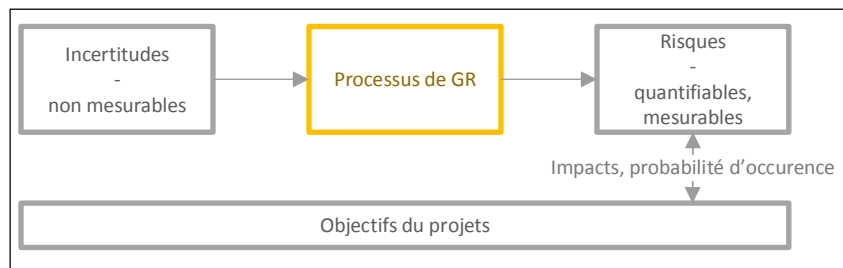


Figure 1.1 Liens et différences entre le risque et l'incertitude

La littérature traitant des risques montre que cette notion est utilisée à la fois comme une valeur attendue, comme distribution de probabilité, comme une incertitude ou alors comme un événement (Aven & Renn, 2010). Les définitions du risque peuvent être divisées en deux catégories : le risque exprimé par les probabilités des résultats (favorable ou non) attendues et le risque exprimé au travers des événements par rapport aux conséquences et aux probabilités (Aven, 2011b). De cette façon, deux approches complémentaires sont exprimées (Aven, 2011a). La compréhension du risque en planification produit se rapproche des définitions où ce dernier est un aspect qui caractérise ou qualifie les événements et leurs conséquences, et ce

au travers de la définition et de la quantification des pertes ou des opportunités de tous les scénarios possibles. La définition selon laquelle le risque est égal au triplet (S_i, P_i, C_i) , où S_i est le $i^{\text{ème}}$ scénario, P_i la probabilité de ce scénario, et C_i la conséquence du scénario $i = 1, 2, \dots, N$, (Kaplan & Garrick, 1981) ouvre à une modélisation de l'effet positif ou négatif du risque sur les objectifs (International Standard, 2009a). En effet, le risque peut être considéré comme un scénario, prévu ou non, ayant une probabilité de se produire et engendrant des conséquences définissables.

Le terme opportunité est souvent, utilisé en conjonction avec le risque. À juste titre, tout risque peut-être perçu comme opportunité si traité de manière appropriée. Une opportunité est la probabilité de réaliser un gain résultant d'une allocation (ou réaffectation) de ressources. En ce sens, les opportunités et les risques sont les deux faces d'une même médaille dont le résultat dépend de sa gestion. Il est donc impératif pour les gestionnaires non seulement de prendre en compte les risques et leur potentiel de perte, mais aussi le gain associé à un risque atténué ou ne se manifestant pas.

1.2.2 La gestion du risque : principes, normes et processus

De manière analogue au risque, sa gestion est perçue de manière variée dépendamment du secteur d'activité (Kloss-Grote & Moss, 2008). Avant de se pencher sur l'évolution récente des principes et des stratégies fondamentales de gestion des risques, il est utile d'en examiner les deux piliers bien établis : les principales stratégies disponibles et la structure de son processus.

Trois stratégies majeures sont couramment utilisées pour gérer les risques : informative, préventive et discursive (Aven, 2016; Renn, 2008). La stratégie dite préventive est également appelée stratégie de robustesse et de résilience. La stratégie dite informative se réfère au traitement du risque (évitement, réduction, transfert ou rétention), en utilisant des méthodes d'évaluation absolue ou relative (Aven, 2016; International Standard, 2009a). La préventive met quant à elle en exergue des caractéristiques telles que le confinement, le développement de substituts, les facteurs de sécurité, la redondance dans la conception par la diversification

des moyens d'approche pour arriver à des fins identiques ou similaires, ou encore le renforcement du système de gestion des urgences et d'adaptation des systèmes face à elles. Un aspect important de cette stratégie est la capacité de détecter efficacement les signaux précurseurs d'événements graves. La stratégie discursive quant à elle, s'oppose par définition à tout raisonnement intuitif et utilise donc des mesures pour renforcer la confiance et la fiabilité des analyses effectuées (Power, 2007). Pour cela elle cherche à réduire les incertitudes et les ambiguïtés en clarifiant les faits, en impliquant les personnes affectées, en délibérant et en rendant des comptes (Aven, 2016; Renn, 2008). Au vu de la description de ces trois stratégies, on remarque que la stratégie appropriée se trouve être une composition ces dernières (Aven, 2016; Aven et al., 2015; Renn, 2008).

La structure du processus de gestion du risque peut être vue au travers de la norme ISO 31000 (International Standard, 2009a). Reprise dans de nombreux ouvrages (Aven, 2015; Zio, 2007), elle offre un cadre générique pour la gestion des risques. Son objectif est d'être indépendant de tout contexte applicatif spécifique. La gestion des risques y est donc généralement définie comme « l'ensemble des activités exécutées et coordonnées pour diriger et contrôler les risques d'une organisation ». Cette norme liste onze principes (*Voir* Figure 1.2) auxquels la stratégie de gestion des risques mise en place doit répondre (International Standard, 2009a) :

1. Créer de la valeur et la préserver,
2. Doit être intégré aux processus de l'organisation,
3. Doit être intégré aux processus de prise de décision,
4. Traiter explicitement de l'incertitude,
5. Être systématique, structuré et utilisé en temps utile,
6. S'appuyer sur la meilleure information disponible,
7. Être adapté à l'organisation et au projet,
8. Intégrer les facteurs humains et culturels de l'organisation,
9. Être transparent et participatif,
10. Être dynamique, itératif et réactif au changement,
11. Faciliter l'amélioration continue de l'organisation.

Elle décompose également son processus selon les étapes suivantes (*Voir Figure 1.2*) :

1. Établir le contexte : définir l'objet des activités de gestion des risques et préciser les buts et les critères d'évaluation de ces dites activités;
2. Identifier les situations et les événements (dangers / menaces / opportunités) qui peuvent affecter l'activité considérée et les objectifs définis. De nombreuses méthodes ont été élaborées pour cette tâche;
3. Effectuer des analyses de causes et de conséquences de ces événements en utilisant des techniques. Par exemple : l'analyse des arbres de défaillance, l'analyse des arbres d'événements et les réseaux bayésiens;
4. Estimer le risque en jugeant de la probabilité des événements et de leurs conséquences et établir une description ou une caractérisation des risques;
5. Traiter les risques.

Par leurs natures interdépendantes, les étapes 2, 3 et 4, se retrouvent être au cœur du processus et sont regroupées dans un bloc décrit sous le terme « évaluation du risque ». Les outils disponibles pour leurs réalisations sont listés et leurs champs d'applications comparés dans le document ISO 31010 (International Standard, 2009a).

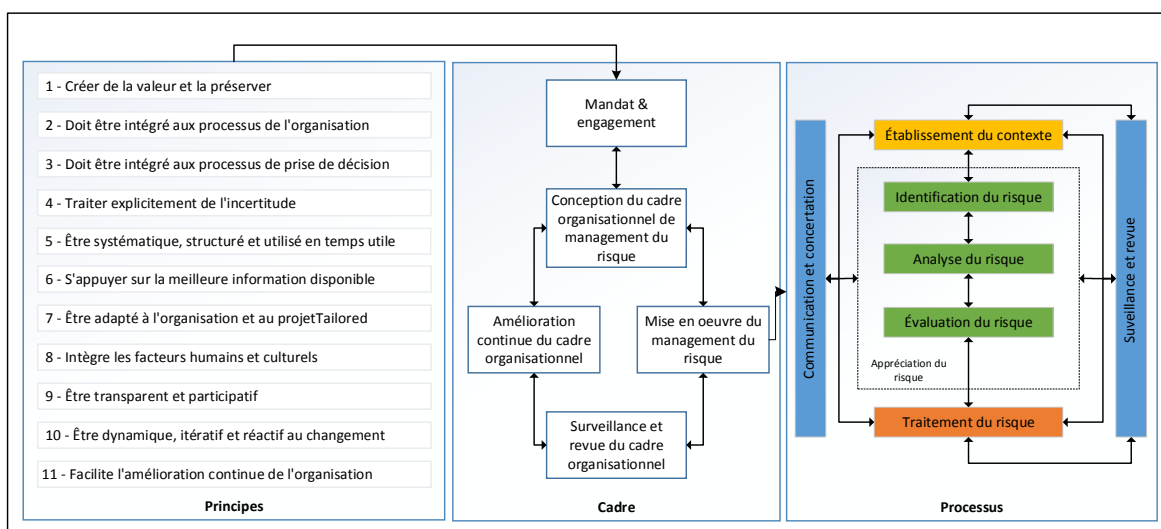


Figure 1.2 Relations entre les principes, le cadre et le processus de gestion des risques (tirée de ISO, 2009a)

Ces cinq étapes se trouvent toutes être dépendantes de deux blocs : la communication d'un bord, la surveillance et la revue de l'autre.

La communication et le retour d'informations des différents services internes concernés de l'entreprise sont en un sens au centre de ce processus. En effet, le but étant de synthétiser en tout temps les risques internes ou externes pour qu'ils puissent être gérés de manière efficace. C'est cette synthèse de l'information, émanant de ces différents acteurs, qui favorise la collecte des indicateurs clés de performance (ICP ou *KPI* : « *Key Performance Indicator* » en anglais) de l'entreprise. La surveillance et la revue des risques permettent quant à elles une bonne gestion de l'information. Une documentation ainsi qu'une évaluation de l'ensemble du programme de gestions des risques sont nécessaires afin d'en assurer son efficacité. L'efficacité décrit la mesure dans laquelle le temps, l'effort ou le coût est bien utilisé pour réaliser la tâche ou le but visé (Lee, Rho, & Yoon, 2015).

La revue de ce processus permet entre autres son amélioration continue et assure son adaptabilité aux nouveaux risques pouvant survenir. Pour supporter ces étapes, la norme ISO 31000 s'adjoit d'un complément, la norme ISO 31010 intitulée « *Risk assessment techniques* » fournissant un panel d'outils et de techniques visant à supporter le processus de GR (International Standard, 2009b).

La nécessité pour les gestionnaires de projets d'implanter une stratégie de gestion du risque efficace est résumée par le département américain de la défense : « *The goal is to both mitigate risks and create opportunities for technology development outcomes that could have a positive impact on meeting performance objectives as well as thresholds.* » (Deputy Assistant Secretary of Defense, 2015). Lors de la phase de conception et de définition, l'évaluation des risques peut être utilisée pour décider de procéder ou non à l'investissement. De la même manière, lorsque plusieurs options sont disponibles, elle permet d'évaluer les concepts alternatifs et aide ainsi à décider lequel offre le meilleur équilibre. La gestion des risques doit donc être utilisée pour aider à l'élaboration de procédures pour les conditions normales et d'urgence de chaque étape du cycle de développement. Le tout devant aider à apporter un jugement éclairé permettant la

maximisation de l'efficacité d'allocation de ressources limitées. En conclusion, de nombreuses activités, projets ou produits d'ingénierie peuvent être considérés comme ayant un développement cyclique (Dezfuli et al., 2011) et itératif (Browning & Eppinger, 2002). La gestion des risques peut être appliquée à tous les stades de ce cycle, elle est généralement utilisée à plusieurs reprises et avec différents niveaux de détails pour aider dans les décisions qui doivent être prises à chaque phase. Elle dépend également du type de risque et de l'industrie dans laquelle elle est pratiquée. Selon Hubbard (2009), la question clé de la gestion des risques est de savoir si les méthodes appliquées fonctionnent (Hubbard, 2009). Certaines industries appliquent des analyses quantitatives rigoureuses, d'autres s'appuient sur des évaluations qualitatives des probabilités. Cependant, de nombreuses méthodes utilisées aujourd'hui ont des défauts qui sont connus des chercheurs qui les étudient. Par conséquent, dans le cadre de la gestion des risques, il faut évaluer soigneusement les méthodes les plus applicables et les plus adaptées à l'environnement du développement produit considéré.

1.2.3 Communication et gestion de l'information du risque

L'importance clé de la communication dans le processus de GR peut être mise en relation avec les dernières évolutions du processus hybride Agile-Stage-Gate®. En effet, après la mise en œuvre de ce nouveau modèle de DP, le projet pris comme exemple par Cooper et Sommer (2016) a connu une accélération remarquable et, en peu de temps, a fait beaucoup mieux que les projets précédemment entrepris dans l'entreprise manufacturière servant de cas d'étude. Le changement le plus spectaculaire pour l'équipe interrogée dans l'étude fut l'augmentation immédiate de la productivité. Les membres de l'équipe ont indiqué que l'augmentation de cette dernière était principalement attribuable à une meilleure communication de l'équipe et à une diminution des malentendus. En effet, en améliorant leur flux d'informations ils ont amélioré le flux de travail global de l'entreprise. Cela en partie grâce à la connaissance de leurs problèmes actuels ainsi que de celle des autres. De plus, ils savaient qu'ils étaient en capacité de faire facilement remonter (dans la hiérarchie) leurs préoccupations, et donc les risques potentiels du projet. Enfin, Agile-Stage-Gate® a permis à l'équipe de rester en excellente communication, en dépit du nombre d'acteurs, des déplacements professionnels fréquents, des

activités et autres tâches imprévues. Cette amélioration de la communication et du partage des connaissances est illustrée par les diagrammes de la Figure 1.3. Ce dernier montre comment le fait de disposer d'un gestionnaire de projet unique limite la quantité de communication entre les membres du projet et, a contrario, comment la création d'un réseau de communication permet d'accroître le partage des connaissances et l'apprentissage en équipe. La méthode agile prône que lorsque les responsabilités sont divisées de façon appropriée le projet a de meilleures chances de succès que les autres projets traditionnellement organisés (Varma, 2015).

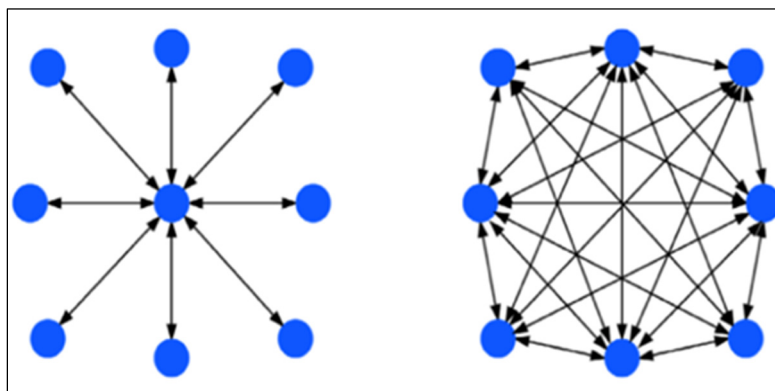


Figure 1.3 Flux de communication au sein des processus traditionnels à gauche, Agile-Stage-Gate® à droite (tirée de Cooper et Sommer, 2016)

Dans cette perspective, l'identification de divers facteurs de risque, leur évaluation, leur hiérarchisation et leur mitigation sont accélérées au regard du niveau de communication et de transfert d'information entre les acteurs du DP dans l'organisation. Pour adresser de manière exhaustive un risque, ce dernier a besoin d'être évalué par des acteurs ayant des compétences variées. Au fur et à mesure que le projet progresse, les risques sont généralement réduits au fur et à mesure que des activités sont entreprises et que l'information devient disponible (Ulrich & Eppinger, 2004).

1.2.4 L'évaluation de la performance du processus de gestion du risque

L'initiative de gestion des risques doit être proportionnée au niveau de risque de l'organisation. Les impacts ou les avantages associés à ses résultats doivent être durablement mesurables. Cela est évoqué dans le standard ISO 31000 qui, dans son article 4.5, met l'accent sur la nécessité, pour le processus de gestion du risque, d'être efficace, continue et de soutenir la performance organisationnelle (International Standard, 2009a). Ce standard met donc en avant les trois recommandations suivantes :

1. Mesurer l'efficacité de la gestion des risques grâce à des marqueurs, qui sont revus périodiquement pour s'assurer de leur pertinence;
2. Mesurer périodiquement les progrès réalisés et les écarts par rapport au plan de gestion des risques précédemment établi;
3. Examiner l'efficacité du cadre de gestion des risques.

En d'autres termes, il faut que les organisations adoptent une approche de gestion de l'efficacité à la gestion des risques. L'annexe A.3.1 de cette même norme appuie cette recommandation. En effet, pour supporter l'amélioration continue des processus qu'elle prône, elle évoque la nécessité d'établir une méthode permettant leurs évaluations. Cette dernière doit être établie en amont, dans la phase de définition du contexte (International Standard, 2009b). Pour ce faire, le moyen privilégié est de mesurer l'efficacité en utilisant des marqueurs qui concernent les processus découlant du processus de GR. En voici une liste (International Standard, 2009a):

1. Proportion des tâches de traitement pour des risques s'étant déclenchés et qui ont été complétés ce mois;
2. Proportion des actions du plan de gestion des risques pour l'année effectivement terminée;
3. Le nombre de personnes formées à la gestion des risques ce trimestre par rapport à la cible;
4. Le nombre de contrats qui ont fait l'objet d'une évaluation des risques ce mois-ci par rapport à la cible;

5. Nombre d'analyses de causes profondes menées dans un projet au cours du trimestre effectué dans le but de tirer des leçons des réussites et des échecs.

Malgré ces recommandations de meilleures pratiques, la GR semble peu efficace en DP (Kutsch, Browning, & Hall, 2014). Son intérêt au regard des ressources qu'elle nécessite est, de ce fait, remis en question (Raz, Shenhar, & Dvir, 2002). Pour pallier à ce désintérêt, il est donc crucial d'apporter à ce processus une approche orientée vers sa performance. Dans leur article, Kloss-Grote et Moss (2008), établissent un tableau recensant les méthodes d'évaluation du processus de gestion du risque. Ils les catégorisent par auteurs, contexte d'application, objectifs de leurs créations, métriques qu'elles génèrent, leurs résultats et enfin leurs limitations. Un tableau similaire regroupant les métriques relevées dans la littérature est présenté dans cette étude (*Voir* ANNEXE I, Tableau-A I-1 p. 123). Malheureusement, l'application de ces méthodes semble limitée au cadre de la recherche (Kloss-Grote & Moss, 2008).

1.2.5 Critères d'efficacité et causes d'échecs du processus de gestion du risque

Une liste des caractéristiques générales de l'apport d'un processus d'évaluation des risques efficace se dégage (PricewaterhouseCoopers, 2015) :

1. La mise en place d'un langage commun, définissant l'inventaire initial des risques d'entreprise, les définitions des risques et les principaux concepts de gestion des risques. Cela facilite la discussion autour de la notion de risque dans l'organisation;
2. Une méthodologie d'évaluation des risques standardisée et des critères à appliquer de façon cohérente dans l'ensemble de l'organisation pour les principaux risques auxquels l'organisation est confrontée;
3. Des plans d'action et de mitigation complets et opportuns, assortis de responsabilités bien définies;
4. Une centralisation de l'information sur les risques afin d'appuyer l'affectation des ressources du programme et s'intégrant aux mesures d'efficacité existantes du DP;

5. Une meilleure compréhension des principaux risques découverts grâce à leur analyse approfondie;
6. Une meilleure compréhension et articulation des incertitudes commerciales et des stratégies visant à réduire les « surprises organisationnelles » et à les aligner aux objectifs et aux buts stratégiques.

A contrario, une liste des principales causes d'échec est énoncée (PricewaterhouseCoopers, 2015) :

1. Manque d'alignement entre la stratégie de GR et de DP et les activités commerciales;
2. Planification et communication inadéquate;
3. Accent mis sur les risques actuels ou passés plutôt que sur ceux à venir;
4. Structure des registres de risques génériques plutôt qu'adaptée aux risques de l'entreprise;
5. Incompatibilité entre la méthode de l'évaluation et la complexité des risques;
6. Manque de perspective et de durée définies sur les étapes du programme : conduit à une évaluation de cédule et de coûts incohérente;
7. Critères et méthodes de priorisation des risques inefficaces ou inexistants;
8. Création d'une liste de risques non maîtrisables par sa taille;
9. Plans de mitigation des risques incomplets, absents ou mal intégrés;
10. Temps excessif, entre l'identification initiale, la priorisation et l'élaboration du plan d'action : se traduit par une liste de risques « périmés »;
11. Manque d'intégration dans les décisions exécutives stratégiques;
12. Considérer l'application d'un plan de gestion du risque comme la fin du processus de gestion des risques.

Les recherches poursuivies par cette étude visent à adresser les causes 4, 8 et 10 de cette liste d'échecs en favorisant les caractéristiques de succès 1, 4 et 5.

1.2.6 Conclusion

La gestion du risque et ces processus sont bien connus et intrinsèquement liés au DP. Malgré son existence historique, la GR et ses méthodes ne semblent pas évoluer au sein des entreprises à la même vitesse que les processus et outils de DP. Pour être efficace et ainsi être un processus favorisant la création de valeurs au sein des entreprises, la GR a besoin d'accorder le développement de ses outils avec ses critères connus d'échec et de succès. Ainsi, une approche collaborative et plus intégrée au DP de son processus pourrait faciliter la rencontre avec ces principes et critères de succès tel qu'ils sont largement décrits aujourd'hui dans la littérature.

1.3 L'intégration continue

Comme décrit dans la première section de cette revue de littérature, le DP traditionnel est séquentiel et majoritairement basé sur un modèle de phases entrecoupées de portes. À chacune de ces portes, les entreprises évaluent si un projet est prêt à passer à la prochaine étape du processus de développement. Il en est de même pour le processus de gestion du risque pour lequel les revues d'identification ou d'évaluation des risques s'effectuent de manière discrète durant le cycle de développement de produit. Comme dans un problème de limite mathématique, que se passe-t-il si le temps entre chaque porte, ou chaque revue de risque commence à diminuer ? Que se passe-t-il si cet intervalle se rétrécit au point où l'exécution de ce processus ne devient plus discrète, mais continue ? C'est cette transformation d'un processus qui définit le concept de l'intégration continue (C. Gammell, 2017).

1.3.1 Définition, principes et objectifs

Le terme intégration continue a émergé de techniques de développement agiles en proposant une palette d'outils (GitHub, Jenkins, etc.) et de processus pour l'ingénierie des systèmes logiciels. Au cours des dernières années, une nouvelle collection de techniques basées sur ce précepte a eu un impact significatif dans l'ingénierie logicielle. L'objectif principal étant d'améliorer la qualité globale des systèmes développés (Duvall, Matyas, & Glover, 2007). Les

termes intégration continue aussi appelé « *continuous intégration* » ou « *CI* », peut se résumer comme une pratique de développement collaborative où les membres d'une équipe intègrent régulièrement leur travail, généralement chaque personne intègre au moins quotidiennement des ajouts ou modifications multiples (Fowler & Foemmel, 2006). Les cycles de rétroaction rapide sont donc l'une des idées fondamentales du développement de projets agiles et épurés (Roanoke & Williamson, 2017).

Les organisations recherchent des moyens de soutenir des améliorations progressives et continues de leurs processus (Charron-Latour, Bassetto, & Pourmonet, 2017). Dans cette optique, des outils applicatifs naissent. Dans leur article, Restrepo et al. (2016) développent, par exemple, un système de gestion de la suggestion assistée par ordinateur adressé aux employés. Cet outil appelé STARS (« *Store Tag Analyze Resolve Sustain* ») vise à rendre les problèmes rencontrés lors d'un projet visible et de soutenir les employés dans leurs efforts pour réduire les déchets et accroître leur satisfaction (Restrepo, Charron-Latour, Pourmonet, & Bassetto, 2016). Au travers de leurs implantations et de l'observation de leurs impacts à plusieurs niveaux d'un processus donné, ces outils montrent les avantages des retours rapides centralisés des parties prenantes d'un développement à itérations raccourcies.

1.3.2 Applications dans le développement de produits physiques

Largement utilisé depuis les années 2000 dans le développement de produits logiciels, l'intégration continue des processus dans le cadre de produit matériel est plus récente. Il se retrouve dans les recherches évoquant la gestion du cycle de vie des produits, « *product lifecycle management* » (PLM) en anglais, et les outils y étant associés. Avec les approches dites « agiles » appliquées avec plus ou moins de succès aux processus de développement, à la conception et à la vérification de nouveaux produits manufacturiers, la question d'appliquer l'intégration continue à un processus de développement de produit matériel est donc soulevée (J. Gammell, 2017).

Dans la pratique, les entreprises maintiennent des réseaux de nombreux modèles et processus d'affaires interdépendants qui doivent être synthétisés dans l'esprit de leurs utilisateurs lorsqu'ils examinent des problèmes qui les concernent (Eckert et al., 2017). Dans un article récent, Eckert et al. (2017) évoque le potentiel lié à l'intégration des informations issues des modèles de processus de DP, pour aider à gérer ces interrelations complexes. Il en résulte un cadre et une terminologie commune mettant l'accent sur les principaux problèmes liés à l'intégration des processus entre eux. Les possibilités de poursuivre les travaux visant à promouvoir la modélisation intégrée dans la recherche et la pratique des DP sont également discutées.

1.3.3 Utilisations dans la gestion des connaissances

La gestion des connaissances peut se définir comme les méthodes et outils permettant d'identifier, d'organiser, de capitaliser et de diffuser les connaissances (processus, données, croyances, routines comportementales, procédures, points de vue, etc.) appartenant à une organisation (Li, Tarafdar, & Subba Rao, 2012). Elle est nécessaire dans toutes les entreprises. Cela est d'autant plus vrai dans l'industrie aéronautique où la complexité inhérente au produit et les cycles de DP long renforcent la nécessité, pour l'organisation, de posséder un système et des processus de gestion de la connaissance performants. La pérennité de cette dernière ainsi que la performance du DP qu'elle porte en dépendent souvent. Ainsi étendre les sources d'informations ouvrirait à de nouvelles possibilités de leurs synthèses et ainsi de résultats pouvant directement servir à la prise de décision (Capilla, Jansen, Tang, Avgeriou, & Babar, 2016; Hopkin, 2017; Musil et al., 2017). La problématique du traitement continu d'une quantité d'informations en constante expansion n'est cependant pas, à notre connaissance, abordée dans la littérature.

Dans cette optique, il existe des cadres de gestion de l'intégration des connaissances internes et externes d'une organisation. Une liste de 25 de ces derniers, chacun associé à leur description, est présentée dans un article intitulé « *A system thinking framework for knowledge management* » (Rubenstein-Montano et al., 2001). Ces approches de gestion structurelle de

l'information se décomposent en 4 étapes clés : l'acquisition, la synthèse, la diffusion et le retour d'information. Ces 4 étapes peuvent être supportées par des outils intégrés et disponibles au travers d'une plateforme de gestion commune à l'organisation (Musil et al., 2017). De manière analogue à la définition donnée de la gestion des connaissances collaboratives dans le contexte de la chaîne d'approvisionnement (Li et al., 2012) nous pouvons la définir dans le contexte de la GR. Les pratiques de gestion des connaissances collaboratives, dans le contexte de la gestion du risque, sont les activités collectives dans lesquels les parties prenantes du DP s'engagent, pour la création, le transfert et l'application des connaissances relatives au processus de GR.

1.3.4 Utilisations dans la gestion des risques

Le concept d'intégration continue de la gestion du risque est pour la première fois évoqué de manière détaillée par Dorofee et al. (1999) dans un guide intitulé « *Continuous Risk Management* ». Dans ce manuel détaillé et publié par le « *Department of Defense* » (DOD), la gestion continue des risques est définie comme une pratique d'ingénierie incluant les processus, les méthodes et les outils de gestion de risques dans un projet (Dorofee, Walker, Alberts, Higuera, & Murphy, 1996). Ce guide fournit un environnement permettant une prise de décision proactive pour :

- évaluer en permanence ce qui pourrait aller mal (risques),
- déterminer les risques importants à prendre en compte,
- mettre en œuvre des stratégies pour faire face à ces risques.

La notion d'exécution continue du processus de GR se caractérise par l'idée qu'il doit être exécuté de manière quotidienne, hebdomadaire, mensuelle et trimestrielle et non seulement durant une période donnée de la gestion de projet (Dorofee et al., 1996). Le processus continu nécessite donc de maintenir une vigilance constante pour identifier et gérer les risques de manière routinière pendant toutes les phases du cycle de vie du projet (Deputy Assistant Secretary of Defense, 2015; Dorofee et al., 1996). Lors de l'utilisation de la gestion continue des risques, ces derniers sont évalués en continu et utilisés pour la prise de décision dans toutes

les phases d'un projet. Les risques sont reportés (par le biais d'une fiche papier) et traités avant qu'ils ne surviennent, se transforment en problèmes et qu'ils soient traités comme tels (Dorofee et al., 1996). La gestion continue des risques, lorsqu'elle est réalisée avec succès, offre un certain nombre d'avantages : résoudre les problèmes avant qu'ils ne se produisent en favorisant une identification proactive, améliorer la qualité du produit et permettre une meilleure exploitation des ressources et favoriser le travail d'équipe (Dorofee et al., 1996; Helm, 2004). La Figure 1.4 illustre ce processus continu de gestion du risque tel que défini par le DOD; on remarque qu'il reprend, en les organisant circulairement autour de la communication et de la rétroaction, les étapes principales établies par ISO 31000 (2009).

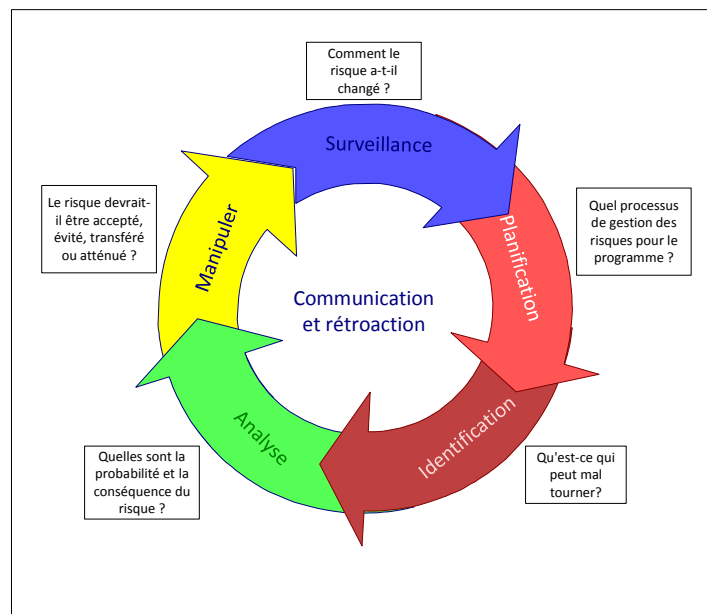


Figure 1.4 Processus de gestion continue des risques (adaptée de DOD, 2015)

L'intégration de la GR au sein des autres processus de gestion de l'organisation est évoquée dans les principales normes existantes (International Standard, 2009a; Project Management Institute, 2009b) couvrant ce sujet. Il est souvent évoqué dans ces normes ou dans les ouvrages y faisant référence que la gestion du risque, pour être efficace et optimale, doit être réalisée de manière continue tout au long du cycle de développement produit (Bissonette, 2016). À notre connaissance, cela vaut pour le secteur de l'aéronautique (Halford, 2016) ainsi que pour tous

les secteurs industriels d'ingénierie. Ces bonnes pratiques maintes fois décrites ne sont cependant pas adjointes des outils permettant leurs applications. En ce sens, de récentes recherches évoquent la nécessité d'un outil facile d'utilisation permettant aux acteurs du projet de contribuer activement et efficacement à la gestion du risque (Cacciabue, Cassani, Licata, Oddone, & Ottomaniello, 2014; Olson & Wu, 2017). Cela est d'autant plus vrai dans les équipes virtuelles qui n'ont pas forcément la possibilité de collaborer en face à face (Pirkkalainen & Pawlowski, 2014). Certaines récentes plateformes de GR tentent tout de même de regrouper toutes les fonctions nécessaires pour assurer le déroulement du processus en continu. En voici quelques-unes :

- Genius Project Product® : Project Risk and Change Management;
- MetricStream M7® : Enterprise Risk Management;
- LogicGate®.

Cependant, ces dernières ne proposent pas d'outil l'exploitation des données comme outils d'amélioration du processus de GR. Cela supporte donc le second objectif de cette recherche.

1.3.5 Conclusion

Les articles très récents traitant de l'intégration continue des processus au sein même des modèles de DP renforcent la légitimité de cette étude. En effet, le processus de GR est un élément constituant de la gestion du cycle de DP. L'étude de son intégration continue suit donc une trajectoire de recherche similaire aux derniers travaux relatant les évolutions des processus de gestion de produit complexes en vue d'améliorer leur efficacité et leur performance. Même si évoqué par le passé dans certains ouvrages, la gestion continue des risques au sein du DP a besoin d'outils pour être réalisé efficacement. Cela appuie donc la conception d'un artéfact favorisant l'homogénéité, la pérennité et l'exploitation des données récoltées ainsi que la collaboration et la communication de l'information autour des risques du DP.

1.4 La collecte et l'analyse des données au service des processus de gestion

Les technologies de l'information créent de nombreuses possibilités d'amélioration qui étaient impensables dans le passé. Par exemple, les évolutions des méthodes dites de « *business*

intelligence (BI) » et des techniques d'extraction de données ont apporté d'énormes améliorations aux opérations commerciales. De nos jours, dans l'ère du « *big data* », une quantité massive de données est générée et disponible pour toutes sortes d'applications industrielles (McAfee & Brynjolfsson, 2012). Les processus de développement de produits en font partie avec des données automatiquement stockées depuis l'introduction des technologies de l'information dans les organisations. L'exploitation de ces données collectées possède donc un potentiel important d'amélioration des processus de gestion des risques et de la prise de décision au sein du DP (Tsumoto & Hirano, 2010).

1.4.1 Des données à leur valeur ajoutée

Dans leur article « *Recent Development in Big Data Analytics for Business Operations and Risk Management* », Choi et al. (2017) dressent un tableau des évolutions et des cadres récents impliquant l'exploitation massive de données au service de l'intelligence des processus internes des entreprises. Ils concluent leur étude par un tableau listant les domaines de recherches futures à même de combler les lacunes observées (Choi, Chan, & Yue, 2017). On peut en extraire deux qui rejoignent et appuient le contexte de notre étude :

1. Construire un cadre de gestion des risques opérationnels spécifiquement ajustés à l'ère du « *big data* » dans le but d'optimiser les résultats globaux du processus;
2. Lier les recherches effectuées sur les différents processus de gestion inhérents aux activités du DP pour qu'ils puissent s'intégrer dans un système de données global. Cela permettrait l'application de modèles d'apprentissages basés sur des données historiques et ainsi d'établir de nouveaux indicateurs supportant la prise de décision.

Au cours des dernières décennies, la construction de systèmes de connaissances est passée d'une discipline académique à un processus de développement industriel. Les processus et les outils traditionnels font place aux principes de développement agiles (Baumeister, Seipel, & Puppe, 2009). Avec l'impact industriel de ces méthodes, de nouvelles exigences sont posées aux techniques d'ingénierie de gestion relatives aux processus de développement et de maintenance des bases de connaissances. Comme l'illustre la pyramide (*Voir Figure 1.5*), les

données, même si elles ne représentent dans leur état brut peu de valeur, posent les bases des autres couches constituant leur traitement (Jifa & Lingling, 2014). De leurs qualités vient la valeur ajoutée potentielle qui pourrait être extraite pour améliorer les développements produits et leurs processus. Une base de données doit servir de source pour les différents outils de gestion et métriques de performances utilisés pour la conduite du développement (Choi et al., 2017; Port, Nikora, Hihn, & Huang, 2011).

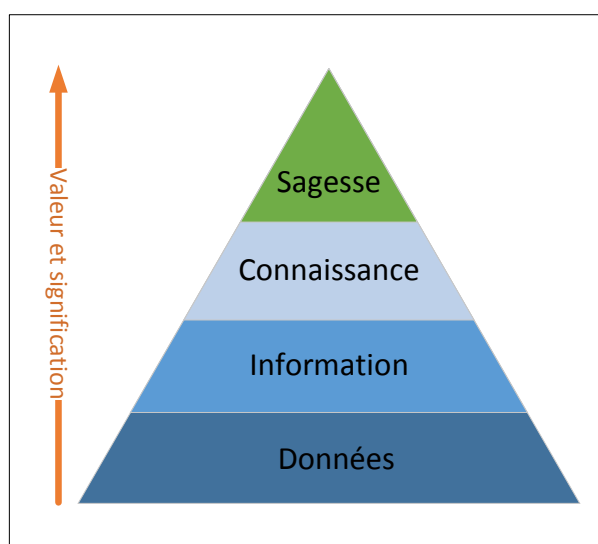


Figure 1.5 Pyramide de la transformation des données (tirée de Asar, 2017)

Le manque de données complètes et de connaissances pouvant être utilisé est un obstacle majeur pour fournir un meilleur soutien sur la prise de décision, la coordination et l'optimisation de la gestion du cycle de vie des produits (Y. Zhang, Ren, Liu, & Si, 2017).

1.4.2 Les difficultés inhérentes aux données de gestions de risque

L'exploitation efficace de ces données fait néanmoins face à des problèmes majeurs. L'application d'un processus de gestion du risque standard ISO31000 dans une entreprise génère beaucoup de données qui surpassent la capacité humaine des ingénieurs à leur donner un sens (Beauregard, 2015). De plus, les sources de données prennent très souvent différentes

formes et formats. Dans son expérience d'exploration de texte des données de projet du laboratoire de propulsion de la NASA, Port et al. (2011) évoquent des risques documentés dans des fichiers PowerPoint, des fichiers PDF, des bases de données non relationnelles ou encore des feuilles Excel. Ils ne pouvaient donc pas simplement faire pointer la source des outils d'exploration de texte vers un répertoire de fichiers ou une base de données unique et ainsi obtenir des résultats rapidement. Un autre écueil lié aux données existantes est le manque de rigueur dans les informations remplies lors de ces processus. Port et al. (2011) évoquent par exemple des champs de titre utilisé comme champ descriptif ou encore un nombre conséquent de doublons. La capacité des méthodes d'exploration de texte étant peu efficace à ignorer les informations sans importances (Port et al., 2011), la qualité, la rigueur et la standardisation des données traitées sont des facteurs clé de leurs succès. Cependant, cette rigueur semble, encore aujourd'hui, manquer aux grandes entreprises industrielles (Tran, 2017). L'extraction des données voulues reste une tâche difficilement réalisable manuellement (Choi et al., 2017). Historiquement, le processus d'évaluation des risques est effectué sur la base d'experts impliqués dans le processus (Port et al., 2011). Les experts ont des préjugés tirés de leur expérience personnelle qui peuvent leur faire oublier ou sous-estimer les risques particuliers d'échec du projet (Port et al., 2011). Il en résulte une cohérence des données entre les projets très limitée. Particulièrement en ce qui concerne les risques identifiés, la façon dont ils sont décrits ou encore la façon dont ils sont adressés (Port et al., 2011). Cela induit donc des descriptions de risques ou de décision prise non structurées et exprimées en langage naturel qui peut être redondant, ambigu et incohérent (Pirkkalainen & Pawlowski, 2014). Cette non-uniformité temporelle rend la réutilisation des données des projets passées complexe. Des caractéristiques, inhérentes au secteur aéronautique, tel que la longueur des cycles de DP et la rotation de personnel en son sein, accentuent cette complexité (Tran, 2017).

1.4.3 Traitement et exploitation des données de risque

Une fois les données de risques collectées au travers de l'organisation, des outils informatiques de traitement doivent être implémentés pour assurer leur valorisation. D'énormes progrès ont été réalisés durant les dernières décennies dans le traitement informatique de grandes quantités

de données. L'intelligence artificielle se définit comme le domaine d'étude visant à faire effectuer des tâches par des systèmes informatiques, pour lesquelles, l'ordinateur est aujourd'hui meilleur et plus efficace (Bench-Capon, 2014; Rich, 1983). Dans ce cadre, le « *data mining* » ou exploration de données est un processus de découverte automatique ou semi-automatique de modèles utilisables présents dans une large quantité de données (Witten, Frank, Hall, & Pal, 2016). L'idée générale derrière la plupart des travaux d'apprentissage machine est qu'un système informatique apprend à effectuer une tâche en étudiant un ensemble d'exemples. Ce système effectue alors la même tâche avec des données dont il n'a pas eu connaissance auparavant (Louridas & Ebert, 2016). On différencie l'apprentissage supervisé et non supervisé. Dans l'apprentissage supervisé, l'ensemble des données d'entraînement sont associées à leurs sorties respectives attendues en sortie de la tâche à réaliser (Louridas & Ebert, 2016). A contrario, dans l'apprentissage non supervisé, les sorties liées aux données d'entraînement ne sont pas connues; l'ordinateur doit trouver les solutions par lui-même (Louridas & Ebert, 2016). Comme illustré par la Figure 1.6, les méthodes d'apprentissage machine, au travers de ces deux types d'apprentissages, peuvent être scindées en plusieurs catégories.

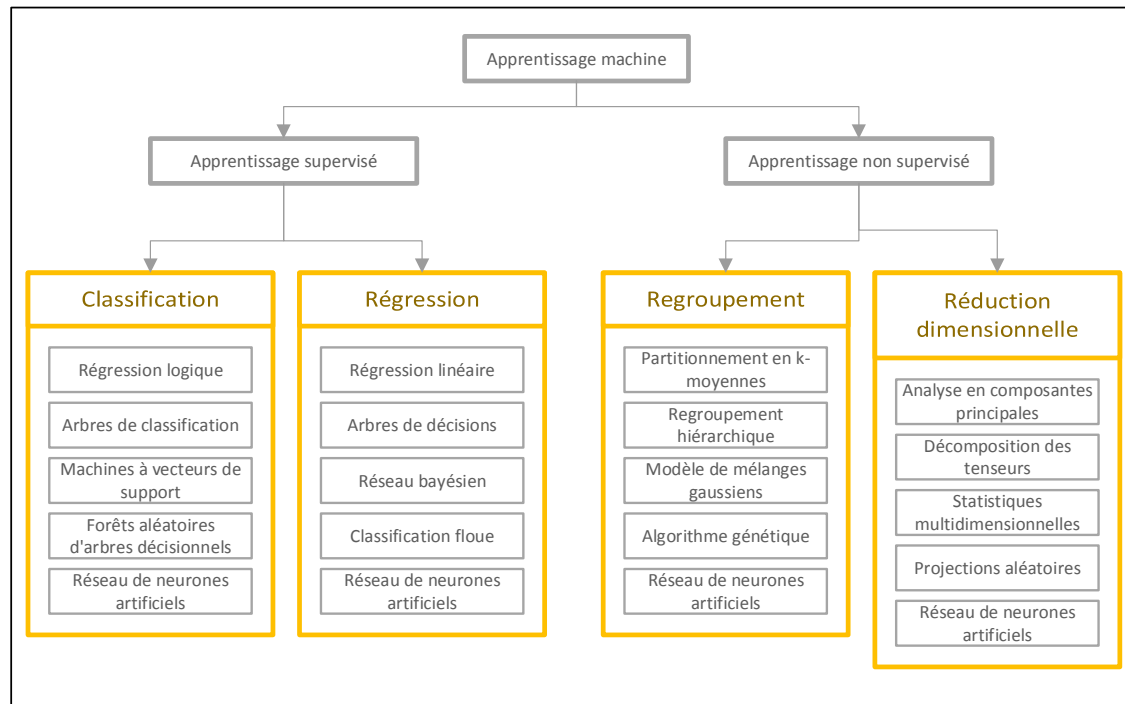


Figure 1.6 Approches d'apprentissage en machine (tirée de Louridas & Ebert, 2016)

Ces approches d'optimisation ont été largement appliquées par l'industrie dans de nombreux domaines tels que la prévision ou l'évaluation de performances (Wu, Chen, & Olson, 2014). Il existe un grand nombre de modèles de classification, nous allons décrire le fonctionnement des trois modèles utilisés dans la suite de cette étude.

1.4.4 Description de l'information relative à la GR

Au vu des éléments présents dans la littérature réalisée, voici les attributs d'un risque (Cretu, Stewart, & Berends, 2011; Deputy Assistant Secretary of Defense, 2015; Project Management Institute, 2009b):

1. **ID** : identifie un risque de manière unique;
2. **Nom / Titre** : un nom ou un titre pour faciliter l'adressage du risque;
3. **Description** : une description détaillée du risque, qui devrait aider à poursuivre le traitement du risque;
4. **Phase du projet** : partie du projet impacté par le risque;

5. **Source** : paquet(s) de travail impliqué(s) dans le risque;
6. **Dépendances** : paquet(s) de travail potentiellement impacté(s) par le risque;
7. **Catégorie** : catégorisation du risque en fonction de sa source, du système, du moment d'impact le plus probable, de sa stratégie d'atténuation, etc.;
8. **État** : état actuel du risque (ex : « nouveau », « prioritaire », « en cours d'évaluation », « fermé », etc.);
9. **Probabilité** : une note de probabilité ou fréquence d'occurrence;
10. **Impact** : une évaluation de l'impact du risque sur le projet au cas où il réaliserait (cédule, coût, qualité, etc.);
11. **Indice composé de risque** : indice calculé sur la base d'une formulation définie à l'aide des estimations de probabilité et d'impact (ex : probabilité \times impact). Plus la valeur est élevée, plus la priorité du risque pour sa planification, son atténuation ou sa résolution est élevée;
12. **Mesures d'atténuation** : description de l'ensemble des mesures à prendre pour atténuer le risque;
13. **Actions de contingence** : description de l'ensemble des mesures à prendre si le risque se matérialise;
14. **Propriétaire** : le propriétaire actuel du risque (personne responsable de l'action de contingence, si le risque prend forme).

1.4.5 Conclusion

Pallier l'incapacité humaine et intellectuelle à traiter les énormes quantités de données générées par le processus de gestion du risque et de prise de décision au sein du DP (Beauregard, 2015) justifie le développement d'un outil logiciel supportant le processus de gestion de risques et l'acquisition de ses données. En effet, environ 50% des risques sont souvent identifiés alors qu'ils impactent déjà les performances du projet (Oehmen, Olechowskia, Kenley, & Ben-Dayad, 2014). Une réponse appropriée et plus rapide permettrait ainsi de réduire les dépassements de coûts des futurs DP. Ainsi le processus de

prise de décision bénéficierait du support, au travers de l'apprentissage machine, des données historiques des projets (Choi et al., 2017).

1.5 Conclusion et opportunités de recherche

Le développement de nouveaux produits ainsi que la gestion du risque apparaissent comme des domaines d'étude largement traités dans la littérature. Cependant, ces derniers semblent souvent éloignés l'un de l'autre, tant dans leurs objectifs que dans leurs applications. La gestion du risque devrait, comme outil et comme processus, supporter la prise de décisions et les objectifs de performance du processus de développement produit. Au vu des possibilités émergentes des nouvelles technologies de l'information présentes au sein des entreprises, le processus de gestion de risques est aujourd'hui sous exploité. Afin d'être en adéquation avec la complexité technologique grandissante des produits développés par de nombreux secteurs industriels, il est de mise d'explorer l'intégration continue du processus de gestion du risque comme support à la performance du développement produit. En effet, les bienfaits d'une gestion du risque performante sur la potentielle réussite d'un DP sont démontrés (Oehmen et al., 2014; Park, 2010; Qazi, Quigley, Dickson, & Kirytopoulos, 2016). Néanmoins, à notre connaissance, aucune ne propose de méthode ou d'outils concrets pour favoriser l'homogénéité, la pérennité et l'exploitation des données récoltées ainsi que la collaboration et la communication de l'information autour des risques du DP.

Les systèmes d'ingénierie, comme ceux développés par les industries aéronautiques, évoluent rapidement et poussent toujours l'innovation technologique ou technique à son maximum. Par conséquent, ils sont l'un des types de développement de produits les plus difficiles à conduire et dans lequel les outils et processus utilisés pour la gestion des risques atteignent souvent leurs limites de par la quantité d'informations qu'ils génèrent (Beauregard, 2015; Charron-Latour et al., 2017; Tworek, 2010). De plus, les techniques récentes d'apprentissage machine ne font pas partie des outils proposés par les standards (International Standard, 2009a; Project Management Institute, 2009b) de gestion du risque. Il est donc important d'identifier les besoins pouvant pallier aux limites de ces organisations en termes de gestion du risque au sein

du DP. Comme indiqué précédemment, le développement de produits logiciels, en tant qu'industrie plus récente, s'est débarrassé des anciennes pratiques linéaires et discrètes de type « *stage-gate* ». Les projets sont alors animés autour des principes et processus agiles et de leur intégration continue. Depuis près d'une décennie, ces méthodologies basées sur les données générées par les processus et continuellement intégrées ont démontré leur efficacité. Au cours du processus de développement du produit, la gestion des risques devrait, en ce sens, être utilisée comme outil pour piloter la cédule, le coût et la qualité. Son intégration continue dans le processus de développement par étape, pourrait aider, grâce aux données recueillies, à créer des informations pertinentes qui soutiendront la prise de décision actuelle et future.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

L'objectif de ce chapitre est de définir et justifier la stratégie de recherche utilisée dans cette étude. Les méthodes et leurs objectifs ainsi que les livrables proposés par l'étude y sont donc décrits. La stratégie et l'articulation des livrables de l'étude autour de celle-ci sont décrites dans la première section de ce chapitre. Les cinq suivantes sont dédiées aux méthodologies relatives à l'application de chacune des étapes de la stratégie des sciences de la conception.

2.1 Stratégie et articulation des livrables de la recherche

2.1.1 La science de la conception, principes et processus

La science de la conception, ou « *design science* », offre un cadre de recherche visant à créer des artefacts et de nouvelles connaissances afin résoudre des problèmes spécifiquement identifiés (Dresch et al., 2015; Gregor & Hevner, 2013). Cette approche est devenue importante dans l'étude des systèmes d'information (Gregor & Hevner, 2013; Thakurta, Müller, Ahlemann, & Hoffmann, 2017; vom Brocke et al., 2017).

Comme illustré à la Figure 2.1, cette méthodologie consiste un cheminement itératif au travers de 5 étapes clés (Hevner & Chatterjee, 2010):

1. La prise de conscience du problème : son identification et sa caractérisation justifient qu'un ou plusieurs artefacts nouveaux doivent être développés pour y répondre;
2. La suggestion de solutions possibles. Des mesures et des méthodes d'évaluation appropriées concernant l'utilité, la qualité et l'efficacité des artefacts constituant les solutions doivent être définies afin d'en établir une hiérarchie;
3. Le développement de la solution. Plusieurs itérations peuvent être nécessaires pour que l'artefact réponde aux exigences initiales;
4. L'évaluation. L'artefact doit être évalué en utilisant les mesures et les méthodes d'évaluation définies précédemment;

5. Conclusion. Les résultats doivent être communiqués aux praticiens et aux chercheurs. Ils doivent apporter une contribution claire à la recherche et non seulement se limiter à l'utilité pour les praticiens du domaine étudié.

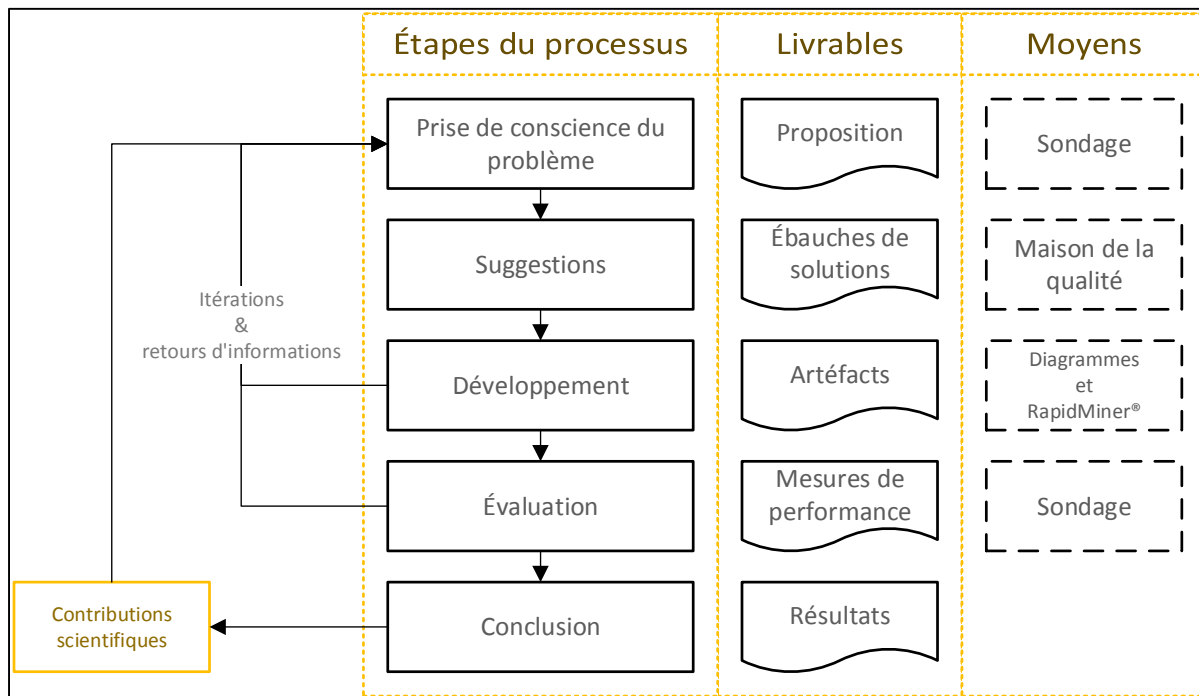


Figure 2.1 Processus d'une étude scientifique menée dans le cadre de la science de la conception (tirée de Vaishnavi et Kuechler, 2015)

La méthodologie de la science de la conception permet d'adresser par la recherche des problèmes concrets de l'industrie. Ce choix de méthodologie correspond donc aux objectifs fixés par cette étude.

2.1.2 L'étude face à cette stratégie de recherche

Le Tableau 2.1 associe les différents moyens et livrables de l'étude relatifs aux étapes de la science de la conception décrites précédemment.

Tableau 2.1 Livrables et moyens face aux étapes et sous étapes mises en œuvre pour la réalisation des objectifs de l'étude

Étapes	Sous-étapes	Moyens	Livrables
(1)	Identification de la problématique	Revue de la littérature	Problématique de recherche, cahier des charges fonctionnel
	Identification des besoins des praticiens au sein des entreprises du secteur aéronautique	Questionnaire et discussions	
(2)	Suggestion de solutions	Remue ménage et discussions	Description et évaluation des solutions répondants aux requis établis
	Méthodes d'évaluation	Synthèse des attentes et besoins des répondants	Spécifications établies par le diagramme de la maison de la qualité
(3)	Conception d'une méthode d'intégrations continue du processus de gestion du risque	Diagramme SIPOC, de flux et d'interaction des rôles	Description de processus d'affaires de l'intégration continue de la gestion du risque comme support au développement produit Diagramme des flux de données
	Apprentissage machine exploitant les données de GR	Logiciel RapidMiner®	Exemples de classifications supervisées de descriptions de risque Impact de la quantité de données exploité sur la performance de la classification
(4)	Évaluation qualitative de la méthode et de son outil	Questionnaire et discussions	Évaluation de la solution, recommandation sur l'implantation, les travaux et les évolutions futures des artefacts proposés
N/A	Contributions externes à la recherche	Articles scientifiques	Articles présentés lors de deux conférences : 1. MOSIM 2016 (<i>Voir</i> ANNEXE XII, p. 165), 2. ASEM 2017 (<i>Voir</i> ANNEXE XIII, p. 175).

2.2 Identification de la problématique et des besoins

2.2.1 Sondage : méthodologie et objectifs

Les enquêtes ou sondages constituent un moyen pratique de recueillir des informations sur un sujet. Cependant, certaines règles importantes doivent être observées afin que les résultats obtenus soient valides et utiles. La nécessité d'une enquête est justifiée, entre autres, lorsque les données nécessaires à une analyse spécifique ne peuvent être obtenues par aucune autre source. Un sondage bien construit se compose de trois parties essentielles : échantillonnage, conception des questions et collecte des données. Le nombre de réponses récolté ici (20) ne nous permet pas d'effectuer une analyse quantitative des réponses obtenues (William & Montgomery, 1990). Ainsi, une analyse qualitative des résultats est préférée face à une estimation statistique des caractéristiques d'une population cible de taille inconnue.

L'arrêt de l'échantillonnage répond à un critère de saturation empirique s'appuyant sur deux vagues distinctes de diffusions. « La saturation empirique désigne le phénomène par lequel le chercheur juge que les derniers documents, entrevues ou observations n'apportent plus d'informations suffisamment nouvelles ou différentes pour justifier une augmentation du matériel empirique. » (Pires, 1997). Ici, le sondage sera stoppé lorsque le taux d'évolution de l'apparition cumulé du nombre de nouveaux besoins sera inférieur à 20% sur un minimum de 5 répondants successifs.

Le sondage a ici pour vocation de donner une vision globale des besoins et des attentes des acteurs de la gestion de risques en développement produit dans le secteur aéronautique. L'objectif est donc de récolter des informations pertinentes auprès des premiers intéressés par l'évolution des processus et méthodes de la gestion des risques. Voici les deux objectifs cibles des données récoltées :

1. Connaître l'état de l'art du processus de gestion des risques, de son utilisation dans l'industrie et du contrôle de ses performances;
2. Établir les attentes et les besoins de l'industrie en termes d'amélioration de ces processus.

La synthèse de ces attentes et besoins poseront les bases justificatives et établiront les requis de la méthode développée par la suite. Afin que ce dernier reflète réellement les besoins de notre cible, la pertinence des canaux de diffusion se doit d'avoir une orientation plus qualitative que quantitative. En voici la liste :

1. Groupe d'intérêts au développement produit et à la gestion du risque sur LinkedIn,
2. Membres du « Consortium pour la recherche et à l'innovation aérospatiale au Canada » (CARIC) et du « Consortium pour la recherche et l'innovation dans l'aérospatiale au Québec » (CRIAQ), représentant plus de 80% des investissements effectués dans le secteur aéronautique au Canada,

L'utilisation des réseaux sociaux professionnels comme canal de diffusion pour cette recherche permet d'avoir un panel de répondant plus large tout en conservant une forme de ciblage (grâce au groupe d'intérêt et à la possibilité de connaître le cursus professionnel des personnes ciblées). Cependant ce canal offre moins de contrôle, en termes de démographie des répondants, comparativement à celui des membres du CRIAQ/CARIC.

Afin de maximiser la chance d'obtenir des réponses, le questionnaire proposé (*Voir ANNEXE II, p. 125*) est court : 16 questions pour un temps de réponse d'environ 5 minutes. De plus, ce dernier a été rédigé en anglais pour trouver un accueil plus large au travers des canaux de diffusion choisis. Sa conception a suivi un processus méthodique et itératif. À la suite d'une première revue de la littérature, une ébauche des objectifs puis des questions a été effectuée. Ensuite, revues par le directeur de ce travail de recherche, les questions ont été affinées et spécifiées pour que les futures données collectées répondent aux objectifs. Après deux itérations, le questionnaire a été transmis pour validation à trois professionnels et chercheurs actifs dans le domaine de la gestion de projets aéronautique ainsi qu'à la direction du CRIAQ et CARIQ. Après intégration de leurs retours le questionnaire, ayant atteint une maturité suffisante, a été diffusé adjoint d'un message de présentation (*Voir ANNEXE III, p. 131*).

Pour être pertinents et fournir des caractéristiques grâce à des estimations statistiques de la population cible, les répondants au sondage doivent représenter plus de quatre-vingts pour cent des dépenses de recherche et développement aérospatiales au Canada. Cette exigence a été

satisfaite en présentant (lors d'une de leur assemblée mensuelle) et en diffusant le sondage au CARIC et aux membres CRIAQ. Avec un total de soixante-dix membres industriels (*Voir* ANNEXE IV, Tableau-A IV-1, p. 133), ces deux consortiums regroupent toutes les entreprises aéronautiques ou aérospatiales importantes au Canada.

Certaines questions ayant pour but d'évaluer la satisfaction du répondant, une échelle comportant cinq niveaux a été mise en place : « 1 - *Very dissatisfied* / 2 - *Dissatisfied* / 3 - *OK* / 4 - *Satisfied* / 5 - *Very satisfied* » (Likert, 1974). En clôture de ce sondage, les participants peuvent demander de recevoir les résultats.

2.2.2 Description du questionnaire

Les spécifications méthodologiques ainsi que les objectifs fixés lors de la conception de ce questionnaire sont décrits dans la partie 2.2.1 de cette étude.

Le questionnaire rédigé pour ce sondage (*Voir* ANNEXE II, p. 125) est construit et peut être décrit autour de six grands axes :

1. Caractérisation démographique des répondants,
2. Processus et satisfaction globale du processus de gestion du risque,
3. Difficultés rencontrées dans l'application des processus de gestion du risque,
4. Cause et manques engendrant ces difficultés,
5. Besoins pour y faire face et améliorer le processus de gestion du risque,
6. Place et mesure de la performance du processus de gestion du risque au sein du développement produit.

Ces 6 axes serviront de guide à l'exposition des résultats recueillis.

2.2.3 Validation des résultats collectés par une entrevue

Le sondage effectué permettra donc de dresser une liste de besoins et de solutions souhaitées par les praticiens de la gestion du risque ayant répondu. Afin d'asseoir la représentativité et la

pertinence de cette liste, une entrevue semi-directive est réalisée. Un guide d’entrevue est conçu (*Voir* ANNEXE VI, p. 151). Celle-ci permettra de confirmer les résultats recueillis.

2.2.4 La maison de la qualité

La maison de la qualité est un diagramme faisant partie du déploiement de la fonction qualité, « *Quality Function Deployment* » en anglais. Elle est utilisée pour intégrer les besoins du client lors d’un développement et ainsi atteindre les objectifs organisationnels souhaités (Chowdhury & Quaddus, 2016). La structure de base de la maison de la qualité est présentée et expliquée à la Figure 2.2. Dans cette approche, la première phase consiste à identifier les besoins du client nécessaires à la conception durable d’une solution (Chen & Chou, 2011).

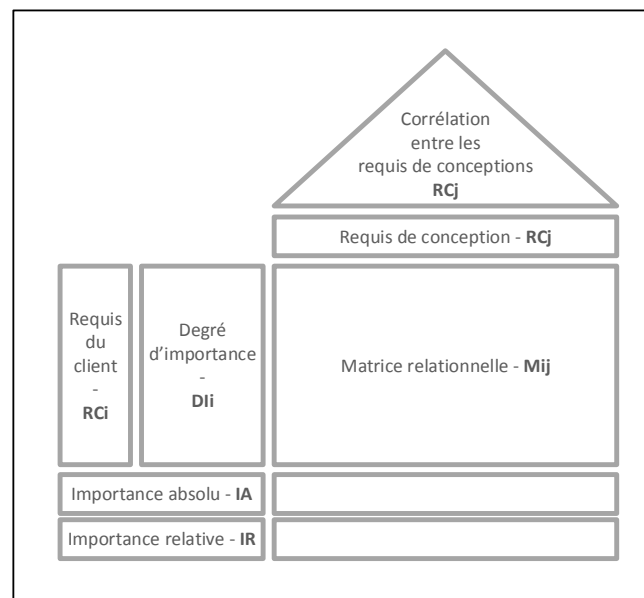


Figure 2.2 Cadre de la Maison de la Qualité
(adaptée de Chowdhury & Quaddus, 2016)

Le diagramme de Pareto résultant du remplissage de la maison de la qualité associé à la règle des 80-20 (Koch, 2011) nous permet d’extraire les requis de conception les plus pertinents et auxquelles la solution développée devra répondre.

2.3 Suggestion de solutions

La suggestion de solution résulte d'un remue-méninges effectué tout le long de cette étude. À celui-ci se sont associés des échanges avec des chercheurs actifs dans le domaine de la gestion du risque, une étude des solutions existantes sur le marché des outils de gestion du risque ainsi qu'une constante recherche au travers de la littérature.

Les solutions proposées et leurs fonctionnements sont décrits et évalués au travers des spécifications de conception extraites de la maison de la qualité. Ce processus permet de choisir la solution qui passera ensuite à la phase itérative de conception détaillée.

2.4 Développement de la solution

Pour répondre au second objectif fixé par cette étude nous allons ici exposer les méthodes choisies pour développer la solution proposée par cette étude. Cette solution s'articule autour de deux axes :

1. La conception d'un processus d'intégration continue de la GR au sein du DP,
2. L'utilisation de l'apprentissage machine au sein de ce processus pour exploiter les données de GR. La classification des descriptions de risques a pour vocation de démontrer le potentiel de l'apprentissage machine pour, par exemple, assigner de manière automatique les évaluateurs d'un nouveau risque (*Voir* Figure 2.6). Le regroupement de ses mêmes descriptions de risque, vise quant à lui, à fournir une mesure de performance du processus d'identification de la gestion du risque (*Voir* Figure 2.7).

2.4.1 Conception d'un processus d'intégration continue de la GR dans le DP

2.4.1.1 Place et objectifs de la GR dans le DP

Dans la Figure 2.3, le processus de DP est exécuté de manière périodique au long du DP (par exemple une fois à chaque étape). Il existe donc un delta de temps important entre deux mises

à jour successives du registre de risque utilisé pour l'évaluation de performance faite à chaque porte et déterminant le statut et le futur du projet de développement. Cet intervalle de temps peut être l'une des causes principales de la mauvaise exécution et du manque de coordination entre les pratiques de GR et celles du DP. De ce fait, la GR est en retard et passive au regard des difficultés pouvant être rencontrées tout au long du développement. Par exemple, si un risque est mis en évidence au début d'une étape, il faudra parfois attendre de long mois avant que celui-ci ne soit complètement adressé et intégré aux projections globales de performance du DP.

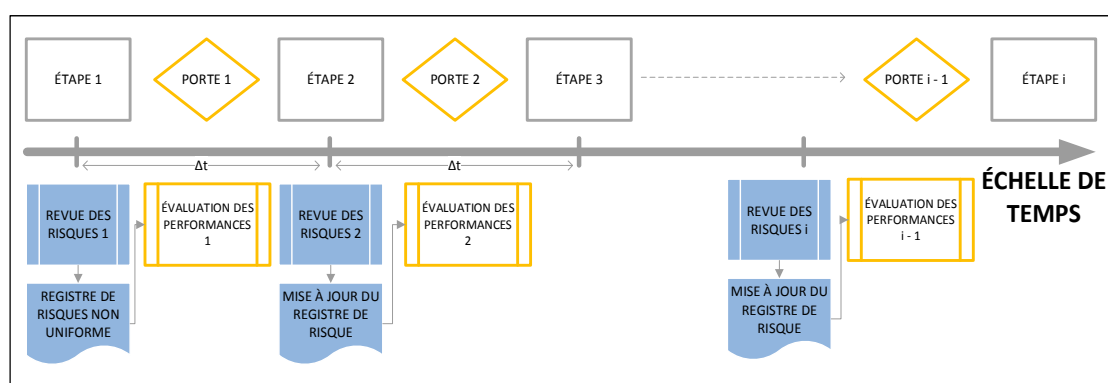


Figure 2.3 Occurrence discontinue du processus de GR au long du DP

C'est au vu de ce constat et des manques mis en avant par la revue de littérature que la nécessité d'un processus d'intégration continue de la GR voit le jour. Plusieurs méthodes ont été utilisées pour décrire et cartographier à haut niveau les différentes activités de ce processus d'affaires.

2.4.1.2 Modélisation de processus d'affaires

Processus d'affaires

Un processus d'affaires se définit comme de multiples activités possédant une ou plusieurs entrées et qui, en sortie, crée de la valeur pour l'organisation ou le client qui l'exécute (Hammer & Champy, 2009). Différentes méthodes permettant de modéliser ces processus d'affaires ont été développées. Ci-dessous sont détaillées celles utilisées pour la cartographie du processus

d'intégration continue de la gestion du risque présent dans cette étude. En effet, le choix de la méthode dépendant du processus à documenter.

Méthode SIPOC

SIPOC est l'acronyme anglais de « *Supplier, Input, Process, Output, Customer* ». Il permet de cartographier à haut niveau les différentes activités d'un processus allant du fournisseur au client. Les fournisseurs fournissent des biens ou des services. Les intrants sont des ressources telles que des personnes, des matières premières ou encore de l'information qui est nécessaire par un système pour obtenir la ou les sorties souhaitées. Le processus convertit les entrées en sorties. Enfin, ces dernières atteignent les clients qui eux sont intéressés par la valeur ajoutée qu'elles représentent (Mishra & Kumar Sharma, 2014).

Diagrammes de flux

Le diagramme de flux est défini comme une représentation graphique formalisée d'un algorithme, d'un flux de travail ou encore d'un processus. Il prend la forme d'un diagramme composé de boîtes de différents types (*Voir* Figure 2.4) reliées par des flèches indiquant le sens de lecture (Aguilar-Saven, 2004). Les acteurs impliqués ne peuvent cependant pas être représentés. De même, il utilise un flux séquentiel d'actions et ne supporte pas la répartition des activités (Aguilar-Saven, 2004). Dans sa variante à flux croisés il permet alors de mettre en avant les différents acteurs du processus et les étapes leur étant associées.

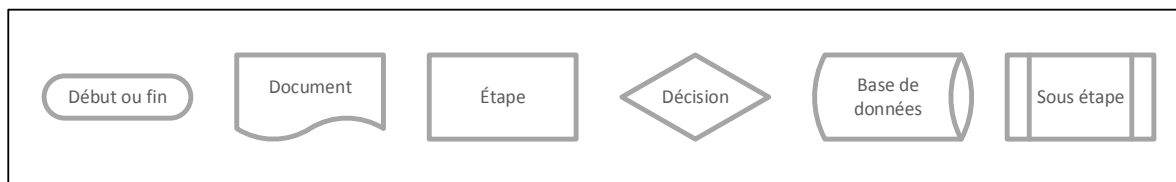


Figure 2.4 Légende des diagrammes de flux

2.4.2 Exploitation des données de GR : apprentissage machine

2.4.2.1 Place et objectifs de l'apprentissage machine appliquée à la GR dans le DP

Comme exposé dans la revue de littérature, le cycle de DP s'articule au travers d'une succession de phases séparées par des portes. Dans les conditions réelles de DP, notamment dans le secteur aéronautique, l'entreprise s'engage auprès de ses clients (« *commitment* ») sur la livraison de son produit. Cette décision est souvent prise après la phase de planification du projet. La gestion du risque effectué peut donc se scinder en deux phases (*Voir* Figure 2.5).

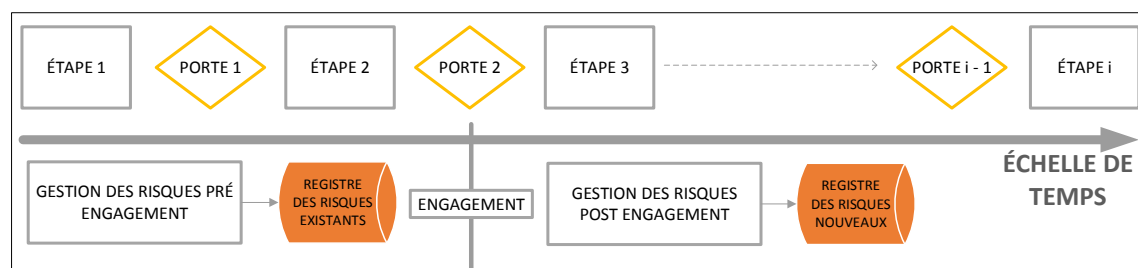


Figure 2.5 GR et engagement lors du DP de l'organisation envers ses clients

D'après Beauregard (2015), la performance d'identification des risques se traduit par la présence de surprises lors du DP. Une surprise est un événement non identifié durant la phase de planification du DP mais qui se matérialise dans les phases suivantes. Dans les bases de données de GR, les surprises sont tous les risques dont la date associée est antérieure à la phase de planification. Cependant, les risques identifiés sont souvent liés entre eux. Cela implique que les risques identifiés dans le DP après l'engagement de l'entreprise peuvent être liés à des risques initialement connus. Ces risques ne rentrent donc pas dans la définition d'une surprise. Il est donc nécessaire, pour déterminer les surprises occurrentes lors du DP, de regrouper les risques qui sont liés entre eux. De précédentes études exposent le potentiel de l'apprentissage machine et des techniques de regroupement afin d'identifier les surprises potentielles occurrentes au long du DP (Beauregard, 2015; Tran, 2017).

Les méthodes présentées ici s'attachent donc à évaluer le potentiel d'une méthode de classification supervisée et d'une méthode de regroupements. Toutes deux se basent sur les descriptions textuelles des risques et ont pour objectif d'en exploiter la richesse. Au travers de ces deux méthodes, nous utiliserons deux métriques pour mesurer la performance de la GR en DP (*Voir* respectivement Figure 2.6, Figure 2.7):

1. Apprentissage supervisé (partie 3.3.2.2): le pourcentage de mauvais classement représente le rapport entre le nombre de descriptions classées dans un mauvais regroupement de risque existant (D_s) et le nombre total de descriptions (D_n);

$$\% \text{ mauvais classements} = \frac{D_s}{D_n} \times 100 \quad (3.1)$$

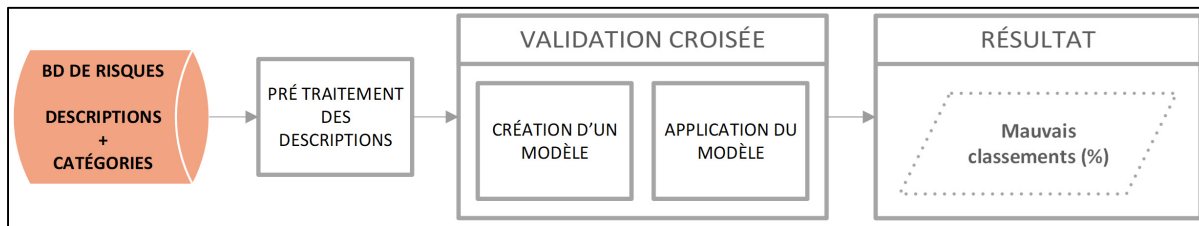


Figure 2.6 Diagramme de la classification des descriptions de risques

2. Regroupement non supervisé (partie 3.3.2.3) : le pourcentage de surprise (3.2) représente le rapport entre le nombre de regroupements contenant uniquement des nouveaux risques (K_s) et le nombre de regroupements total valide (K_n).

$$\% \text{ surprises} = \frac{K_s}{K_n} \times 100 \quad (3.2)$$

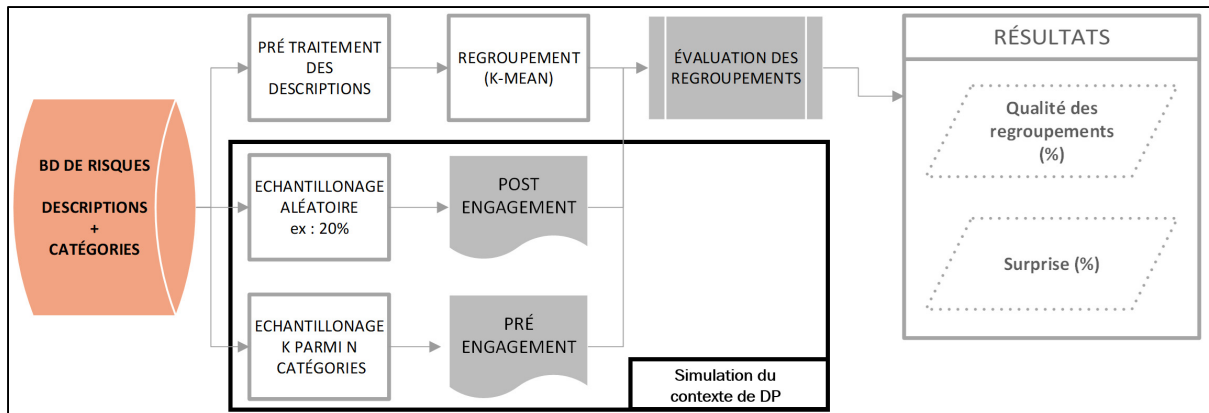


Figure 2.7 Diagramme de l'évaluation de la performance d'identification des risques par regroupements

2.4.2.2 Apprentissage machine : classification et regroupement

Outils utilisés pour l'implémentation

S'agissant d'une preuve de concept, le logiciel RapidMiner® (RapidMiner, 2017) est utilisé ici. Cependant, les mêmes méthodes pourraient être développées et implémentées dans un autre langage (par exemple en Python) et directement intégrées à une plateforme d'intégration continue de gestion du risque tel que précédemment décrit.

Prétraitement des données

L'objectif est ici de générer les vecteurs-mots correspondant à la liste de descriptions textuelles. Ces derniers serviront d'entrée au modèle de classification. Cette opération est réalisée grâce aux opérateurs successifs suivants (Voir Figure 2.4):

1. Lire les données présentes dans un fichier au format csv;
2. Sélectionner les attributs désirés dans la création du modèle (ici les descriptions et leurs catégories);
3. Attribuer un rôle à ces attributs (ici les catégories sont considérées comme étant le label des descriptions);
4. Transformer ces données en une collection (un document par ligne de la table);
5. Générer les vecteurs mots en utilisant la méthode TFIDF (*Term Frequency – Inverse Document Frequency*) ayant fait ses preuves dans des travaux similaires

(Beauregard, 2015; Tran, 2017; Verma, Renu, & Gaur, 2014). Cette dernière pondère les mots composant les descriptions en se reposant sur le nombre d'occurrences d'un terme.

Le TF-IDF est une méthode traditionnelle qui permet d'évaluer l'importance des jetons t sur l'un des documents du corpus. La fréquence des jetons $tf_{i,j}$ correspondant à la fréquence de t_i dans le document d_j s'exprime par l'équation 2.1 tirée de (Qin, Xu, & Guo, 2016). Le terme $n_{i,j}$ représente le nombre de fois que t_i apparaît dans d_j . Le dénominateur représente quant à lui le nombre total des jetons présent dans le document d_j .

$$tf_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{\sum_m n_{m,j}} \quad (2.1)$$

Dans l'équation de TF (2.1), les jetons sont considérés d'importance égale. Or, cela n'est pas le cas, des mots comme « qui », « est » vont apparaître plus, mais ont peu d'importance. IDF noté idf_j dans l'équation 2.2 représente la mesure d'importance d'un jeton t_i (Qin et al., 2016). Le terme $|D|$ représente la somme totale de documents composant le corpus. Si la quantité de documents d_j contenant t_i est petite, t_{idf} aura une plus grande valeur. Cela qui signifie alors que t_i a une bonne capacité de distinction (Qin et al., 2016).

$$idf_j = \frac{|D|}{\{j:t_i \in d_j\}} \quad (2.2)$$

Enfin, la formule de TFIDF peut être synthétisée par l'équation 2.3 (Qin et al., 2016)

$$TFIDF = tf_{i,j} \times idf_j \quad (2.3)$$

Afin d'améliorer la qualité du texte, la succession d'opérateurs suivante utilisée (Voir Figure 2.8) :

- A – divise le texte en « *tokens* ». Cet opérateur divise le texte d'un document en une séquence de jetons (Verma et al., 2014). Ici, les descriptions sont scindées par les caractères n'étant pas des lettres;
- B - supprime les mots courants qui ont peu de chances d'aider à l'extraction de texte (Verma et al., 2014). Par exemple les articles et les pronoms;
- C - filtre les jetons générés selon un critère de longueur (ici configuré à 2 caractères pour limiter la perte d'information);
- D - lemmatisation : technique de réduction des mots jusqu'à ce qu'on obtienne sa racine (Verma et al., 2014) en utilisant l'algorithme de Porter. Par exemple : « *like* », « *liking* », « *likely* », « *unlike* » ont comme racine commune « *like* »;
- E - transforme tous les caractères en minuscules.

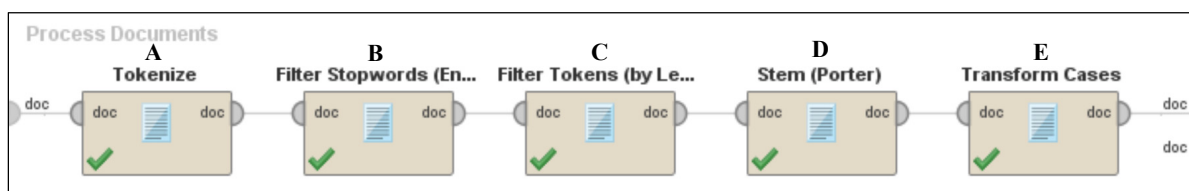


Figure 2.8 Prétraitement des documents améliorant la qualité du texte

De cette étape ressort la table de n-grammes tirés des vecteurs-mots. Un n-gramme est donc une séquence de taille n , piochée dans une séquence de taille plus grande que n . Par exemple : « ris » est un tri-gramme de « risque ». De même, « la gestion » est un bi-gramme de « la gestion du risque ». Une découpe en n-gramme permet de créer un modèle probabiliste de la séquence initiale (Voir Tableau 2.2). Les colonnes de la matrice sont donc constituées d'une sous-séquence de n mots constitués à partir d'une séquence plus grande (ici les descriptions traitées). Les lignes représentent la liste des descriptions de risques présentes dans la table de donnée utilisée en entrée du processus. La table de n-gramme donne donc un ensemble de probabilités conditionnelles sur des séquences observées de symboles (Alain & Boëffard, 2005).

Tableau 2.2 Exemple d'une table de n-grammes

Numéro de la description	N-gramme 1	N-gramme 2	N-gramme 3	N-gramme i
1	0	0.239	0	0
2	0	0	0.080	0
3	0.312	0	0	0
j	0	0.216	0	0

Trois modèles ont été choisis pour les expériences présentes dans cette étude. Il représente chacun un type de modèle différent (respectivement : probabiliste, basé sur des distances, et réseaux de neurones).

Modèle 1 : Naïve bayésienne - Naive Bayes

Cette méthode de classification ne demande pas de paramétrage et s'appliquant à la classification de textes (H. Zhang & Li, 2007). En utilisant le théorème de Bayes pour calculer des probabilités conditionnelles, sous l'hypothèse simplificatrice (naïve) d'indépendance entre toutes les paires de variables, elle permet de classer de nouvelles entités. Cette hypothèse réduit les calculs nécessaires. Ici, la probabilité qu'un mot apparaisse dans un texte est indépendante à la présence des autres mots du texte. Même si cette supposition ne reflète pas la réalité, elle n'empêche pas cet algorithme de présenter des résultats pertinents (H. Zhang & Li, 2007).

Pour l'utilisation de cette méthode appliquée à la classification de textes, on cherche alors la classe qui maximise la probabilité d'observer les attributs (mots) du document. Lors de la phase d'entraînement, le classificateur calcule (McCallum & Nigam, 1998):

- La probabilité qu'un attribut soit présent dans un document, sachant que ce document appartient à telle classe;
- Les probabilités qu'un nouveau document appartienne à une classe donnée à partir de la proportion des documents d'entraînement appartenant à cette classe.

Ensuite, pour déterminer la classe d'un nouveau document, on détermine les probabilités qu'il appartienne à chacune des classes sachant ses attributs à l'aide du théorème de Bayes et des chiffres calculés à l'étape précédente.

Modèle 2 : *k-nn* - *k-nearest neighbor*

L'algorithme des *k* plus proches voisins se résume essentiellement à former un vote majoritaire entre les *k* instances les plus similaires à une observation donnée. La similarité est définie selon le calcul d'une métrique relative à la distance séparant deux points de données.

La mesure retenue pour cette expérience est la valeur numérique de la similitude cosinus « *cosine similarity* ». Elle est préférée pour la classification d'éléments textuels (Hanane 2009; Huang, 2008). Elle nous permet de savoir à quel point deux textes sont similaires, uniquement en termes d'occurrence de jetons (en ignorant leurs ordres). Un vecteur d'occurrence est alors généré pour chaque description. Mesurer l'angle entre les vecteurs ainsi générés nous permet de connaître leur similarité. En prenant le cosinus de cet angle, nous avons une valeur qui est indicative de cette similitude. Plus l'angle est petit, plus la valeur du cosinus est élevée (plus proche de 1) et plus la similitude est grande. Cette mesure est définie, pour deux vecteurs *x* et *y* par l'équation 1.1 (Peterson, Doom, & Raymer, 2005) dans laquelle « . » représente le produit scalaire de ces deux vecteurs.

$$\cos(\vec{x}, \vec{y}) = \frac{\vec{x} \cdot \vec{y}}{\|\vec{x}\| \|\vec{y}\|} \quad (1.1)$$

Une méthodologie simple pour sélectionner le nombre de voisins *k* considérés par le classificateur est simplifiée en utilisant la racine carrée du nombre de caractéristiques présentes dans la table utilisé pour l'entraînement (Kodinariya & Makwana, 2013). Une liste détaillée des autres méthodes applicables pour déterminer *k* est présentée par Kodinariya et Makwana (2013). Une petite valeur de *k* signifie que le bruit aura une influence plus importante sur le résultat. Une valeur élevée rend le calcul coûteux.

Modèle 3 : *Apprentissage profond* (algorithme H2O 3.8.2.6) - *Deep learning*

L'algorithme d'apprentissage profond H2O est basé sur un réseau de neurones artificiel à action directe (« *feedforward* » : les connexions entre les éléments du réseau ne forment pas un cycle) multicouche.

Dans les réseaux à couches, chaque neurone est connecté à tous les neurones de la couche précédente. On soumet un problème au réseau en donnant une valeur numérique à chaque neurone de la couche d'entrée. Ces neurones d'entrée ne faisant aucun calcul avec les valeurs qu'on leur donne, on ne considère pas vraiment qu'ils forment une couche du réseau. Dans la première « véritable » couche, chaque neurone utilisera les valeurs de tous les neurones de la couche d'entrée pour calculer sa propre valeur. Une fois cette étape complétée, chaque neurone de la seconde couche utilisera les valeurs de la première couche pour calculer leurs propres valeurs. Le processus continue ainsi pour toutes les autres couches. (Desruisseaux, Petit, De Magny, & Huynh, 2006).

Le réseau peut contenir un grand nombre de couches cachées constituées de neurones avec des fonctions d'activation tel que la tangente hyperbolique (Candel, Parmar, LeDell, & Arora, 2016). Ces dernières apportent au réseau le caractère non linéaire lui permettant d'exploiter ses couches cachées. Les fonctions d'activation ont la particularité de pouvoir recevoir une valeur quelconque en entrée, mais de toujours retourner une valeur bornée en sortie (Desruisseaux et al., 2006). Il est entraîné (attribution des poids aux neurones) par rétro propagation d'une descente de gradient stochastique (Candel et al., 2016). « On y parvient en soumettant le réseau à une phase d'apprentissage, pendant laquelle on lui spécifie à la fois les valeurs d'entrée et les valeurs de sortie qu'il devrait obtenir. Les poids appropriés sont alors calculés pour l'ensemble du réseau, y compris pour les couches cachées. L'algorithme effectuant cette tâche est connu en anglais sous le nom de *back-propagation*. » (Desruisseaux et al., 2006)

Validation croisée et performance des modèles d'apprentissage supervisé

La validité d'un modèle d'apprentissage est établie par sa capacité à être généralisé, c'est-à-dire faire des prédictions exactes sur certaines propriétés d'une nouvelle donnée (Varoquaux et al., 2017). Il doit donc être testé sur des données indépendantes des données utilisées durant

la phase d'apprentissage. Techniquement, ce test est réalisé par validation croisée: les données disponibles sont divisées en deux, une première partie, l'ensemble d'entraînement utilisé pour créer le modèle, et une seconde partie, l'ensemble de tests utilisé pour tester le modèle (Varoquaux et al., 2017). Cette technique de validation semble montrer des limites ($\pm 10\%$ d'erreurs pour 100 échantillons) lorsque la taille du corpus considéré se réduit (Varoquaux, 2017).

Le nombre de plis k utilisés pour la validation croisée définit en combien de sous-ensembles le corpus de données va être séparé. La base de données est donc partitionnée en k sous-ensembles de tailles égales. Parmi ces k sous-ensembles, un seul est retenu en tant que jeu de données de test (c'est-à-dire, comme entrée du sous-processus de test). Les $k-1$ sous-ensembles restants sont utilisés comme ensemble de données d'apprentissage (c'est-à-dire, comme entrée du sous-processus de formation). Le processus de validation croisée est ensuite répété k fois, chacun des sous-ensembles k étant utilisé une fois comme données de test. Les k résultats des k itérations sont moyennés (ou combinés autrement) pour produire une estimation unique. Ce nombre k est ici fixé à 10. En effet, ce nombre est reconnu comme une valeur de départ faisant consensus au regard de la taille de notre corpus de données (MacCallum, Roznowski, & Necowitz, 1992; van der Gaag et al., 2006).

Regroupement par l'algorithme de regroupement *k-mean*

K-means est un algorithme de regroupement, qui est un sous-ensemble des apprentissages non supervisé. En conséquence, le paramètre k a une signification différente que dans la classification k -nn. Dans k -nn, le k représente le nombre de voisins qui ont « un droit de vote » pour déterminer la position d'un nouvel élément. Le k dans *k-means* représente lui, le nombre de regroupements que l'on souhaite obtenir des données. Chaque élément du corpus va alors être placé (basé, comme pour k -nn, sur une mesure de distance) dans le regroupement ayant le centre le plus proche. Les nouveaux centres des regroupements sont alors calculés. On répète théoriquement l'opération jusqu'à ce que les centres des regroupements ne bougent plus (Ahmad & Dey, 2007).

Temps d'exécution

Le temps d'exécution n'est pas considéré comme un critère dans cette étude. Le temps d'apprentissage ou de regroupement dépend du type de modèle et de la taille de la table de données traitée. Ce dernier peut être assez long (plusieurs minutes à plusieurs heures pour les exemples de cette étude). Pour l'apprentissage supervisé, il peut être réalisé en tâche de fond d'un outil et ainsi être transparent pour l'utilisateur. Au fil du temps, ce type d'apprentissage est évolutif et profite de la supervision des parties prenantes utilisant l'outil de gestion du risque.

2.5 Évaluation de l'outil développé

2.5.1 Méthode d'évaluation

Pour assurer la validité de l'outil développé et pour confirmer qu'il répond aux besoins des gestionnaires de risque de l'industrie, ce dernier est présenté à un second groupe. Les participants de ce groupe évalueront les artéfacts développés au travers d'une suite de questions concernant son utilité, son fonctionnement et la réponse à leurs besoins.

2.5.2 Validité des artéfacts de l'étude

Les solutions résultant du processus des sciences de la conception doivent répondre à une validité pragmatique (Dresch et al., 2015). Par cela, on entend qu'elles soient, au-delà de leur validité interne et externe, utiles et applicables. La validité interne représente la mesure dans laquelle les résultats de la recherche concernent et sont causés par les phénomènes liés à l'étude et non par d'autres influences non prises en compte (Winter, 2000). La validité externe représente la mesure dans laquelle des résultats peuvent être généralisés et donc appliqués à d'autres populations (Winter, 2000).

La vérification de ces besoins est effectuée au travers d'un sondage évaluant la pertinence et la compréhension externe des artéfacts conçus. Ce court sondage (5 questions) sera diffusé à un groupe différent de celui du premier sondage réalisé. Le questionnaire élaboré est conçu

pour évaluer l'impact positif ou négatif des artéfacts conçus vis-à-vis des principes auxquels doit répondre la gestion du risque.

CHAPITRE 3

RÉSULTATS

3.1 Définition du problème, identifications et validation des besoins

Au vu du contexte établi, il existe un potentiel de recherche et d'amélioration important dans le domaine de la gestion du risque et de son exécution au sein du développement produit aéronautique. Il s'agit maintenant de caractériser les spécificités du sujet de cette étude au travers d'une analyse des besoins des praticiens du secteur. Cette caractérisation de notre problématique d'étude correspond à la première étape du processus des sciences de la conception décrit ci-dessus. Le but est d'identifier de manière précise les besoins prioritaires afin d'y apporter une réponse utile, adaptée et pertinente. Ce processus d'identification est itératif et se découpe autour de deux axes. Un sondage est tout d'abord diffusé afin d'établir une image globale du niveau de satisfaction, des pratiques et des besoins. Les résultats extraits de ce sondage permettent d'apporter les précisions nécessaires à la spécification et la validation des besoins et des attentes des praticiens. Ils posent alors les bases fondatrices des solutions évoquées par la suite (partie 3.2).

3.1.1 Résultats du sondage

Diffusion

Une sollicitation directe auprès de 58 entreprises (*Voir ANNEXE IV, Tableau-A IV-1, p. 133*) a généré onze des réponses, soit un taux de réponse d'environ 19%. Le reste des réponses a été obtenu grâce à une diffusion au travers de réseaux sociaux professionnels, il est donc difficile d'y associer un taux de réponse. L'intégralité des résultats bruts de ce sondage est présentée en annexe (*Voir ANNEXE V, p. 135*).

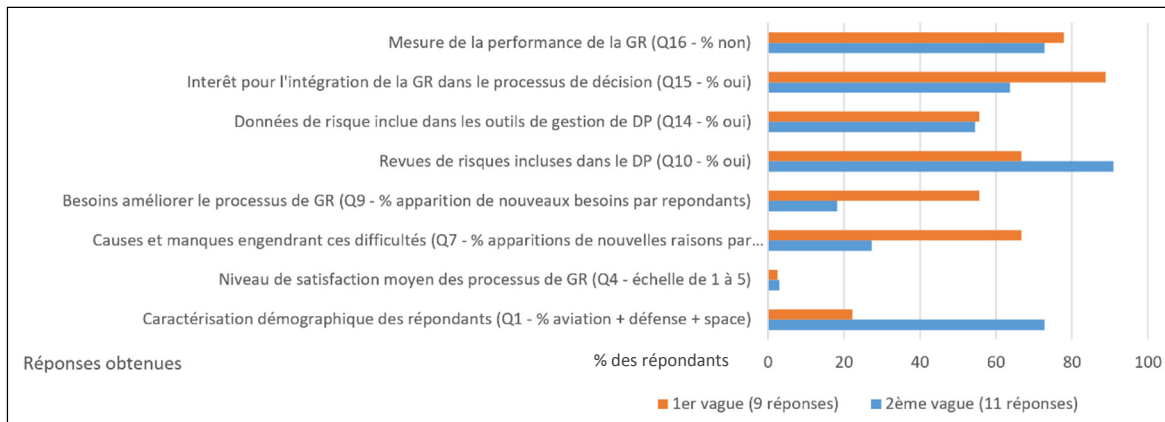


Figure 3.1 Comparaison entre les réponses des deux vagues de diffusions

La Figure 3.1 illustre les réponses à certaines questions choisies au travers des 6 axes du sondage. Les résultats des réponses sont calculés par rapport aux répondants de la première et de la deuxième vague de diffusion. On observe que les réponses établies sur les questions de type « oui / non » (Q10, Q14, Q15 et Q16 sur la Figure 3.1) montrent une variation de maximum $\pm 25\%$ entre les deux vagues. On remarque également que le nombre d'apparitions de nouvelles difficultés ou de nouveaux besoins relatifs à la GR (Q7 et Q9) diminue entre les deux vagues. La satisfaction moyenne des répondants au travers des deux vagues reste relativement stable avec un score respectif de 2.44 pour la première et de 3 pour la seconde. Enfin, l'évolution de la caractérisation démographique des répondants au cours des deux vagues illustre la différence du canal de diffusion choisi (« réseaux sociaux professionnels » par rapport à « entreprises cibles »).

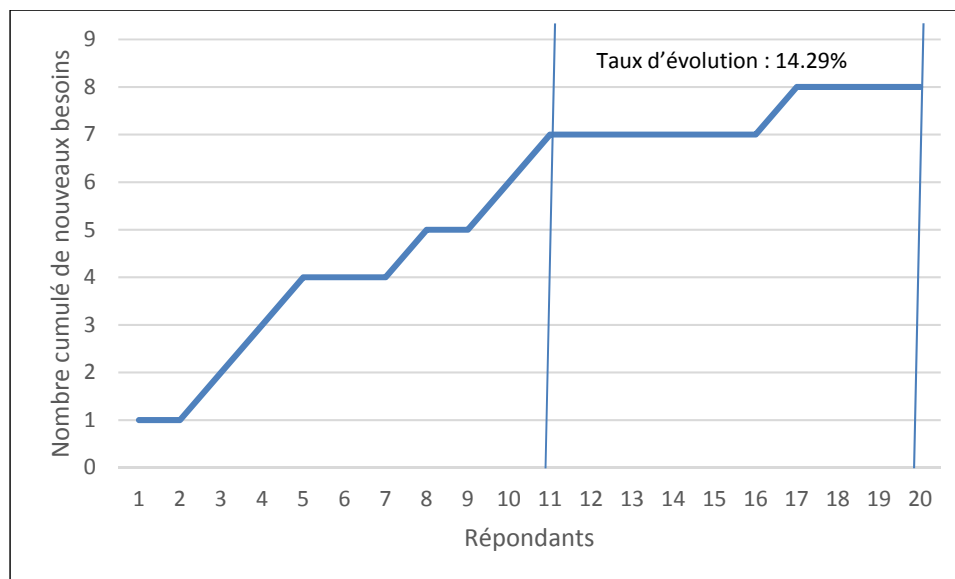


Figure 3.2 Critère de saturation empirique

L'analyse comparative des résultats répartit entre deux vagues de diffusion et le critère de saturation empirique établi (*Voir* Figure 3.2) justifie l'arrêt du sondage. En effet, au vu de la Figure 3.1, plus de réponses ne changeraient probablement pas la tendance générale dégagée par les réponses obtenues. De plus, l'axe de diffusion, auprès des industriels du secteur aéronautique, assoit la pertinence des réponses déjà récoltée lors de la première vague. L'enquête a donc été interrompue après vingt réponses valides. Au regard des 58 entreprises ciblées, cela suffit pour révéler une tendance générale claire et une liste pertinente de caractéristiques et de besoins.

Caractérisation démographique des répondants

Les deux premières questions du questionnaire ont pour but d'établir les caractéristiques démographiques des répondants. La Figure 3.3 illustre les domaines d'activités des entreprises dans lesquelles les répondants exercent. Les industries de la défense, de l'aviation et du spatial représentant sont, avec un cumul de 80%, majoritairement représentées. L'objectif de recueillir l'opinion des industriels du secteur aérospatial est donc rempli.

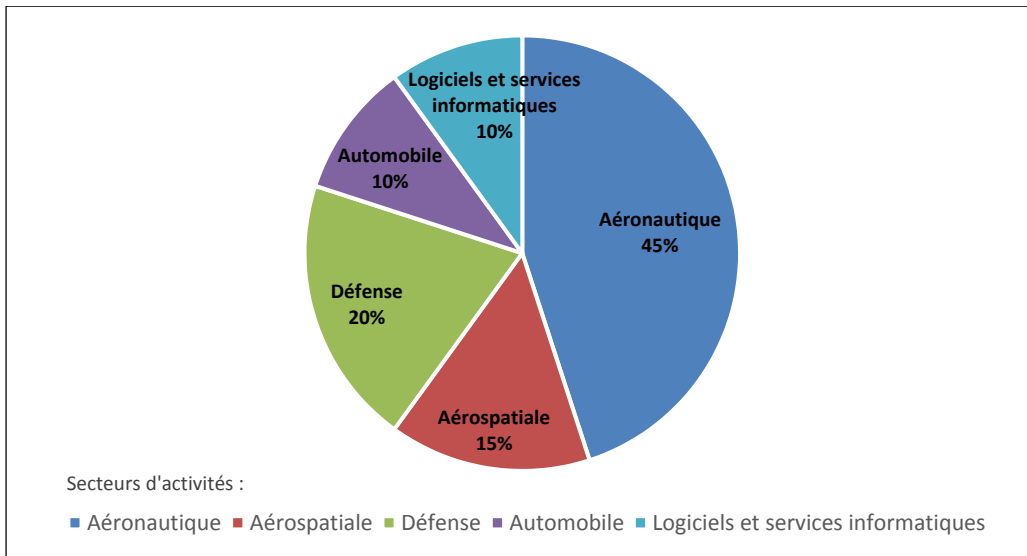


Figure 3.3 Secteurs d'activités des entreprises où exercent les répondants

Les répondants sont ensuite caractérisés par leurs rôles au sein des processus de DP effectués au sein de leur organisation. La Figure 3.4 montre cette répartition. Au vu des tâches clés leur étant liées dans l'application des processus au sein des organisations, les gestionnaires de programmes et les ingénieurs sont les principales catégories ciblées. 65% des répondants en font partie.

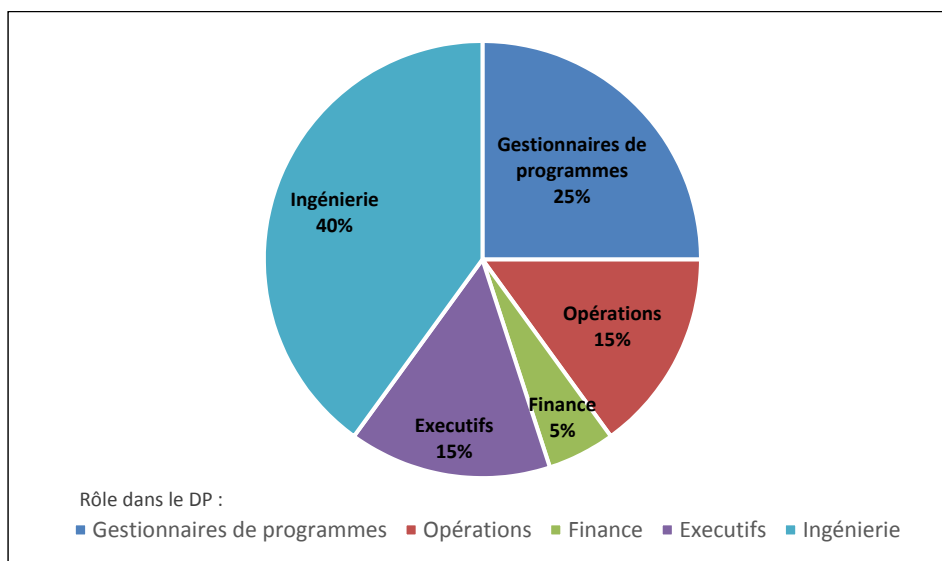


Figure 3.4 Rôles des répondants exercés au sein du DP

Cette caractérisation permet d’asseoir la légitimité des résultats qui vont suivre. En ce sens, les objectifs exprimés précédemment (partie 2.2.1) sont atteints.

Processus et satisfaction globale du processus de gestion du risque

Le premier élément asseyant la légitimité de cette étude est la non-satisfaction très majoritaire des répondants face aux méthodes et pratiques qu’ils utilisent aujourd’hui. En effet, 75% d’entre eux sont seulement OK, insatisfaits ou très insatisfaits des processus de gestion de risques actuellement en place dans leur organisation. Aucun n'est très satisfait. La Figure 3.5 montre un niveau de satisfaction (1 - très insatisfait / 2 - insatisfait / 3 - OK / 4 - satisfait / 5- très satisfait) moyen en deçà de OK. Même avec seulement trois réponses, cette figure met également en lumière une forte insatisfaction des exécutifs prenant part au DP.

Les raisons de cette non-satisfaction sont multiples par leurs descriptions, mais ce centre autour d’un manque de processus dynamique, applicable de manière concrète et pouvant fournir des informations pertinentes pour les différents niveaux hiérarchiques de l’organisation.

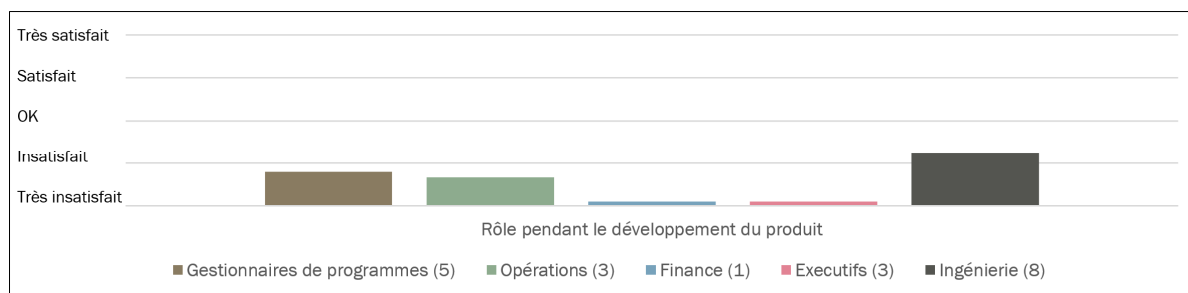


Figure 3.5 Relations entre le niveau de satisfaction moyen et le rôle durant le développement produit

Par la suite, un examen est effectué des normes respectives utilisées par les répondants. On ne peut, de ce sondage, dégager aucune norme ou méthode de développement produit ou de gestion du risque qui serait plus utilisée qu’une autre. Du plus, au vu des réponses (*Voir* Figure 3.6) données à la troisième question du sondage (multiples choix possibles), la moitié des répondants n’utilise aucune norme pour définir le processus de GR.

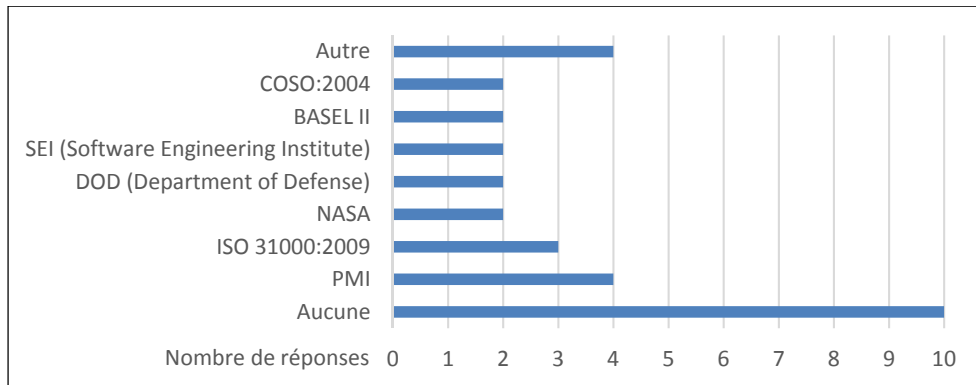


Figure 3.6 Normes de gestions de risque utilisées par les répondants au sein de leur organisation

Les répondants ont exprimé leurs objectifs liés à l'application du processus de gestion des risques. Ces derniers ont été récoltés au travers d'une question à réponse écrite. Une réponse était requise pour soumettre le questionnaire. Les réponses récoltées concernent toutes au moins un des trois axes suivants :

1. Prédire le coût, le calendrier et les résultats d'un projet de développement donné;
2. Réduire les coûts, le calendrier et la qualité ainsi que l'exposition aux événements;
3. Augmenter la capacité à mettre en lumière des opportunités.

80% d'entre eux déclarent effectuer des revues de risques lors de leurs processus de développement produits. Ces revues de risques s'effectuent majoritairement périodiquement de manière discrète : mensuellement, trimestriellement, à chaque porte ou étape du DP, etc. Cependant, seulement 50% des répondants intègrent les résultats de ces revues au sein de leur outil de gestion utilisé pour le suivi du développement produit à proprement parler. Enfin, il en découle que 75% seraient intéressés par une plus grande intégration des processus liés aux risques dans leur processus de décision. Cela montre l'intérêt et la nécessité des répondants à contrôler les risques au sein de ce processus.

Difficultés rencontrées dans l'application des processus de gestion du risque

Il est ensuite demandé à chaque répondant quelles phases du processus de gestion du risque étaient, pour eux, la plus difficile à implémenter. Les étapes proposées aux répondants

reprennent la terminologie et le découpage explicité dans la norme ISO 31000 (International Standard, 2009a). Avec la Figure 3.7, nous pouvons voir que le suivi et l'évaluation ainsi que l'établissement du contexte sont les étapes les plus difficiles du processus de gestion du risque à mettre en place. Les étapes au cœur du processus d'évaluation des risques (*Voir Figure 3.7*) sont, quant à elles, moins source de difficultés.

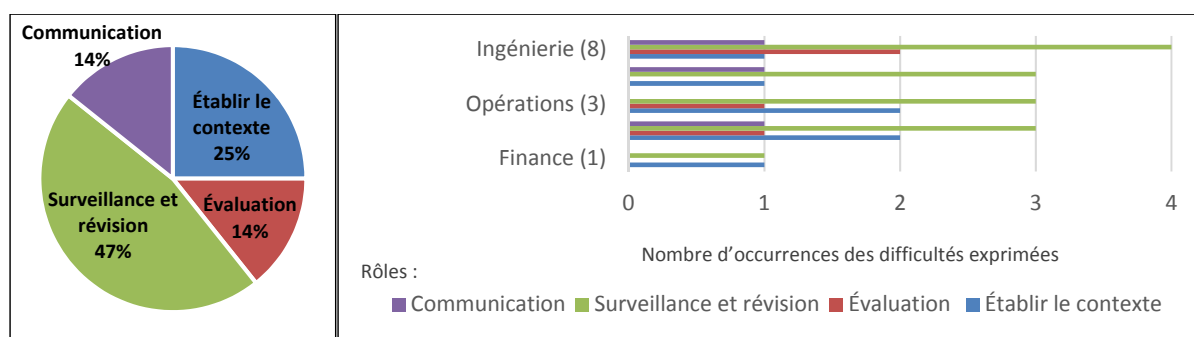


Figure 3.7 Difficultés relevées dans les étapes du processus de gestion de risques et leurs répartitions au travers des rôles impliqués dans le DP

Cause et manques engendrant ces difficultés

Même si des disparités existent dans les étapes du processus de gestion des risques, l'application dans son ensemble de ce dernier est problématique. Les raisons fournies comme justificatives à ces difficultés sont très instructives. En voici les principales :

1. Manque d'informations, de métriques, d'indicateurs et de processus formels;
2. Manque de données structurées correspondant à l'examen d'autres projets passés;
3. Manque de ressources en particulier de temps;
4. Faible agilité pour faire face au dynamisme du marché et des besoins;
5. Mauvaise compréhension organisationnelle de l'utilisation, des applications et des avantages offerts par le processus : engendre des contraintes financières sur le développement et l'implémentation de nouveaux outils de GR;
6. Faible fiabilité des prévisions des temps et des coûts résultant de la gestion du risque.

Besoins pour y faire face et améliorer le processus de gestion du risque

Pour faire réponse à ces difficultés, les répondants ont été invités à exprimer leurs besoins en termes d'amélioration des outils et des processus utilisés pour leurs processus de gestion des risques. Il en ressort les trois axes principaux suivants, par ordre de priorité :

1. Harmoniser et intégrer le processus de gestion des risques avec d'autres sources d'information pertinentes liées au même programme de développement de produits;
2. Meilleure compréhension et formation des acteurs du processus de GR, notamment sur son potentiel;
3. Un moyen d'impliquer tous les niveaux hiérarchiques, pour recueillir des données et les servir avec les résultats du processus.

Place et mesure de la performance du processus de gestion du risque au sein du développement produit

Enfin, 75% des répondants ne mesurent pas la performance même du processus de gestion des risques. Les praticiens qui contrôlent la performance de ce processus indiquent, à cet effet, l'utilisation des métriques suivantes :

1. La dernière évaluation des risques date-t-elle d'il y a plus de 6 mois ? (oui / non);
2. Existe-t-il un plan d'atténuation approprié et en place pour répondre à chaque élément ayant un risque élevé ? (oui / non).

3.1.2 Validation par une entrevue

L'entrevue a été réalisée avec un responsable intégration dans la gestion de développement produit d'une entreprise du secteur aéronautique Canadien. Le détail des échanges est relaté en annexe (*Voir ANNEXE VII, p. 151*). Cette entrevue permet d'appuyer les points suivants :

1. La récurrence des dépassements de coûts et de délais dans tous les projets dont il a été le témoin;
2. Les processus de gestion de développement produit, basés sur un modèle Stage-Gate, en place sont assez performants;

3. La gestion de risques n'est pas intégrée aux outils de gestion du cycle de vie des produits en place;
4. La gestion de risques est effectuée à un niveau hiérarchique beaucoup plus élevé que la gestion effective des programmes de DP. De plus, elle est effectuée en début de projet pour évaluer les risques globaux;
5. La gestion du risque le long du projet est donc souvent faite implicitement par l'expérience des responsables respectifs des projets;
6. Aucun registre de risque formel n'est tenu et seules les check-lists de passage d'une étape à l'autre du DP sont documentées de manière exhaustive;
7. Réticences et frilosité des exécutifs à investir dans l'amélioration des processus de gestion tels que celui de la GR;
8. Intérêt des répondants pour cette étude. Il cherche un outil intuitif, utilisable simplement par tous ses collaborateurs et supporté par une base de données globale regroupant toutes les informations de GR des différents programmes de DP de l'entreprise.

On note un fort rapprochement entre les propos recueillis par cette entrevue et les résultats du sondage exposés dans la partie précédente.

3.1.3 Analyse et synthèses des résultats

Au vu des réponses récoltées, les praticiens qui ont participé à cette enquête semblent être pleinement conscients des processus et des objectifs liés à la gestion des risques au sein du DP. Ils sont cependant insatisfaits de sa mise en œuvre actuelle dans leur organisation respective. Ce niveau d'insatisfaction peut être mis en relation et expliqué par leur pleine conscience des bénéfices potentiels d'une exécution efficace du processus de GR.

Comme exposé précédemment, ce n'est pas l'étape d'évaluation des risques du processus qui semble être la plus compliquée à mettre en œuvre. Ces processus d'évaluation sont bien connus ; leurs outils et méthodologies sont explicitement détaillés dans toutes les normes de

gestion des risques. Surveiller les risques identifiés et réviser leurs évaluations ainsi que mesurer la performance du processus lui-même au fil du temps est clairement plus difficile. En effet, comme vu au travers des manques de la littérature, cela repose sur des outils et des techniques moins bien définis.

On peut extraire deux axes principaux d'amélioration possible de l'intégration de la gestion des risques actuelle du processus de développement du produit. Le premier besoin est l'absence évidente de mesure de la performance quantifiant l'efficacité d'exécution du processus de gestion des risques en lui-même. 75% des répondants ne mesurent pas la performance même du processus de gestion des risques. Cela soulève un paradoxe; la grande majorité des répondants utilisent et soutiennent la pertinence d'utiliser et d'améliorer un processus de gestion des risques dans le développement des produits de leur organisation. Cependant, ils en sont pour la plupart insatisfaits tout en n'ayant aucune mesure de sa performance. En effet, l'amélioration cohérente d'un processus existant ne peut être envisagée que si on se donne la capacité de mesurer ses performances actuelles. Le second besoin est mis en lumière par les 3 axes vers lesquels s'orientent les besoins exprimés mis en parallèle avec la répartition des difficultés dans les étapes de surveillance et revue (25%) des risques et d'établissement du contexte (47%). Ce second besoin est donc relié à l'appréhension du processus de GR, de ses résultats et de la contribution potentielle des données générées au fil du projet pour améliorer son efficacité et donc sa performance. Chaque acteur du projet, à son niveau et avec ses propres compétences, devrait être impliqué dans le processus de GR. Ainsi, au travers de résultats plus exhaustifs et pertinents, la valeur ajoutée de ce processus se verra croître. Une meilleure intégration axée sur les données du processus de gestion des risques pour le développement du produit lui-même pourrait contribuer à ces améliorations.

Même si elles ont montré leur efficacité dans le développement de produits, les normes de gestion des risques, les lignes directrices et les cadres existants (ISO 31000, PMI, etc.) sont mal intégrés et mal mesurés dans les projets d'ingénierie à grande échelle. En somme, les attentes exprimées par les répondants reprennent les 11 principes (partie 1.2.2), auxquels doit répondre le management des risques au sein d'une organisation. Au vu des difficultés relevées

et du manque de satisfaction global, on en déduit que si ces principes semblent être adéquats, les moyens pour y parvenir ne semblent pas adaptés ou suffisants. Ce postulat vient corroborer et caractériser la problématique de cette étude. Il y a nécessité à apporter une solution qui, par ses artéfacts, viendrait améliorer l'intégration et l'exécution du processus de GR au sein du DP. Cette synthèse des attentes et des besoins des répondants déterminera les bases justifiant et établissant les exigences de développement de la solution proposée.

3.1.4 Besoins

Les étapes précédentes du processus des sciences de la conception ont mis en lumière et explicité le problème étudié. Ces résultats peuvent être traduits comme exigences de conception afin d'assurer que l'outil proposé réponde aux attentes des praticiens de la gestion des risques :

1. Fournir un cadre qui assure une base de données structurée;
2. Formaliser les étapes de gestion des risques pour fournir aux utilisateurs finals un rôle clair dans ce processus;
3. Structurer la description et l'évaluation du risque afin d'assurer des données cohérentes, structurées et uniformes;
4. Catégoriser et caractériser les risques uniformément au travers de formulaires interactifs;
5. Fournir, selon la position hiérarchique dans l'organisation, les informations pertinentes sur :
 - les risques déclarés,
 - les actions possibles pour prendre en compte et traiter les risques déclarés,
 - les métriques et indicateurs concernant un paquet de travail spécifique, l'ensemble ou une sous-section du projet;
6. Permettre à tous les acteurs du développement actuel du produit de déclarer, à tout moment, un risque sur un paquet de travail lui étant assigné;
7. En suivant la hiérarchie de l'organisation, les risques déclarés devraient être revu, révisés et leurs évaluations être affectés aux acteurs les plus compétents;

8. Être capable de recueillir les informations de gestion du développement produit présentes dans les logiciels de PLM existant au sein de l'entreprise.

Inspiré des outils de gestion de code utilisés dans l'industrie du logiciel pour soutenir l'intégration continue de leur développement, l'outil d'intégration continue de la gestion risque décrit ci-dessus souhaite servir les objectifs suivants :

1. Le processus de risque, à partir de l'identification à la mise en place d'un plan de mitigation, est exécuté en permanence;
2. Chaque employé impliqué dans le développement actuel du produit est, à son niveau, impliqué dans le processus de gestion du risque;
3. Fournir des données pour mesurer les performances des ressources engagées par les processus de risque et les mitigations de ces derniers;
4. Améliorer l'efficacité de la gestion des risques grâce à l'agilité, la réactivité du processus notamment grâce à la réduction du temps d'identification des risques;
5. Grâce à l'apprentissage machine, le système pourrait apporter une intelligence au processus de gestion des risques en donnant une idée de la meilleure solution pour traiter un risque, identifier les risques sur un paquet de travail ou sur l'ensemble du projet.

3.1.5 Attributs

Le Tableau 3.1 met en parallèle les attributs venant de la synthèse des besoins et des requis récoltés avec leurs occurrences respectives. La côte A présenté dans ce tableau est établie en comptabilisant les réponses de la question sept du questionnaire (*Voir* Figure 3.8).

7. According to you, which of the following risk management "stage" is the most problematic or most difficult to implement in your organization?

☐ Establishing the context

☐ Assessment (identification, analysis, evaluation)

☐ Monitoring and review

☐ Communication and consultation

☐ Other...

Figure 3.8 Question du sondage utilisé pour la pondération des attributs

Cette question visait à identifier les étapes du processus de GR pour lesquels les gestionnaires rencontrent le plus de difficultés. La cote B est attribuée au vu de la synthèse faite des réponses données aux questions ouvertes, à la revue de la littérature et au remue-méninges effectué lors de la première phase de cette étude. Elle est donc subjective et s'étalera sur une échelle d'importance allant de 1 (peu important) à 5 (très important). Enfin, la cote finale, notée cote F dans le Tableau 3.1 et utilisé dans la maison de la qualité (partie 3.1.7), est une composition des cotes A et B suivant la relation suivante :

$$F = \text{arrondi} \left(\frac{A \times B}{24} \times 5 \right) \quad (3.1)$$

Dans (3.1), 24 est le nombre total de votes présents pour la cote A et 5 le score maximum relatif à la cote B.

Tableau 3.1 Requis de la solution développée face à aux étapes de GR définies
par ISO 31000

Ref.	Catégories	Cote A	Requis	Cote B	Cote F
C1	Établir le contexte	7	créer de la valeur et la préserver	3	4
			être intégré aux processus de l'organisation	5	7
			être intégré aux processus de prise de décision	5	7
			être adapté à l'organisation et au projet	5	7
			intégrer les facteurs humains et culturels de l'organisation	4	6
C2	Identification, analyse et évaluation du risque	4	traiter explicitement de l'incertitude	5	4
			être systématique, structuré et utilisé en temps utile	4	3
			s'appuyer sur la meilleure information disponible	1	4
C3	Communication	3	être transparent et participatif	4	3
C4	Surveillance et revue	10	être dynamique, itératif et réactif au changement	4	8
			facilite l'amélioration continue de l'organisation	1	2

3.1.6 Construction de la maison de la qualité

Les spécifications présentes dans le Tableau 3.2 sont décrites et classées dans les catégories exposées dans la table des requis (*Voir* Tableau 3.2). Toutes les spécifications du tableau ont comme objectifs d'être maximisées.

Tableau 3.2 Spécifications

Ref.	Cat.	Descriptions
A	C1	Remplissage d'une base de données structurée de GR
B	C1	Rôle clair de chacun dans le processus de GR
C	C1	Intégré aux outils de gestion de développement produit (PLM)
D	C1	Être adapté, dans sa structure, à l'organisation et aux projets
E	C2 C3	Permettre à tous les acteurs du DP de déclarer, à tout moment, un risque
F	C3 C4	Permettre à tous les acteurs du DP de surveiller et de réviser les risques
G	C2 C3	Permettre à tous les acteurs du DP d'évaluer les risques en relativement à leurs compétences
H	C2 C4	Fournir aux utilisateurs les informations leur étant pertinentes au regard des résultants du processus de GR
I	C3	Les risques déclarés sont visibles et peuvent être revus, révisés par tous les acteurs sur une plateforme unique
K	C1	Classer les risques uniformément au travers de formulaires interactifs
L	C1	Plateforme unique de GR
M	C1	Évaluer les risques uniformément au travers de formulaires interactifs
N	C2	Fournir aux utilisateurs les actions possibles pour prendre en compte et traiter les risques déclarés
O	C2	Affectés aux acteurs les plus compétents certaines portions de l'évaluation d'un risque
P	C4	Mesurer les performances des ressources engagées par les processus de risque et les mitigations de ces derniers
Q	C4	Agilité, la réactivité du processus notamment grâce à la réduction du temps d'identification des risques
R	C2	Apprentissage machine, apporter une intelligence à la GR en donnant une idée de la meilleure solution pour adresser un risque

La maison de la qualité présentée par la Figure 3.9 met en avant les influences positives et négatives entre les requis de la solution. La matrice en son centre regroupe l'évaluation relative de la capacité pour les spécifications définies (*Voir* Tableau 3.2) de répondre aux requis attendus. Les cases noires représentent la non-applicabilité d'une telle évaluation.

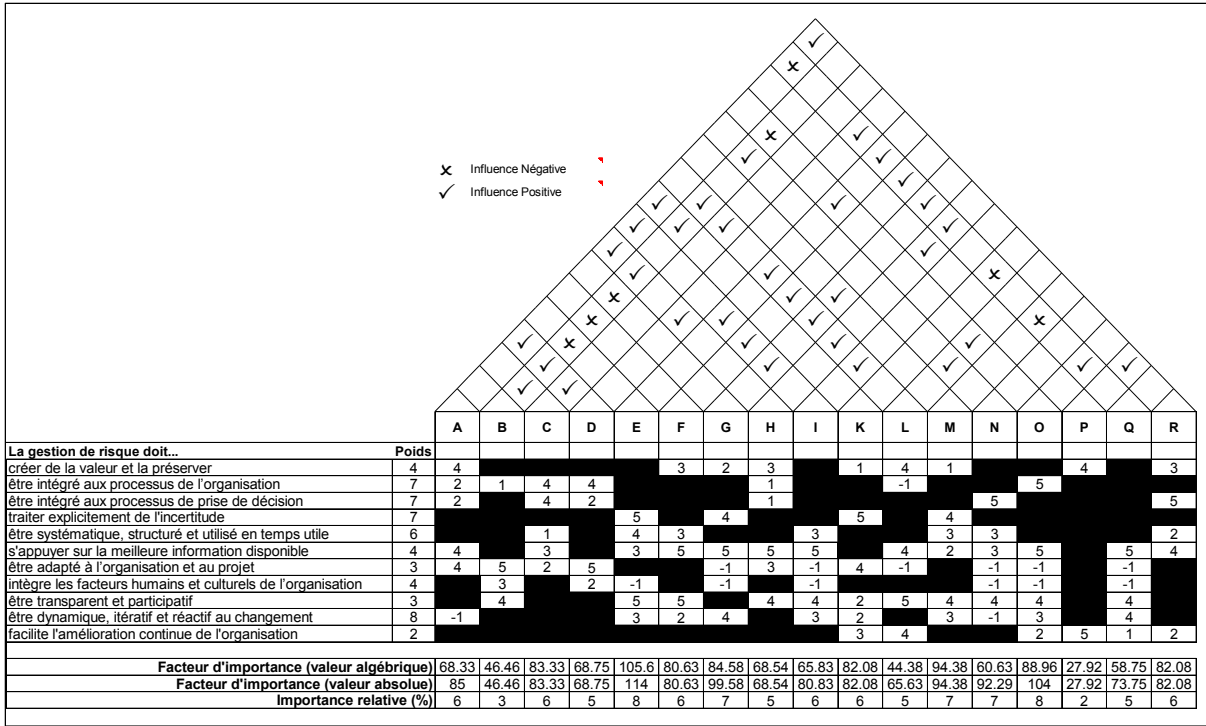


Figure 3.9 Maison de la qualité

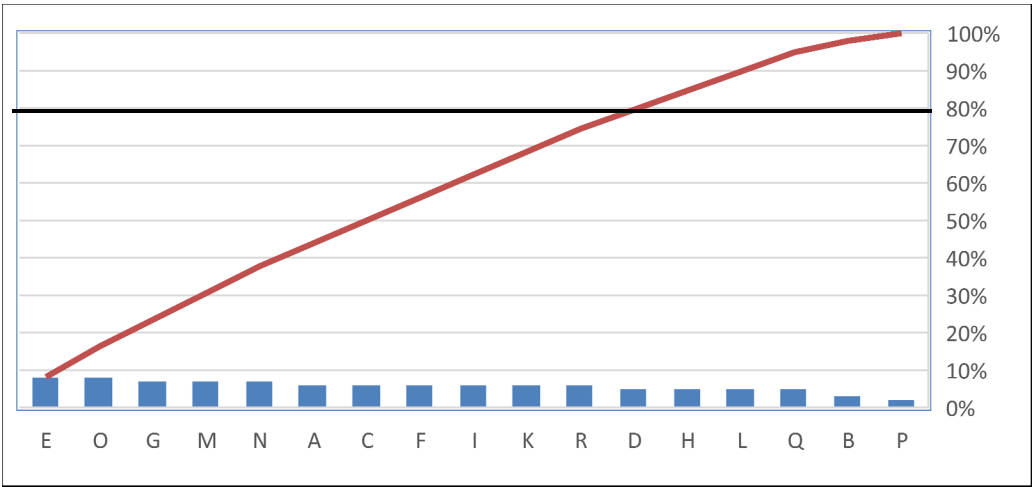


Figure 3.10 Diagramme de Pareto

Le diagramme de Pareto de la Figure 3.10 associé à la règle des 80-20 permet de prioriser et d'éliminer certaines spécifications par ordre croissant d'importance relative :

- 1. D : être adapté, dans sa structure, à l'organisation et aux projets;

2. H : fournir aux utilisateurs les informations leur étant pertinentes au regard des résultants du processus de GR;
3. L : plateforme unique de GR;
4. Q : agilité, la réactivité du processus notamment grâce à la réduction du temps d'identification des risques;
5. B : rôle clair de chacun dans le processus de GR;
6. P : mesurer les performances des ressources engagées par les processus de risque et les mitigations de ces derniers.

Les autres spécifications retenues servent dans la partie suivante afin d'évaluer les solutions suggérées.

3.2 Suggestion de solutions

Les solutions qui suivent ont toutes le même objectif principal : assurer et supporter l'exécution du processus de GR tel que décrit dans la norme ISO 31000 (International Standard, 2009a).

3.2.1 Solution 1 : processus non relié à une base de données

La première solution envisagée se trouve être la plus simple. Il s'agit d'utiliser un document Excel pour organiser la gestion du risque.

3.2.2 Solution 2 : processus lié à une base de données

La seconde solution envisagée est une évolution de la première. Il s'agit d'utiliser un document Excel lié à une base de données pour organiser la gestion du risque en assurant la pérennité de l'information.

3.2.3 Solution 3 : processus lié à une base de données et intégré au PLM

La troisième solution est plus élaborée et se rapproche des solutions existantes sur le marché. Il s'agit d'une plateforme de gestion du risque regroupant toutes les fonctions nécessaires pour assurer le déroulement du processus (tel qu'évoqué dans la partie 1.3.4). Cependant, ces plateformes destinées par leurs interfaces et leurs configurations à faciliter l'exécution du processus de GR ne sont pas orientées vers l'exploitation future des données récoltées.

3.2.4 Solution 4 : outil d'intégration continue de la gestion du risque conçu pour l'apprentissage machine

La solution évoquée précédemment se heurte aux difficultés inhérentes à la GR identifiées dans la partie 1.4.2. En effet, la quantité de données récoltées n'est pas utilisée à son plein potentiel d'amélioration potentiel du processus de GR. Cette solution consiste donc, en partant des solutions existantes, à fournir un outil collaboratif, accessible à toutes les parties prenantes du DP, et où les données acquises lors des précédents DP servent à évaluer de manière automatique les nouveaux risques décrits lors de leur identification. À la suite de cette évaluation automatique, un simple processus de revue permet d'infirmer ou d'affirmer les prédictions faites des caractéristiques du risque (*Voir* partie 1.4.4). Le diagramme présenté dans la Figure 3.11 illustre le processus de cette solution d'intégration continue orientée vers l'exploitation des données de GR. On remarque que le processus est un cycle dont le déclenchement d'une nouvelle itération réside dans l'apport d'un nouveau risque.

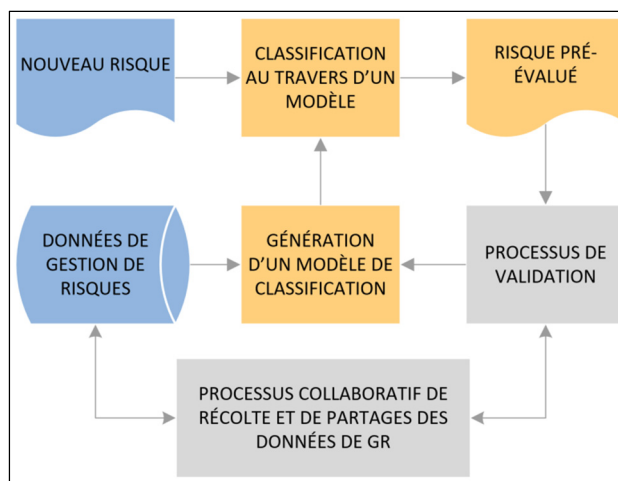


Figure 3.11 Diagramme de flux de la solution 4

3.2.5 Synthèse et choix

Les quatre solutions précédemment exposées répondent de manière incrémentale aux 11 spécifications d'évaluation retenues (Voir Tableau 3.3).

Tableau 3.3 Synthèses des solutions évoquées

Ref.	Descriptions	Solutions			
		1	2	3	4
A	Remplissage d'une base de données structurée de GR		X	X	X
C	Intégré aux outils de gestion de développement produit (PLM)				
E	Permettre à tous les acteurs du DP de déclarer, à tout moment, un risque			X	X
F	Permettre à tous les acteurs du DP de surveiller et de réviser les risques	X	X	X	X
G	Permettre à tous les acteurs du DP d'évaluer les risques en relativement à leurs compétences			X	X
I	Les risques déclarés sont visibles et peuvent être revus, révisés par tous les acteurs sur une plateforme unique	X	X	X	X
K	Classer les risques uniformément au travers de formulaires interactifs			X	X
M	Évaluer les risques uniformément au travers de formulaires interactifs			X	X
N	Fournir aux utilisateurs les actions possibles pour prendre en compte et traiter les risques déclarés				X
O	Affectés aux acteurs les plus compétents certaines portions de l'évaluation d'un risque			X	X
R	Apprentissage machine, apporter une intelligence à la GR en donnant une idée de la meilleure solution pour adresser un risque				X
Score total		2	3	8	9

On remarque que la solution 4 se distingue de la solution 3 uniquement par la présence de l'apprentissage machine. Il est utilisé comme outils pour exploiter les données de gestion du risque récolté. Au vu des manques relevés dans la littérature et de par sa réponse à l'ensemble des spécifications, la solution numéro 4 semble donc être la plus aboutie et passe à l'étape suivante de conception. Pour ce faire elle est scindée en deux parties :

1. La modélisation et la description du processus d'intégration continue de la gestion du risque au sein du DP;
2. L'application de l'apprentissage machine aux données de GR générés visant à améliorer l'exécution du processus de GR.

3.2.6 Justification de la solution choisie

Afin de justifier le concept de solution proposée pour améliorer l'exécution du processus de GR, il est nécessaire de passer en revue les apports de celle-ci face aux 11 principes définis dans la norme ISO 31000. Les lacunes constatées et les réponses de notre processus pour y faire face sont donc décrites succinctement au travers des principes auxquels la GR doit répondre.

Créer de la valeur et la préserver

L'information générée par les processus de GR et de DP est aujourd'hui sous exploitée. La quantité de données recueillies lors de projets passés pourrait créer une valeur ajoutée en termes de gain de performance sur des développements futurs. C'est sur cet aspect que le processus d'intégration continue, au travers de sa base de données structurée, apportera une gestion pérenne de l'information. Ainsi, grâce à cette structure, la création de valeur au sein de l'organisation se verra améliorée au travers de son accès et son traitement.

Intégré aux processus de l'organisation

Lors de cette étude, il a été constaté un manque flagrant d'intégration du processus de GR vis-à-vis du processus de DP. Son intégration, grâce à une plateforme unique centralisant

l'information, assurera de meilleurs flux d'information entre les différents processus internes relatifs au DP de l'entreprise.

Intégré aux processus de prise de décision

Il a été relevé un manque d'exploitation des résultats émanant du processus de GR dans les prises de décision jalonnant le processus de DP. La structure uniforme de l'information et la capacité de la plateforme d'intégration continue de la GR à fournir une information à jour permettraient le calcul en temps réel d'indicateurs de performance du DP. Ces indicateurs d'exposition au risque pourraient servir à la prise de décision en exposant de manière quantitative les incertitudes impactant par exemple la cédule et le coût projeté du projet.

Traite explicitement du risque

Le risque doit être au cœur du processus de GR. Au fil du cheminement d'un risque déclaré dans le processus proposé, il se verra évalué par les acteurs concernés du DP.

Être systématique, structuré et utilisé en temps utile

Souvent laissé de côté par le DP, le processus de GR souffre d'une application discrète voir sporadique au long de ce dernier. Au travers de son intégration continue, il serait effectué de manière plus systématique. De plus, sa structure préétablie et le cheminement des flux d'information seraient définis en amont du DP et connus de tous les acteurs de ce dernier. Enfin, au travers d'un tableau de contrôle synthétisant en temps réel les informations pertinentes de chacun des acteurs du processus de DP, la plateforme d'intégration continue est à même de fournir l'information utile en tout temps.

S'appuie sur la meilleure information disponible

De par son exécution discrète au sein du processus de développement produit, le processus de GR utilise souvent des informations non mises à jour. Les registres de risque sont seulement établis et mis à jour lors des revues de risques. Le principe même de l'intégration continue est de fournir en tout temps la dernière information ou donnée disponible. Le cheminement et

l'évaluation d'un risque par les différents acteurs et une base de données centralisée permettent donc de fluidifier le partage d'information pour la rendre la plus à jour possible.

Être adapté

Les processus de GR définis dans les normes et les guides sont génériques pour pouvoir s'appliquer au plus grand nombre de secteurs d'activités possibles. Il est cependant important, comme indiqué dans ces normes, d'adapter le processus de GR au secteur d'activité, à l'organisation et au type de produit développé. Ce prérequis est à effectuer lors de la première étape de la GR et en préambule du DP. Il permet de spécifier les flux d'information les méthodes, les échelles et les outils d'évaluation des risques. Cependant cette étape d'établissement du contexte de la GR peut s'avérer complexe. Grâce au processus développé, cette étape de configuration se fait lors de l'implémentation. La configuration des flux d'information, des méthodes d'évaluation des risques ou encore les résultats et leurs présentations sont cependant amenés à être modifiés au travers de son exploitation. Cette modification est facilitée par l'adoption d'une plateforme unique, car ces caractéristiques peuvent être facilement changées sans pour autant impacter fondamentalement les utilisateurs. Le processus de GR devient alors plus agile et entrevoit alors véritablement son potentiel d'amélioration continue.

Intègre les facteurs humains et culturels

Les tenants et les aboutissants de la GR sont souvent mal connus au sein des grandes organisations industrielles. Et cela, quel que soit le niveau hiérarchique ou la position au sein de ces dernières. Le type de processus participatif proposé par cette étude favorise la communication et l'implication de tous pour le bon cheminement d'un développement. Il clarifie également les processus et leurs bénéfices. Venant s'intégrer au PLM existant dans les entreprises, le processus de GR développé respecte la position de chacun dans l'entreprise ainsi que les politiques de confidentialité déjà en place.

Être transparent et participatif

La transparence et l'aspect collaboratif dans la GR sont capitaux. C'est sur ces bases d'une participation de tous les acteurs concernés par le DP qu'une GR peut être performant. En effet, la communication et la capacité du processus à recueillir et synthétiser l'information sont un aspect central du processus de GR. Malheureusement nombre d'acteurs sont aujourd'hui tenus à l'écart de ce processus. Par la transparence de ces processus et son accès libre au sein de l'entreprise, chaque personne sera à même de participer, à son échelle, au processus de GR.

Dynamique, itératif et réactif au changement

L'une des lacunes soulevées par cette étude est le manque de réactivité du processus de GR face au changement occurrent lors du DP. Ce manque de dynamisme se traduit par un processus qui évolue peu ou lentement et qui devient de fait inefficace. L'intégration continue rend la GR réactive par la participation des acteurs travaillant sur le DP. Lorsqu'un risque est déclaré dans le système, il est ensuite, de manière itérative, évalué et caractérisé par les personnes les plus à même de fournir chacune des informations requises. Cette réactivité faite contraste avec l'application traditionnelle de la gestion du risque qui vise à identifier en amont les incertitudes potentielles. Lors de ces phases discrètes d'identification de risques, il est quasi impossible de relever toutes les incertitudes possibles. En effet, nombre de problèmes inconnus se déclarent au long du cycle de développement et il faut souvent attendre la prochaine revue de risque pour que leurs impacts soient pris en compte et qu'une solution de mitigation soit trouvée.

Facilite l'amélioration continue de l'organisation

Apprendre des erreurs de développement du passé est encore un des points faibles des organisations développant des produits sur des cycles longs tels que dans l'aérospatiale. Même si des rapports de leçons apprises sont édités à la fin d'un projet, leurs données ne sont pas pérennes dans le temps, ces derniers restent donc souvent sans suite. Le processus de GR ne favorise donc pas l'amélioration continue des processus de l'organisation. Ce dernier doit pourtant, au travers des métriques qu'il peut fournir sur le déroulement d'un développement produit, supporter l'amélioration des développements futurs tant au niveau de leurs résultats qu'au niveau de leurs processus.

3.3 Solutions développées

Sur la base des résultats des enquêtes exposés ci-dessus et de l'évaluation des solutions proposées, cette section traite de la troisième étape de notre méthodologie de la science de la conception. Cette solution se décompose en deux parties :

1. La modélisation et la description du processus de gestion du risque orienté vers une intégration continue de chacune de ses étapes. L'objectif de ce processus est de structurer et d'améliorer l'acquisition et le stockage de données générés lors de la gestion du risque;
2. L'utilisation de l'apprentissage machine supervisée pour faciliter et améliorer l'évaluation des risques en se basant sur la description qu'il en est fait lors de leur identification. Lorsqu'un risque est évoqué par un acteur du DP, ce dernier est pré-évalué de manière automatique en se basant sur l'information historique disponible.

La Figure 3.12 illustre la place et les liens de ces deux parties au sein du DP. Elle met en avant les impacts globaux en termes de performance sur le processus de celui-ci. Elle reprend, dans une perspective de haut niveau, les éléments clés que le processus de GR doit apporter en tant que support à la performance du DP. Elle est composée de deux blocs principaux. Le bloc du bas, en pointillés gras, représente dans un cadre unique, le processus de développement produit de type « stage gate » et le processus de gestion du risque lui étant associé. L'intégration continue de ce dernier au sein du DP est représentée par les flèches circulaires liant ces deux processus. Le bloc supérieur représente, quant à lui, les potentiels impacts du processus développé échelonné au travers de l'exploitation des données de gestion du projet. Cette échelle est illustrée par la pyramide qui montre la transformation des données au travers de différents stades. Plus cette transformation est accomplie, plus la valeur ajoutée créée pour l'organisation, par les processus de gestion, est importante. Ainsi, plus le niveau d'exploitation des données est important, plus l'impact positif potentiel sur la performance du processus de DP et de GR est notable. Ici, la performance du DP est scindée en trois dimensions : le temps, le coût et la qualité. Enfin, ces deux blocs principaux sont reliés de manière bidirectionnelle

avec une base de données unique qui viendra recueillir l'information, la pérenniser et servir de source pour l'ensemble des processus de gestions impliqués.

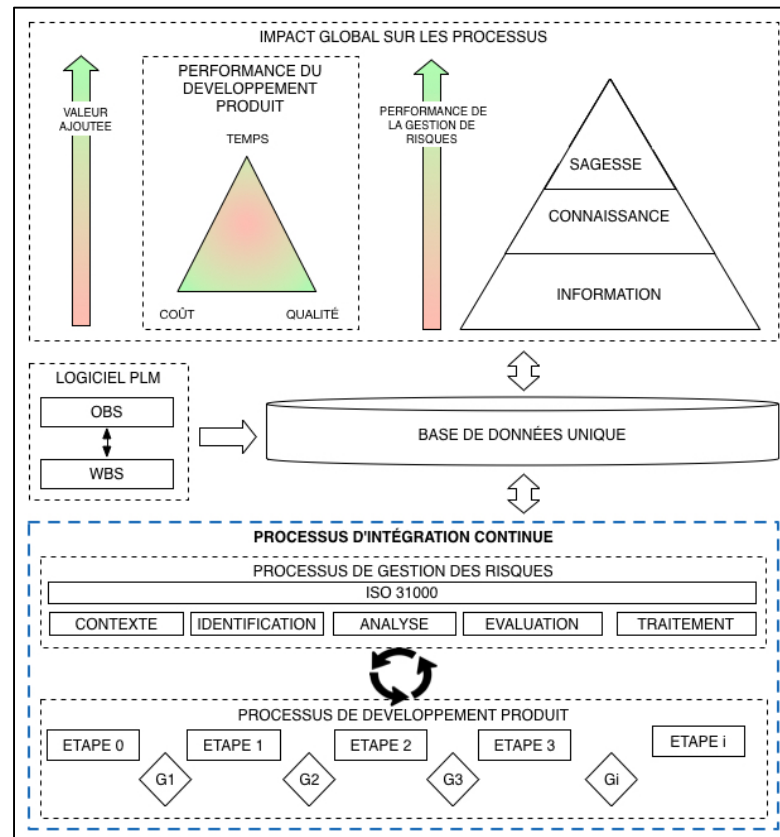


Figure 3.12 Place de l'intégration continue et de son impact sur le processus de développement produit

3.3.1 Processus d'intégration continue de la GR au sein du DP

Les deux figures (*Voir* Figure 2.3, Figure 3.13) montrent la transition entre un processus de GR exécuté de manière discrète au long du DP et son intégration continue.

Dans la Figure 2.3 (partie 2.4.1.1), le processus de DP est exécuté de manière périodique au long du DP (par exemple une fois à chaque étape). Il existe donc un delta de temps important entre deux mises à jour successives du registre de risque utilisé pour l'évaluation de performance faite à chaque porte et déterminant le statut et le futur du projet de développement.

Face à cette situation souvent observée dans les organisations et posant particulièrement problème lorsque les cycles de développement sont particulièrement longs, une solution d'intégration continue réduirait cet intervalle Δt d'application du processus de GR. Si les risques déclarés et identifiés tout au long du cycle de DP sont évalués et une solution leur est adressée en flux continu, alors la réactivité du processus de GR se trouve grandement améliorée. De plus, la nécessité d'un outil informatique supportant un processus clairement défini en amont du DP permet le recueil de données de manière uniforme et pérenne. La Figure 3.13 illustre comment s'articule ce type de processus tout au long du cycle de développement. Dans ce cas, il n'y a plus de moment précis pendant lequel la GR prend part au DP, elle en est une partie intégrante.

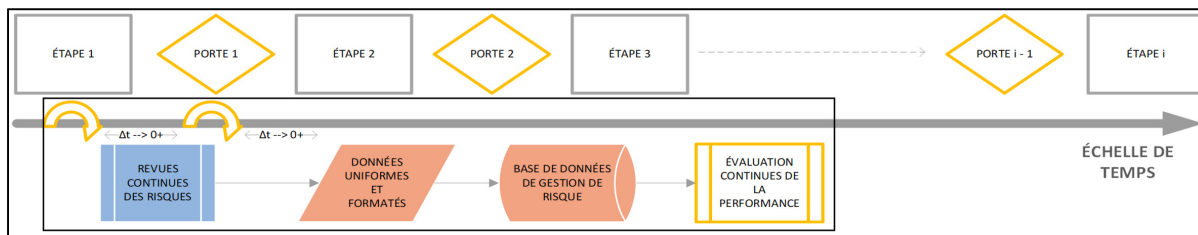


Figure 3.13 Occurrence continue du processus de GR au long du DP après implémentation de son intégration continue

Ce processus se rapproche ainsi des pratiques de gestion des dysfonctionnements présentes dans le développement logiciel.

3.3.1.1 Représentation du processus d'affaires continu lié à la GR (SIPOC)

Au travers d'un diagramme de type SIPOC, la Figure 3.14 expose les entrants et sortants de chacune des étapes du processus continu de GR.

Dans la colonne des processus, les blocs dont le fond est grisé sont les étapes de ce processus pour lesquelles l'exécution est perpétuelle. Elle n'intervient donc pas à des moments précis du DP, mais est réalisée en continu. L'identification des risques, par exemple, n'est plus limitée à des rencontres cédulées de manière discrète au long du DP, mais est effectuée en continu par

tous les acteurs du DP. Les blocs a fonds blancs sont exécutés au moment opportun, comme suggéré par la norme ISO 31000 (International Standard, 2009a). L'aspect collaboratif du processus continu est illustré par la présence de tous les acteurs du DP dans la colonne des fournisseurs.

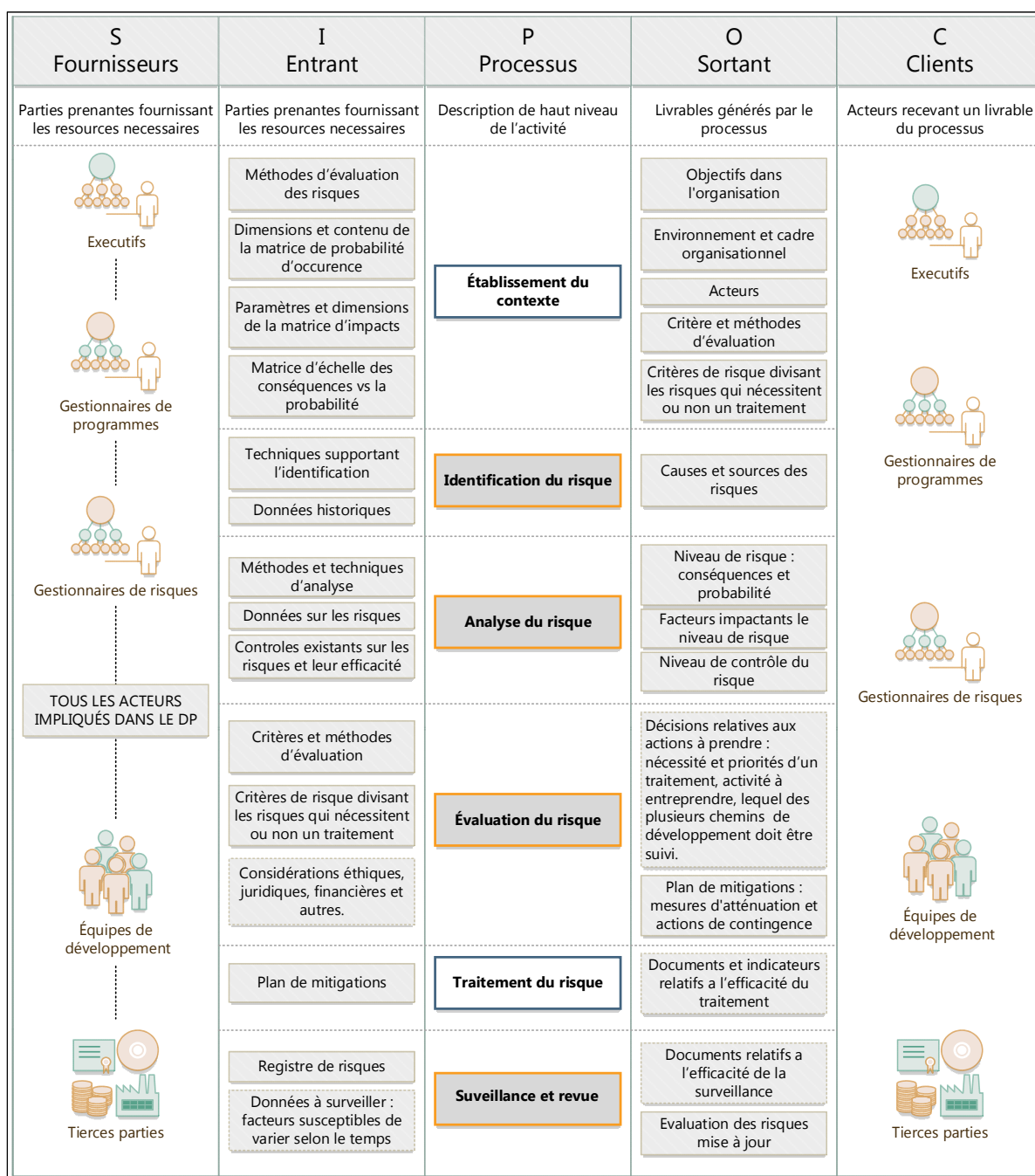


Figure 3.14 SPIOC processus de gestion de risques

La Figure 3.15 détaille l'organisation et le cheminement des étapes présentes dans la colonne processus de la Figure 3.14 de telle sorte qu'il en résulte un processus exécutable de manière continue et collaborative. Elle reprend les principes clés de la revue de littérature :

1. La communication et gestion de l'information du risque (partie 1.2.3) : le processus exposé ci-dessous montre les interactions relatives à la GR;
2. L'intégration continue appliquée dans la gestion du risque (partie 1.3.4);
3. La collecte et l'analyse de données au service des processus (partie 1.4).

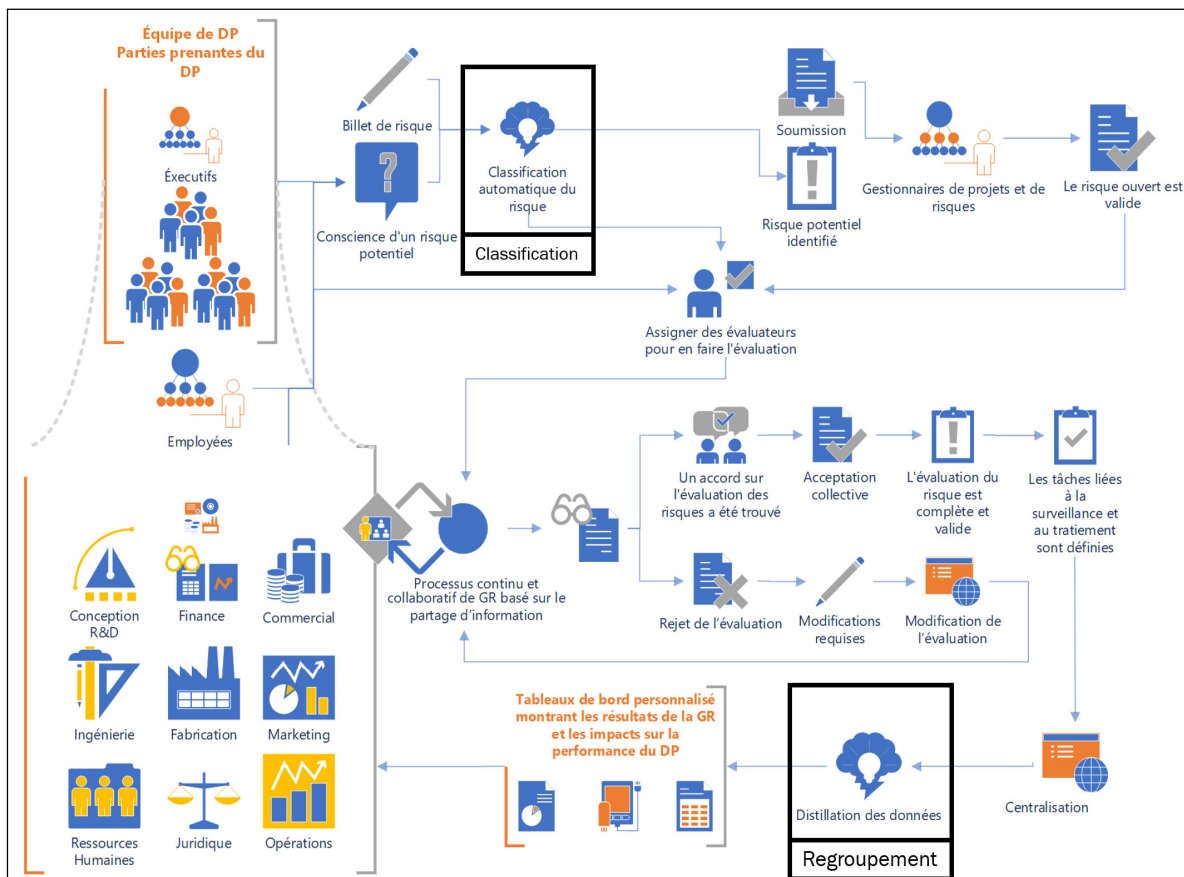


Figure 3.15 Diagramme de la méthode d'intégration continue de la gestion du risque face à ses étapes définies par ISO 31000

Pour une meilleure compréhension du processus proposé, voici la description d'une application générique de son application. Nous prenons comme hypothèse une organisation dotée d'une

structure organisationnelle bien établie, en anglais « *Organizational Breakdown Structure* » (OBS), et suivant un processus de développement de produit par étapes lui-même lié à une structure de découpage du projet, en anglais « *Work Breakdown Structure* » (WBS), approprié. L'organisation dispose déjà d'un logiciel de gestion du cycle de vie des produits (PLM) historiquement utilisés pour planifier les coûts, le calendrier et les ressources dans son projet. Les paquets de travail sont donc évalués en termes de temps, de coûts et de dépendances. Ils sont également attribués à chaque département de l'organisation et par conséquent à tous les employés impliqués dans le projet actuel. Grâce à la synthèse de structure organisationnelle avec le découpage en paquet de travail, chaque utilisateur peut accéder, à partir d'une interface simple, à tout moment, à l'information qu'il devrait avoir. Chaque partie prenante du DP, s'il en ressent le besoin, peut maintenant créer un risque sur l'une de ses tâches. L'utilisateur évalue alors le risque de son point de vue, en suivant les procédures recommandées par ISO 31000 (International Standard, 2009a). Cette première évaluation du risque déclaré est maintenant accessible au supérieur hiérarchique de l'utilisateur ou à l'employé ciblé. Quiconque ayant accès au paquet de travail peut maintenant examiner et réviser la première évaluation effectuée, par exemple, en y ajoutant des données pertinentes que seul lui connaît. Au fil du temps, ce processus continu soutenu par une base de données peut décliner un tableau de contrôle contenant les informations appropriées et utiles à chaque département du DP.

3.3.1.2 Cheminement d'un risque au sein du processus

La Figure 3.16 met en perspective le processus proposé dans cette étude face aux étapes établies de la GR. Le processus liant l'évaluation, le traitement et la surveillance des risques est cyclique. Tout comme la figure illustrant la solution choisie (*Voir* Figure 3.11), le déclenchement d'une nouvelle itération de ce cycle se fait lorsqu'un nouveau risque est identifié. Pour être appliqué correctement, ce processus doit s'appuyer sur un outil logiciel adapté à la gestion collaborative des risques (*Voir* partie 3.2.3).

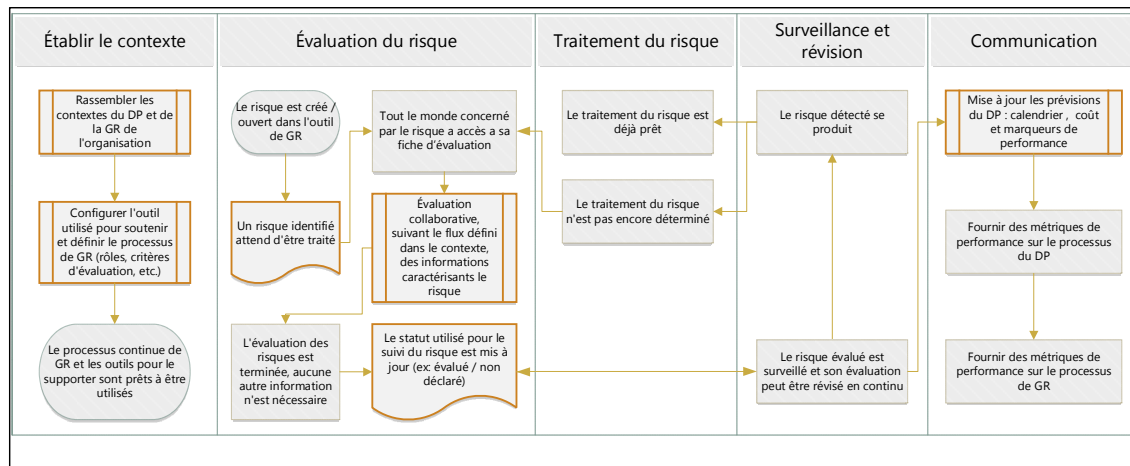


Figure 3.16 Diagramme des flux de la méthode d'intégration continue de la gestion du risque face à ses étapes définies par ISO 31000

3.3.1.3 Conclusion

L'exécution des étapes du processus de GR proposé par le standard ISO 31000 est ici transformée pour mieux utiliser le potentiel des outils informatiques existant aujourd'hui. Les deux axes de transformation évoqués sont les suivants :

1. Les étapes d'identification et d'évaluation des risques ne sont plus seulement réalisées de manière discrète au long du DP. Elles sont maintenant réalisées au jour le jour en fonction de l'opulence des nouveaux risques du DP;
2. Le registre de risque généré est maintenant dynamique et sa mise à jour n'est plus cantonnée à des révisions périodiques.

L'intégration en continu du processus de GR au sein du DP et la gestion de registre de risques dynamiques est aujourd'hui possibles au travers de plateformes logicielles collaboratives (partie 3.2.3). Ces dernières permettent grâce aux processus évoqués dans cette étude de maximiser la quantité et de pérenniser les données générées par la GR au sein des organisations. L'implémentation d'un tel processus au sein d'une organisation vise donc à :

1. Réduire la latence d'identification des risques au cours du DP;
2. Être proactif quant à leurs traitements;

3. Être un support à l'exécution continue des outils d'apprentissage machine;
4. Supporter l'amélioration du processus de GR.

La quantité d'information générée par ce processus est importante et son traitement manuel, même si effectué de manière collaborative, peut être fastidieux et très consommateur en ressource. Comme évoqué précédemment les ressources à engager dans le processus de GR peuvent être un frein à son développement dans les organisations. Ainsi, une méthode de classification automatique des nouveaux risques permettrait de réduire le nombre d'itérations nécessaires à son évaluation complète. En effet, au travers des risques passés, et donc déjà évalués, l'apprentissage machine pourrait permettre d'extraire les informations nécessaires à l'évaluation d'un nouveau risque.

3.3.2 Apprentissage machine exploitant les données de GR générées lors du DP

3.3.2.1 Méthode d'apprentissage supervisé de classification des descriptions de risques

Comme exprimé dans la partie 1.4.4 de cette étude, le processus d'évaluation d'un risque, qu'il soit réalisé de manière continue ou non, vise à compléter de la manière la plus exhaustive et exact possible les champs de données caractérisant ce risque. Le but de cette méthode et de créer un modèle avec les risques identifiés et évalués lors de la phase pré-engagement d'un développement produit. On applique par la suite ce modèle aux données post engagement. On calcule ainsi le pourcentage de risques mal classés.

Pour ce faire, une base de données contenant des descriptions de risque respectivement associées à leurs attributs est nécessaire afin de réaliser l'apprentissage du modèle. Cette dernière devrait être structurée autour des attributs présentés dans la partie 1.4.4. La difficulté, lors de cette étude, à avoir accès aux bases de données de gestion de risques correspondant à un développement produit nous a amené à utiliser des données de type similaire, mais non relatif au domaine de la gestion du risque. Un extrait de la table de donnée d'œnologie (Martin, 2017) est présenté en annexe (*Voir ANNEXE IX, p. 157*). Pour simplifier cette première approche de

classification, seule la catégorie sera ici considérée comme attribut. La table complète regroupe 10 000 descriptions réparties équitablement entre 10 catégories. Le nombre de descriptions est dans cette étude limité à 10 000 dues aux contraintes imposées par la licence du logiciel utilisé. Cependant, ce nombre reste cohérent au regard du volume de risques pouvant être généré par les DP d'une organisation. Par exemple, ce chiffre est atteint si une organisation a exécuté 4 DP, chacun ayant généré 625 risques par an pendant 4 ans, eux-mêmes répartis au long des étapes du DP.

Notre méthode de classification supervisée se décompose en deux étapes principales : l'apprentissage et la validation croisée du modèle. Un exemple du code représentant le processus construit est présent en annexe (*Voir* ANNEXE X, p. 159). Certains aspects méthodologiques sont détaillés plus amplement dans la partie 2.4.2.

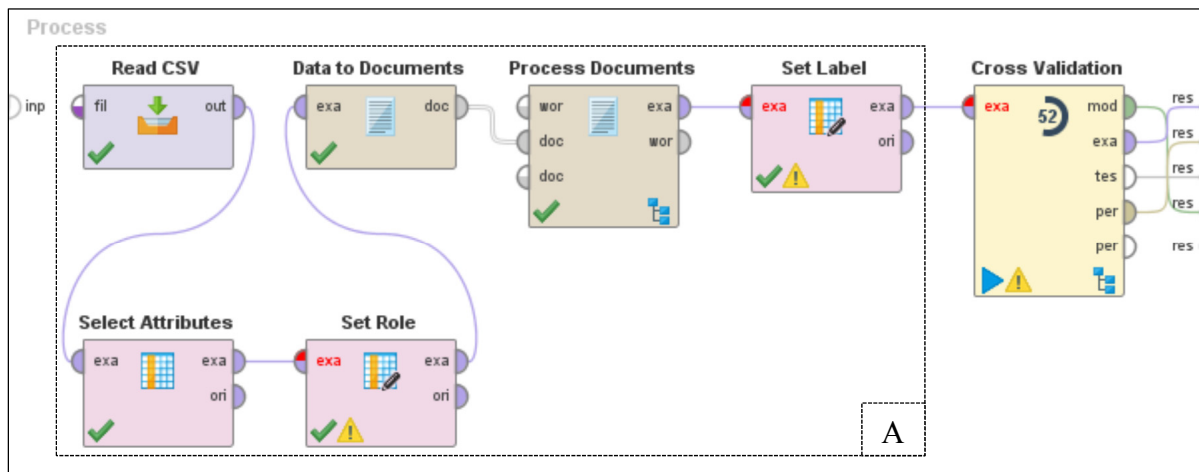


Figure 3.17 Processus de classification supervisée développée sur RapidMiner®

Prétraitement des descriptions

L'objectif est ici de générer la table de n-grammes tirés des vecteurs-mots de chacune des descriptions. Ces étapes et bloc associés dans RapidMiner® (RapidMiner, 2017) sont illustrés par la section A de la Figure 3.17.

Création du modèle et de son évaluation

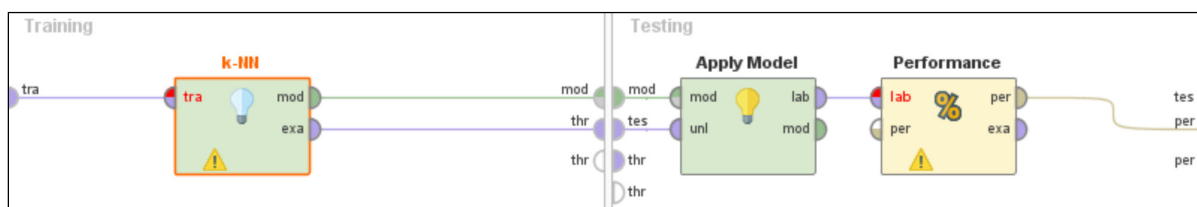


Figure 3.18 Processus d'entraînement et validation croisée des modèles

La création du modèle et l'évaluation de sa performance sont mises en place en utilisant l'opérateur de validation croisée de modèle intitulé *Cross Validation* (Voir Figure 3.18). Le nombre de plis k utilisé pour la validation ainsi que la méthode d'échantillonnage est ainsi configurée (ici 10 sous-ensembles sont réalisés au travers d'un échantillonnage automatique).

Ce processus de validation croisée contient donc plusieurs opérateurs répartis dans deux parties distinctes (Voir Figure 3.18) :

1. L'entraînement contenant l'opérateur correspondant au modèle que l'on veut générer. Ce dernier prend en entrée les documents résultant du prétraitement. Une partie de ces documents (ici $10000 / 10$ donc 1000 soit 20%) n'est aléatoirement pas utilisée pour la génération du modèle et est laissée pour en effectuer le test;
2. Le test du modèle est donc réalisé en appliquant le modèle aux données n'ayant pas servi pour son entraînement. La performance de la classification est ensuite mesurée et un vecteur de performance est généré afin de la résumer. La comparaison entre les tests est ainsi simplifiée.

Ramenées à la GR dans le DP (Voir Figure 2.5) les étapes 1 et 2 présentées ci-dessus correspondent respectivement, à la génération d'un modèle avec les risques relevés avant l'engagement de l'entreprise et la classification, par ce modèle, des risques relevés après.

Paramètres utilisés*Modèle 1 : Naïve Bayes*

Cette méthode de classification ne demande pas de paramétrage.

Modèle 2 : k-nn

Une méthodologie simple pour sélectionner le nombre de voisins k considérés par le classificateur est simplifiée en utilisant la racine carrée du nombre de caractéristiques présentes dans la table utilisé pour l'entraînement. Ici, il s'agit de notre table de n -grammes tirée des vecteurs-mots. Cette dernière se compose de 7193 attributs. Nous fixons donc la valeur initiale de k à 85.

Modèle 3 : Apprentissage profond (algorithme H2O 3.8.2.6) - Deep Learning

Les fonctions d'activations « *tanh* », « *rectifier* » sont ici expérimentés (avec les mêmes paramétrages du réseau de neurones) et donnent des résultats similaires (*Voir* Figure 3.19).

Résultats

La Figure 3.21 permet de visualiser en détail la performance, exprimée en termes de mauvais classements de descriptions de chacun, des modèles de classification expérimentée.

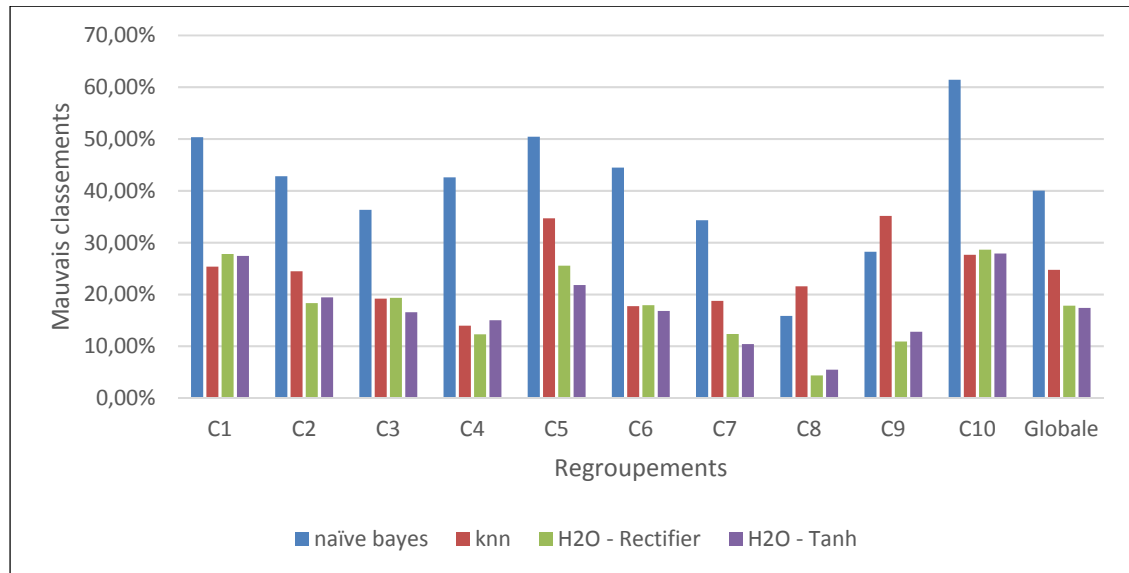


Figure 3.19 Mauvais classements par modèle expérimenté

Le Tableau 3.4 résume la performance moyenne évaluée par la validation croisée de chacun des modèles expérimentés. On entend ici par performance le nombre de descriptions de la phase post-engagement mal classé par un modèle ne les utilisant pas pour son entraînement (descriptions présentes pré-engagement).

Tableau 3.4 Mauvais classements résultant des différents modèles d'apprentissages expérimentés

Modèle	Mauvais classements (%)
Naive Bayes	40.04
K-NN	24.73
H2O - Rectifier	17.82
H2O - Tanh	17.40

Impact de la quantité de données sur la performance des modèles

Les modèles de classification exposée ci-dessus sont exécutés à nouveau, avec les mêmes paramètres, mais en réduisant de manière progressive la taille de la table servant à l'entraînement. Le nombre de lignes utilisé est ainsi réduit de moitié à chaque itération. Pour se faire, un opérateur d'échantillonnage est ajouté en amont du prétraitement des documents

sur RapidMiner®. Pour la classification k-nn, la valeur de k est ajustée à chaque itération pour correspondre aux dimensions de la matrice des n-grammes générés. Pour les autres modèles, leurs paramètres restent inchangés.

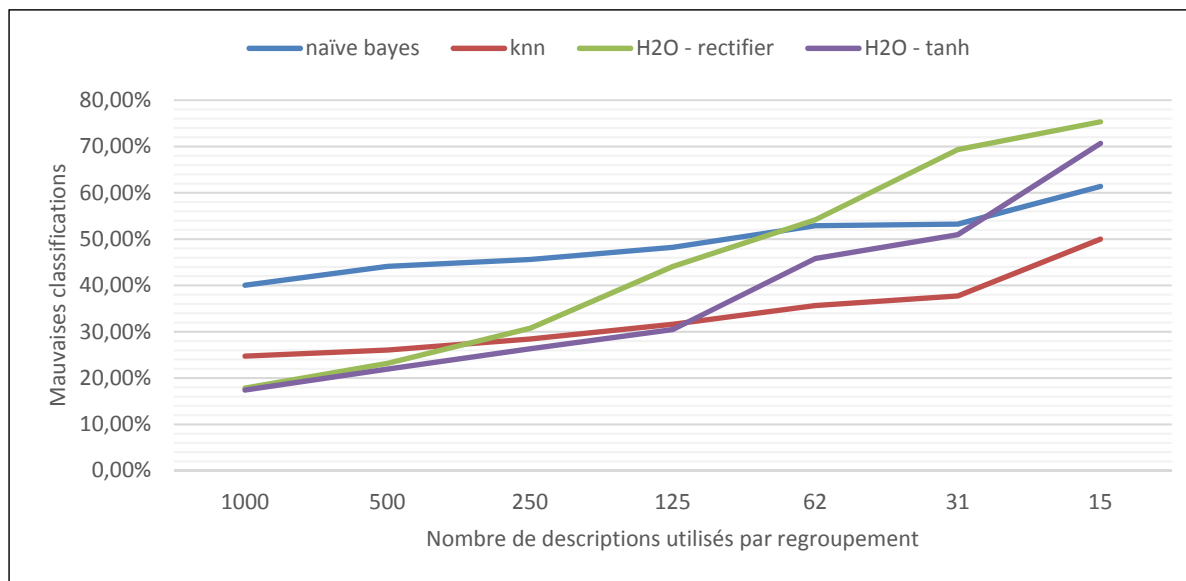


Figure 3.20 Performances globales de classification des modèles en fonction du nombre de descriptions disponibles

La Figure 3.20 expose la performance des différentes classifications en fonction de la taille de la table de données ayant servi à l'entraînement des modèles. On remarque que la classification utilisant l'algorithme k-nn résiste globalement mieux à la réduction de la table de donnée. A contrario, les réseaux de neurones artificiels y sont beaucoup plus sensibles et voient leurs performances dégradées plus rapidement.

3.3.2.2 Méthode de regroupement permettant l'évaluation de la performance d'identification des risques

Afin de se rapprocher du contexte réel de GR au sein du DP cette expérience vise à calculer, par le regroupement non supervisé de données textuelles, le nombre de surprises présent lors d'un DP.

Implémentation de la méthode

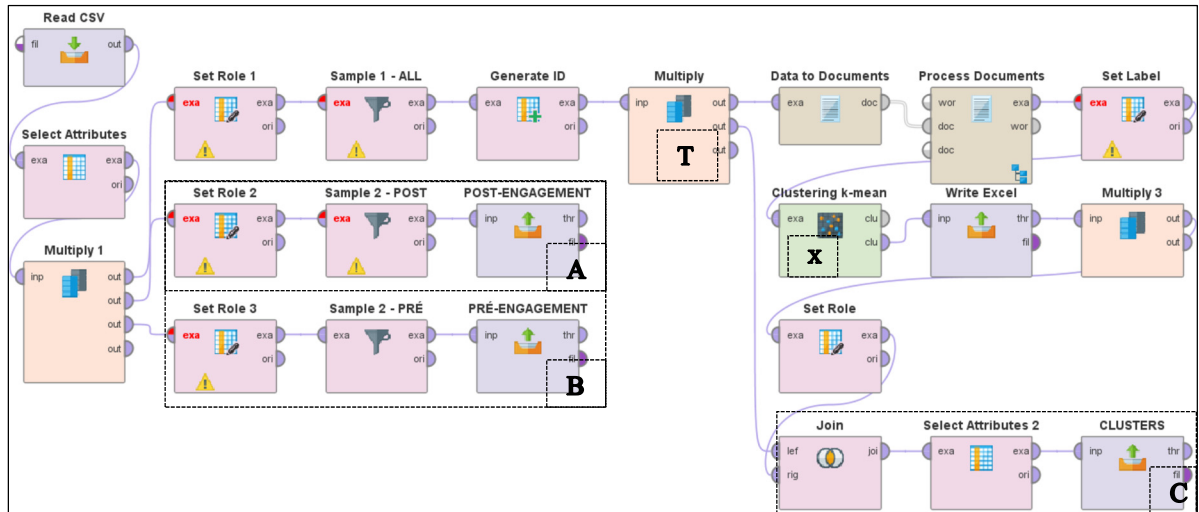


Figure 3.21 Méthodes de regroupement implémenté sur RapidMiner®

Nous reprenons notre table de N descriptions labélisées équitablement en 10 catégories. Cette table (T) est alors scindée en deux parties, chacune représentant respectivement les risques identifiés lors de la phase pré et post engagement d'un DP (Voir Figure 2.5). Les descriptions de risques identifiés pré-engagement sont extraites par un échantillonnage de k catégories parmi les n catégories disponibles (ici : 7 catégories choisies sur les 10). Les descriptions des risques identifiés post engagement sont extraites par un échantillonnage aléatoire de $r\%$ des descriptions présentes dans notre table de données T (ici : 20% donnent $0.2 \times N$ descriptions réparties sur 10 catégories). Cette séparation reproduit le contexte réel du DP : les risques identifiés après la porte d'engagement sont parfois liés aux risques identifiés avant. Ces deux tables représentant 2 sous-ensembles (A et B) distincts de notre base de données de départ sont sauvegardées (Voir Figure 3.21) et serviront pour l'évaluation de la qualité des regroupements.

L'intégralité de la table de description (T) subit alors le même traitement que dans l'expérience précédente (telle qu'exposé dans la partie 2.4.2). La table de n -grammes résultante est alors regroupé par l'algorithme k -mean ici noté X (Voir Figure 3.21). Le détail du fonctionnement de cet algorithme et du choix de mesure (« *cosine similarity* ») est présent dans la partie 2.4.2.

Enfin, les résultats de ce regroupement sont joints aux éléments de la table complète (T). Ainsi, les descriptions présentes dans chaque regroupement (ou « *cluster* ») sont associées avec leurs catégories originelles respectives (C). La table générée par cette jointure est également sauvegardée (*Voir* Figure 3.21). Un exemple de sa structure est présenté par le Tableau 3.5.

Tableau 3.5 Structure de la table résultant du regroupement

Catégorie	ID de la description	Numéro du cluster
C1	1	1
Cn	N	Kn

Ce tableau (*Voir* Tableau 3.5) est ensuite traité pour extraire la métrique de surprise. Pour ce faire, un script Python a été écrit (*Voir* ANNEXE XII, Figure-A XII-1). Ce dernier vient itérer sur chaque cluster et contrôle :

- s'il est, ou non, considéré comme une surprise :
 1. Le regroupement est une surprise s'il ne comporte que des descriptions appartenant à la table des risques identifiés post engagement (A);
 2. Le regroupement n'est pas une surprise s'il comporte au moins un risque appartenant à la table des risques identifiés initialement (dans la période pré-engagement : B).
- s'il est, ou non considéré comme un cluster valide :
 1. Le regroupement est valide si toutes les descriptions qu'il contient appartiennent à la même catégorie telle que définie dans les données originelles;
 2. Le regroupement est invalide s'il contient des descriptions appartenant à au moins deux catégories différentes, tel que défini dans les données originelles.

On peut alors calculer le pourcentage de surprise tel que défini par l'équation 3.2 (partie 2.4.2.1).

Évaluation du nombre de regroupements k et de la qualité des regroupements

Le nombre de regroupements considéré comme paramètre de l'algorithme *k-mean* varie entre les valeurs évoquées par de précédentes études. Il est exprimé au travers du rapport K/N ou N représente ici le nombre total de descriptions considéré et K le nombre de regroupements imposé. Beauregard (2015) évoque un nombre de surprises stable pour un rapport de 0.5. Tran (2017) évoque, pour son étude, un ratio optimal de 0.3. La présence de données descriptives labélisées nous permet d'évaluer la qualité des regroupements manière automatique. Le rapport du nombre de regroupements considéré comme des surprises par rapport au nombre total de regroupements valides nous donne la métrique de surprise recherchée. Cette dernière permet d'évaluer la performance de la gestion du risque d'un DP.

Résultats

Les expériences de détection par regroupements des surprises occurrentes lors du DP ont donnés les résultats présentés par les Tableau 3.5 et Tableau 3.6. Ils expriment respectivement l'application de la méthode développée sur 500 et 1 000 descriptions.

Tableau 3.6 Performance de la GR exprimée en termes de surprises détectées (1 000 descriptions)

K/N	Nombre de regroupements total	Nombre de regroupements valides	Qualité globale des regroupements (%)	Surprise (%)
0.2	200	32	16.00	68.75
0.3	300	108	36.00	49.07
0.35	350	142	40.57	50.70
0.4	400	212	53.00	48.59

Tableau 3.7 Performance de la GR exprimée en termes de surprises détectées (500 descriptions)

K/N	Nombre de regroupements total	Nombre de regroupements valides	Qualité globale des regroupements (%)	Surprise (%)
0.3	150	55	36.67	54.54
0.4	200	106	53.00	47.17
0.5	250	150	60.00	48.00
0.6	300	223	74.33	43.05
0.7	350	287	82.00	41.81

On remarque que pour $K/N = 0.4$, la qualité globale des regroupements est identique malgré la variation du nombre de descriptions.

3.3.2.3 Conclusion

Les méthodes de classifications et de regroupements de données illustrent des mesures possibles de la performance de la GR au sein du DP.

Les performances des modèles d'apprentissage basés sur les réseaux de neurones artificiels multicouches et k-nn montre un potentiel intéressant pour classifier de manière supervisée des descriptions textuelles. Le taux de mauvais classement en résultant peut donner une indication quant à la proportion de risques identifiés lors de la phase post-engagement de la GR.

La méthode de regroupement par *k-mean* des descriptions de GR permet de calculer la métrique de surprise tel que définie par Beauregard (2015). Au travers de cette dernière, il est donc possible d'évaluer la performance d'identifications des risques lors d'un DP.

3.4 Conclusion

La première étape de la méthode des sciences de la conception nous a permis d'établir l'état de l'art et les besoins des praticiens de la gestion du risque du secteur aéronautique. Elle établit un faible niveau de satisfaction adjoint d'un manque d'outil permettant une exécution orienté vers le traitement de données du processus de GR dans le DP. La surveillance et la communication inhérente au processus de GR est également une difficulté récurrente. Les outils et méthodes existants ne tirent pas parti des grandes quantités de données accumulées au sein des organisations. De plus, le manque de métriques de mesure de la performance en GR, adjoint à leur manque d'utilisation, ne favorisent pas l'amélioration de ce processus.

Fort de ces constatations, cette étude capitalise les besoins exprimés par les acteurs industriels ayant répondu au questionnaire pour concevoir un nouveau processus d'exécution de la GR. Les étapes d'identification et d'évaluation des risques ne sont plus seulement réalisées de manière discrète au long du DP. Elles sont maintenant réalisées au jour le jour en fonction de l'opulence des nouveaux risques du DP. De plus, ce dernier est orienté vers l'acquisition et le traitement en continu des risques au sein du DP. En effet, le registre de risque généré est maintenant dynamique et sa mise à jour n'est plus cantonnée à des révisions périodiques.

Les méthodes de classifications supervisées et de regroupement basé sur les descriptions de risques montrent l'application du traitement des données de GR au service de la mesure de sa performance. Ainsi, ce type d'exploitation permet de mesurer la performance d'identifications des risques entre la phase pré et post engagement d'un DP. Enfin, le lien entre la nécessité d'orienter le processus d'affaire de la GR vers l'acquisition pérenne, continue et homogène de données est mis en lumière par l'importance de la quantité et de la qualité de l'information exploitée.

CHAPITRE 4

VALIDATION, ANALYSE ET DISCUSSION

4.1 Validation

4.1.1 Processus d'évaluation de validité

Afin d'évaluer la pertinence du processus de GR développée et son potentiel, ce dernier est présenté de manière synthétique et adjointe d'un questionnaire d'évaluation. La diffusion de ces supports d'évaluation a été effectuée au travers d'un panel différent de celui utilisé lors de l'identification des besoins.

Structure du questionnaire

Le questionnaire se compose de cinq questions (*Voir* ANNEXE VIII, p. 153). Une première question vise à évaluer, sur une échelle de 1 à 5, le niveau de compréhension globale du processus de GR présenté. Il s'en suit une sous question ouverte, non requise, permettant aux répondants d'exprimer les difficultés qu'il a pu rencontrer. La seconde question évalue sur une échelle à 5 niveaux (très positif, positif, nul, négatif, très négatif) l'impact potentiel du processus présenté sur chacun des principes de gestion de risques évoqués dans la partie 1.2.2. La troisième question donne la possibilité aux répondants de sélectionner les étapes du processus de GR qui, selon lui, bénéficieront le plus de l'application de la solution proposée. Enfin, deux questions de type « oui ou non » visent à déterminer si les répondants voient un potentiel et une application viable du processus qui leur est présenté.

Objectifs

Le questionnaire a comme objectif de valider la pertinence de la solution développée au regard des éléments du processus de GR qu'elle vise d'améliorer :

1. La revue et le suivi des risques;
2. Réduire la latence d'identification des risques au cours du DP;
3. Être proactif quant à leurs traitements;

4. Être un support à l'exécution continue des outils d'apprentissage machine;
5. Supporter l'amélioration du processus de GR.

Enfin, il a vocation à mettre en avant la cohérence de la solution développée vis-à-vis des besoins établis dans la partie 3.1.5.

4.1.2 Résultats

La diffusion de ce questionnaire a été arrêtée, faute de temps, après 15 réponses. La Figure 4.1 illustre la répartition des répondants au travers de leur niveau de compréhension globale du processus qui leur est présenté.

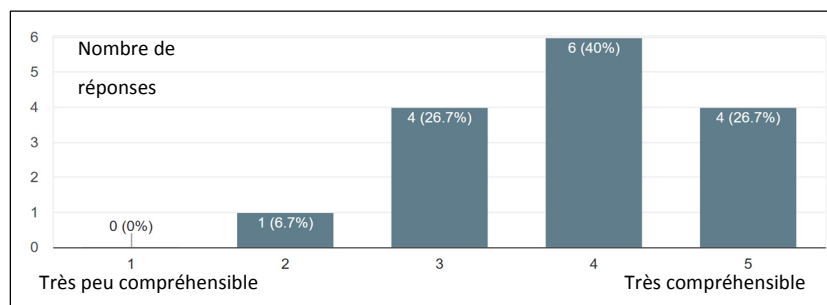


Figure 4.1 Niveaux de compréhension du processus développé

Deux remarques relatives au diagramme de la Figure 4.1 ont été renseignées dans le champ de commentaire :

1. Le cycle présent sur le diagramme devrait redémarrer sur l'équipe de développement produit;
2. Les exécutifs devraient être représentés dans l'équipe de développement produit.

La Figure 4.2 montre, aux yeux des répondants, quelles étapes du processus bénéficieraient le plus de l'implémentation du processus d'intégration continue de la GR et de l'apprentissage machine au service de la GR.

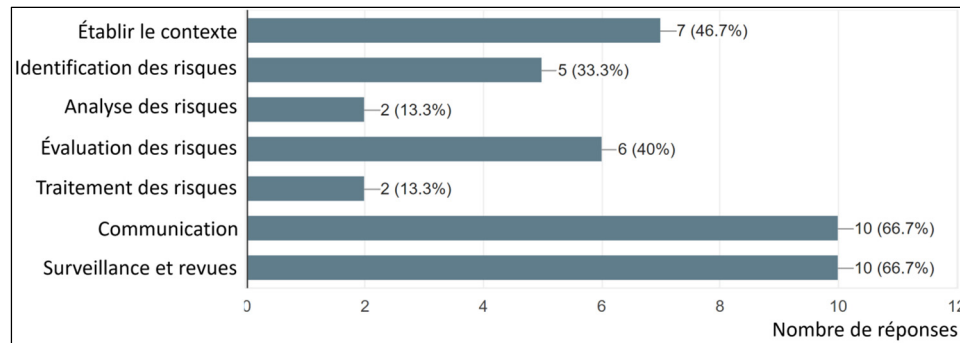


Figure 4.2 Étapes du processus de GR bénéficiant le plus de l'apport du processus développé

On note que les étapes d'établissement, de communication et de surveillance semblent, aux yeux du panel, bénéficier le plus des améliorations proposées par le processus développé.

Les besoins mis en lumière dans la partie 3.1.5 sont mis en parallèle, dans la Figure 4.3, avec l'impact potentiel du processus présenté aux répondants. Dans cette figure, on retrouve le nombre cumulé de sélections faites (sur l'échelle d'impact) réparti par principe de GR. Sur la partie de droite est indiquée l'importance relative de chacun des besoins tels que définis dans la partie 3.1.5.

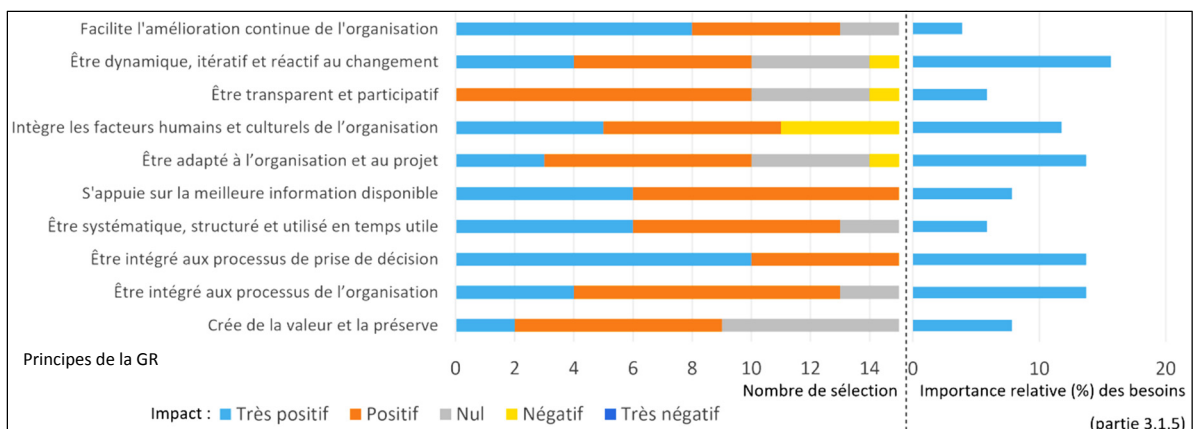


Figure 4.3 Impacts exprimés au regard du processus développé sur les principes du GR face à l'importance relative des besoins exprimés

Enfin, 100% des répondants pensent que l'apprentissage machine au service de l'évaluation des risques améliorerait leurs pratiques actuelles de GR. 86.7% d'entre eux s'expriment de manière favorable à la viabilité d'application du processus d'intégration continue de la GR tel que présenté en préambule du questionnaire.

4.1.3 Conclusion

L'évaluation du processus développé vient répondre à l'avant-dernière étape de l'étude face au processus de la science de la conception (partie 2.1.2). Malgré les limites de cette évaluation (évoqué ensuite dans la partie 4.3), elle nous permet d'appuyer, au travers d'une évaluation, la validité des artéfacts développés. On notera la bonne compréhension globale du processus présenté. Les deux remarques apportées étaient pertinentes et le diagramme de la Figure 3.15 s'est vu édité en conséquence. La surveillance et la revue des risques avaient été établies comme l'étape pour laquelle les praticiens de la GR éprouvent le plus de difficulté. Cette étape se trouve être l'une des étapes pouvant bénéficier de l'apport du nouveau processus développé (Voir Figure 4.2). La mise en parallèle des principes de la gestion du risque impactés positivement par le processus de GR développé illustre l'amélioration potentielle induite par celui-ci. Enfin, les réponses positives apportées aux deux questions finales appuient la pertinence de l'étude réalisée.

4.2 Contributions de la recherche

Évoqué comme l'un des requis de la stratégie des sciences de la conception (partie 2.1.1), ce travail de recherche offre, au travers de ses livrables, deux axes de contribution.

La première contribution de cette étude se matérialise par les résultats du sondage effectué pour identifier la satisfaction, les manques et les besoins en termes de GR et de ses processus. L'apport de ces résultats se matérialise par l'orientation du questionnaire, et donc des réponses obtenues, vers les lacunes du processus de GR tel qu'il existe aujourd'hui. De plus, l'expression des besoins faite par les répondants permet d'axer le développement de futures solutions répondant à des problématiques concrètes d'exécution du processus de GR au sein

des organisations ciblées. Effectués auprès des acteurs de l'industrie aéronautique, ces résultats dressent un portrait actuel et spécifique au secteur. Ces résultats ont une vocation double :

1. Servir la recherche en donnant un état de l'art de l'utilisation et de l'application de la gestion du risque au travers du développement produit d'un secteur où les retards et les surcoûts sont monnaie courante;
2. Servir l'industrie manufacturière de systèmes complexes tels que les avionneurs en leur permettant d'exposer les défauts qu'ils observent en pratique dans l'application des normes et standard fourni par la littérature et les standards internationaux.

Ces deux objectifs se complètent donc, car il est important de rapprocher les attentes des industriels et les développements faits dans les travaux de recherches.

Cette étude établit, grâce à l'analyse des résultats de ce sondage, une liste de spécifications et de besoins relatifs au processus de GR et son exécution au sein du DP. Au travers de ces derniers et en suivant les étapes définies par la science de la conception, cette étude propose un processus amélioré de l'exécution de la GR au sein du DP. Par l'intégration continue de l'exécution des étapes de la GR au sein du DP, les étapes d'identification et d'évaluation des risques ne sont plus seulement réalisées de manière discrète au long du DP. Elles sont maintenant réalisées au jour le jour en fonction de l'opulence des nouveaux risques du DP. Le registre de risque généré est maintenant dynamique et sa mise à jour n'est plus cantonnée à des révisions périodiques. Ce processus permet aux outils d'apprentissages machine, non présents aujourd'hui dans les normes de GR, de mieux exploiter le potentiel des données qu'il génère.

La conception de méthodes de classifications des descriptions de risque automatisé. Elle permet de déterminer si un risque nouvellement identifié se rapporte, ou non, à un risque déjà existant dans la base de données des risques. De même elle permet de savoir si ce même risque a déjà été identifié dans le cycle du DP considéré.

En parallèle de la rédaction de ce mémoire, deux articles sujets à présentation dans des conférences ont été rédigés sous la supervision du directeur de cette recherche :

1. « Influence de la Gestion du Risque dans le Processus de Développement Produit en Aéronautique » - 11e Conférence Francophone d'Optimisation et Simulation-MOSIM'16 : L'innovation technologique au service des systèmes : défis et opportunités - Montréal, Québec, Canada, 2016 (*Voir* ANNEXE XII, p. 165);
2. « Identification of Risk Factors and Influences on Aeronautical Product Development Performance » - Proceedings of the American Society for Engineering Management 2017 International Annual Conference - 2017 (*Voir* ANNEXE XIII, p. 175).

L'évaluation et l'acceptation de ces deux articles surlignent la contribution de l'étude aux domaines de recherche traités.

4.3 Limitations et validité de l'étude

Limitations du processus d'intégration continue de la GR au sein du DP

La première limitation du processus conçu est sous-jacente à la nature même de son développement. En effet, l'observation faite ici au travers d'un questionnaire et de discussions, ne peut être complète et par conséquent l'induction qui s'en suit ne garantit pas la véracité de ses énoncés généraux.

Le sondage réalisé auprès des acteurs du secteur aéronautique (partie 3.1) a été arrêté après 20 réponses sur les bases d'un critère de saturation empirique. Le nombre de réponses ne permet pas de faire des estimations statistiques de la population visée. Néanmoins, les réponses obtenues et leur analyse qualitative suffisent à répondre aux objectifs fixés par l'étude.

L'implantation du processus décrit dans cette étude n'a pas été complétée dans un contexte industriel réel de DP. Son implantation et l'effort y étant relié ne sont ici pas caractérisés. Cependant, la plupart du temps (partie 3.1.2), les processus de GR sont déjà en place dans les entreprises. Des ressources y sont donc déjà allouées et l'évolution proposée ici pourrait donc être implémentée en les utilisant.

L'évaluation du processus développé, ici faite au travers d'un sondage et d'une analyse qualitative de ses résultats (partie 4.1), est une limite de cette étude. En effet, le panel de diffusion de ce sondage n'a pas été défini précisément et la diffusion a été stoppée arbitrairement.

Le développement du processus est resté à haut niveau. Une limite réside donc dans le manque potentiel de détail au regard de l'exécution de chacune des étapes décrits par ISO 31000. Enfin, cette étude se limite à une seule norme de GR. Cette dernière est cependant largement utilisée et reste représentative de la GR tel qu'évoqué par d'autres normes.

Limitations des expériences d'apprentissage machine

Les expériences de classification et de regroupements présentées dans cette étude ont été réalisées sur une base de données pour lesquelles les descriptions et les catégories ne correspondent pas à de réels risques occurrents lors d'un DP.

La performance des modèles de classification supervisés dépend de la qualité de leur apprentissage. La correspondance entre les descriptions et leurs catégories respectives est dans cette étude supposée parfaite. Une limite résulte donc dans l'application réelle de l'apprentissage machine supervisée. En effet, la fiabilité des modèles peut être impactée négativement si des correspondances entre les descriptions de risque et les champs les caractérisant sont erronés. Les résultats exposent une preuve de concept de classification basé sur des descriptions textuelles. La performance incertaine de leurs applications sur un nombre plus grand de caractéristiques est une limite des résultats présentés. De plus, le rapport entre mauvais classement des descriptions et performance du processus de GR n'est pas prouvé.

La qualité des regroupements résultant de l'application de la méthode *k-mean* et servant au calcul du taux de surprise est effectué de manière automatique. Or, dans un contexte réel, les données descriptives de risques ne sont pas forcément classées et une évaluation manuelle des regroupements peut être nécessaire. Le pourcentage de regroupements valide observé lors des expériences de cette étude est également une limite. Enfin, la répartition des échantillonnages

telle que définie dans la méthode de regroupement (partie 3.2.2.3) est réalisée de manière arbitraire.

Les méthodes de classification et de regroupement visant à mesurer la performance de la GR ont été implémentées au travers du logiciel RapidMiner[®]. Ce logiciel limite l'intégration des résultats avec d'autres plateformes et les interactions avec un utilisateur novice. Cependant ces méthodes sont transposables dans d'autres langages de programmation (ex : Scala, R, Python, etc.).

La fidélité des données récoltées

Les données récoltées au travers du sondage n'ont pas été analysées par un expert externe à l'étude pour vérifier la fidélité de l'interprétation faite de celle-ci. C'est une des limites de cette étude. Cependant, elle peut être nuancée par le consensus existant entre certaines réponses apportées à notre sondage et les résultats d'audits effectués par de grandes sociétés sur un panel de secteurs industriels plus large. Pour assurer la validité des questions liées à une échelle comportant cinq niveaux, l'ordre des choix se trouve changé à chaque question. Dans un même souci d'augmenter la validité des réponses récoltées, les réponses aux questions à choix multiples apparaissent dans un ordre aléatoire. Pour les questions nécessitant quelques phrases de réponses, il est facile de déterminer lesquelles sont pertinentes et valides. En clôture de ce sondage, les participants peuvent demander de recevoir les résultats. Enfin, les deux vagues de réponse et leur comparaison (*Voir* Figure 4.1) appuient la cohérence des résultats obtenus.

Validité externe de l'étude

Même si le panel des répondants exprimant les manques et les besoins au regard de leurs pratiques de GR est consistant, il est évident que toutes les entreprises effectuant des DP ne rencontrent pas les mêmes problèmes ou n'appliquent pas les mêmes processus. Ce point est une des limites de la validité externe de cette recherche.

La transférabilité de l'étude

Tout d'abord, la diversité des acteurs de l'industrie aéronautique interrogée et le nombre de répondants assure la véracité des conclusions tirées. La transférabilité de l'étude, des manques et besoins relevés, aux industriels du secteur aéronautique est donc assurée. Le processus d'intégration continue et l'outil conçu pour le supporter a été développé et décrit de telle sorte que son application s'extrait du secteur d'activité ciblé par le sondage. Cela permet d'assurer la transférabilité des artefacts pour les futures études.

4.4 Recommandations en vue de futurs travaux

Il serait intéressant d'étendre la portée du sondage d'identification et d'évaluation des manques et besoins en l'effectuant, de manière ciblée, sur une ou plusieurs organisations servant cas d'étude. Cela permettrait, par exemple, d'obtenir le niveau de satisfaction et les besoins de chaque répondant, différenciable par leurs rôles dans l'organisation, en termes de processus de gestion des risques et des résultats qu'ils en escomptent.

L'étape d'implantation des artefacts développés dans une industrie a seulement été évoquée dans cette étude. Afin d'assurer la pérennité du processus présenté ici, il serait utile d'y adjoindre un processus d'implantation et de validation associé à un cas d'étude. Au travers de retours d'expérience, la nature itérative des sciences de la conception assurera la continuité méthodologique des futures études. Ces dernières justifieront des amendements aux artefacts initialement conçus.

Les méthodes d'apprentissages supervisés expérimentées dans cette étude doivent être portées sur des données réelles de GR afin d'en confirmer leurs performances. Des travaux similaires de classification doivent être réalisés sur les autres attributs caractérisant un risque. À terme, ils permettront de tirer entièrement parti de l'évaluation des risques passés pour aider à caractériser les futurs. Ainsi, des expériences de classification de risque caractérisées par de multiples attributs doivent être entreprises afin de déterminer quelles méthodes sont les plus performantes.

L'application de la méthode de regroupements utilisée pour mesurer la performance d'identification des risques au sein du DP nécessite d'être réalisé sur d'autres cas, notamment sur des bases de données de risques. Cela afin d'en valider les avantages, les inconvénients et les limitations. De plus, dans le cas de données de réelles, le taux de surprise peut être mis en relation avec les dépassements potentiels de coût occurrent lors du DP (Beauregard, 2015).

Le regroupement des descriptions textuelles grâce à l'apprentissage machine doit être l'objet d'une étude approfondie. En effet, de nombreuses applications d'algorithme n'ont pas été explorées. Un algorithme de classification appelé DBSCAN permettrait par exemple de s'affranchir de la détermination du nombre de regroupements (Huang, 2008; Malhotra & Bajaj, 2016).

La gestion de la connaissance au sein des organisations est un sujet connexe à cette étude. En effet, les données générées et l'information qu'elles peuvent contenir sont capitales pour assurer la performance des modèles exposés. Ainsi, une étude approfondie autour de la gestion de la connaissance relative aux risques au sein d'organisation servant de cas d'étude pourrait bénéficier aux problématiques de pérennisation des données.

CONCLUSION

La qualité d'exécution du développement de produits d'ingénierie dépend fortement des nombreux processus de gestion interdépendants qu'elle regroupe. Le but principal de tout projet d'ingénierie est de produire un résultat conduisant à la satisfaction du client dans les délais et les coûts budgétés prévus. La gestion des risques et les processus y étant associés permettent de définir la variation des résultats au regard des attentes initiales. Sa bonne exécution aide donc à atténuer le risque et ses conséquences négatives, maximisant ainsi la probabilité que les résultats soient cohérents ou même meilleurs que les valeurs ciblées. Dans ce cadre, les objectifs de l'étude étaient triples. Elle visait, en premier, à comprendre la satisfaction et les besoins des utilisateurs de la GR dans le DP aéronautique. Puis, au travers de l'analyse de ses besoins, de concevoir un processus améliorant l'exécution de la GR. Enfin, d'exploiter les données générées lors de l'exécution de ce processus en vue de l'amélioration de sa performance.

Le cadre de recherche proposé par les sciences de la conception permet à cette étude d'identifier et de répondre aux préoccupations concrètes des praticiens tout en apportant à la recherche de nouvelles perspectives d'études. Au travers du sondage montrant l'insatisfaction des utilisateurs de la GR dans le secteur aérospatial, cette étude propose un processus amélioré d'exécution de la GR dans le DP. La conception de ce processus a été réalisée dans l'objectif de répondre aux causes de cette insatisfaction.

Le processus d'exécution en continu de la GR proposé par cette étude permet l'exploitation des données générées par ce processus. Il vient donc ajouter un outil non présent aujourd'hui dans les nomos utilisés. Part l'apport du potentiel de l'apprentissage machine, le processus conçu rend ainsi la GR plus dynamique et collaboratif. Enfin, l'exploitation de ses données pâlit l'incapacité humaine à traiter manuellement la quantité d'informations générées tout au long d'un DP.

Cette étude ouvre de futures recherches conduisant à la mise en place de nouveaux outils spécifiquement conçus pour le traitement continu des données de la GR au sein du DP. C'est un vecteur potentiel d'amélioration de sa performance et des supports nécessaires à la prise de décision.

Contributions de la recherche

Les contributions suivantes sont apportées par cette recherche :

1. La mise en lumière du niveau de satisfaction, des manques et des besoins inhérents à l'exécution du processus de gestion du risque au sein du développement de produits aéronautiques;
3. La conception d'un processus d'exécution de gestion du risque orienté vers l'acquisition et l'exploitation des données. Ce processus permet aux outils d'apprentissages machine, non présents aujourd'hui dans les normes de GR, de mieux exploiter le potentiel des données qu'il génère. Les étapes d'identification et d'évaluation des risques ne sont plus seulement réalisées de manière discrète au long du DP. Elles sont maintenant réalisées au jour le jour en fonction de l'opulence des nouveaux risques du DP : le registre de risque généré est maintenant unique et dynamique;
2. L'implémentation et l'application de la méthode, développée par Beauregard (2015), visant à mesurer la performance d'identification des risques au travers de la métrique de « surprise ».

Limitations de la recherche

Voici les points relevés comme étant des limitations de cette recherche :

1. L'observation d'une réalité, faite ici au travers d'un questionnaire et de discussions, ne peut être complète et par conséquent l'induction qui l'en suit ne garantit pas la véracité de ses énoncés généraux;
2. Le sondage réalisé auprès des acteurs du secteur aéronautique a été arrêté après 20 réponses sur les bases d'un critère de saturation empirique. Le nombre de réponses ne permet pas de faire des estimations statistiques de la population visée;

3. L'implantation du processus décrit dans cette étude n'a pas été complétée dans un contexte industriel réel de DP. Son implantation et l'effort y étant relié ne sont ici pas caractérisés;
4. L'évaluation du processus développé est faite au travers d'un sondage et d'une analyse qualitative de ses résultats;
5. Le développement du processus est resté à haut niveau. Une limite réside donc dans le manque potentiel de détail au regard de l'exécution de chacune des étapes définies par ISO 31000;
6. Cette étude se limite à une seule norme de GR;
7. Les expériences de classification et de regroupements présentées dans cette étude ont été réalisées sur une base de données pour lesquels les descriptions et les catégories ne correspondent pas à de réels risques occurrents lors d'un DP;
8. Le rapport entre mauvais classements des descriptions et performance du processus de GR n'est pas prouvé;
9. La qualité des regroupements résultant de l'application de la méthode *k-mean* et servant au calcul du taux de surprise est effectué de manière automatique et parfaite. Or, dans un contexte réel, les données descriptives de risques ne sont pas forcément classées et une évaluation manuelle des regroupements peut être nécessaire. Le pourcentage de regroupements valide observé lors des expériences de cette étude est également une limite. La répartition des échantillonnages des données post et pré engagement, telle que définie dans la méthode de regroupement, est réalisée de manière arbitraire;
10. Les méthodes de classification et de regroupement visant à mesurer la performance de la GR ont été implémentées au travers du logiciel RapidMiner®, ce qui limite l'intégration des résultats avec d'autres plateformes.

Recommandations en vue de futurs travaux

Les recommandations proposées par cette étude sont les suivantes :

1. Étendre la portée du sondage d'identification et d'évaluation des manques et besoins en l'effectuant, de manière ciblée, sur une ou plusieurs organisations servant cas d'étude;

2. Adjoindre un processus d'implantation et de validation eu sein d'une ou plusieurs organisations des artéfacts développés;
3. Implémenter les artéfacts développés dans une industrie;
4. Porter les méthodes d'apprentissages supervisés expérimentées dans cette étude sur des données réelles de GR afin d'en confirmer leurs performances;
5. Appliquer de la méthode de regroupements utilisée pour mesurer la performance de l'identification des risques au sein du DP sur d'autres cas, notamment sur des bases de données de risques;
6. Mettre en relation le taux de surprise avec les dépassements potentiels de coût occurrent lors du DP (Beauregard, 2015);
7. Approfondir l'étude des méthodes de regroupement appliquées aux données textuelles. Un algorithme de classification appelé DBSCAN permettrait par exemple de s'affranchir de la détermination du nombre de regroupements;
8. Étudier la gestion de la connaissance relative aux risques au sein d'organisation servant de cas d'étude pour apporter de meilleures réponses aux problématiques de pérennisation des données.

ANNEXE I

MÉTHODES D'ÉVALUATION DU PROCESSUS DE GESTION DE RISQUE

Tableau-A I-1 Méthodes d'évaluation du processus de GR

Adapté de Kloss-Grote et Moss (2008)

Limitations	Résultats	Indicateur	Industrie/Contexte	Auteurs
Seulement applicable lors de l'implémentation de la gestion du risque	Une métrique qualitative sous forme de liste de contrôle	Risk Management Maturity Index (RMMI)	Implémentation du processus de la gestion du risque dans des projets industriels	(Olsson, 2006)
Evaluation subjective de l'influence de l'usage de la gestion du risque sur le succès d'un projet mais pas de mesure de performance Affirmation subjective sur la performance de la gestion du risque	Sondage quantitatif subjectif de gestionnaires de projets Entrevues qualitatives sur l'implémentation du processus de gestion du risque Sondage quantitatif et entrevues qualitatives sur le processus de gestion du risque en général	Pas d'indicateur	100 projets de différentes industries en Israël Industrie du développement de logiciel	(Raz et al. 2002), (Elkington et Smallman, 2002), (Kontio et al., 1998) (Freimut et al., 2001) et (Padayachee, 2002)
Indicateur basé sur des affirmations subjectives	Sondage quantitatif mène vers une affirmation objective de la performance du PGR	Risk performance measure (RPM)	Industrie du logiciel	(Ropponen et Lyytinen, 1997)
Seulement applicable lors de l'identification artificiel de risque	Une métrique objective et quantitative pour la performance du processus d'identification de risques	Risk identification performance (RIP)	Industrie de la construction	(Maytorena et al., 2007)
Métriques seulement applicables dans ce contexte spécifique et artificiel Métriques qui ne se concentre que sur le début du projet	Quelques métriques objectives et quantitatives (ex : mesure temps-effort) et entrevues avec des réponses qualitatives pour un projet spécifique	Risk coverage ratio (RCR) Risk controlling action accuracy ratio (RCAAR)	Industrie du développement de logiciel	(Kontio et al., 1996) et (Kontio et Basili, 1997)
Efficience de l'étape d'identification seulement	Une métrique objective et quantitative pour la performance du processus d'identification de risques	Risk Management Performance index (RMPI)	Industrie avec des programmes multidisciplinaires (projets de conception par exemple)	(Anil et al., 2004)
Seulement applicable pour les GR de catastrophe	25 métriques couvrant le PGR de catastrophe	Risk Management Index (RMI)	Gestion du risque de catastrophe	(Cardona, 2005) et (Carreno et Al., 2007)
Pas de limitations mais la méthode peut être plus détaillées	Métriques objectives et quantitative de performance pour 4 domaines : identification de risques, réponse aux risques, le caractère prévisible et les coûts	Risk and Issue Reconciliation Register (RIRR)	Industrie du développement de solutions de transport	(Olsson, 2006)
Seulement applicable pour l'identification de risque et méthode non détaillée	Une métrique objective et quantitative pour la performance du processus d'identification de risques	Surprise	3 projets dans l'industrie aéronautique	(Beauregard, 2015)

ANNEXE II

QUESTIONNAIRE D'IDENTIFICATION DES BESOINS

Risk management practices and needs

This 16 questions survey is part of my research project. It aims to know the state of the art of risk management processes and their use in industry. It will also help us define the expectations and needs of industry in terms of improvement of these processes.

I thank you in advance for your answer and your time.

Confidentiality statement: You may be assured of complete confidentiality. Your email address will be stored only to track survey completion and, with your agreement, to contact you for further information. Only aggregate data will be reported and no individuals will be identified.

Pierre Bonzel,
Aerospace engineering masters student at ETS Montreal.

1. What industry does your company or organization operate in? *

- ☐ Defense
- ☐ Space
- ☐ Aviation
- ☐ Automotive
- ☐ Consumer goods
- ☐ Medical technology & devices
- ☐ Another manufacturing
- ☐ Oil, gas & other processes
- ☐ Telecom & network
- ☐ Construction
- ☐ Software & IT Services
- ☐ Finance
- ☐ Other...

2. What area best describes your role during product development? *

- ☐ Program management
- ☐ Executive
- ☐ Engineering
- ☐ Marketing
- ☐ Operations
- ☐ Finance
- ☐ Other...

3. In your organization, do you follow any standards or guidelines relatives to risk management and its framework? If so, which one(s)? *

- ☐ None
- ☐ ISO 31000:2009
- ☐ PMI
- ☐ NASA
- ☐ DOD (Department of Defense)
- ☐ SEI (Software Engineering Institute)
- ☐ INCOSE (International Council on System Engineering)
- ☐ COSO:2004
- ☐ BS 31100:2011/2008
- ☐ FERMA:2002
- ☐ OCEG "Red Book" 2.0: 2009
- ☐ SOLVENCY II
- ☐ BASEL II
- ☐ Other...

4. Globally, are you satisfied with your current guidelines and methods? *

Very dissatisfied Dissatisfied OK Satisfied Very satisfied

Your satisfaction ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

5. Feel free to explain or detail your current satisfaction:

Long answer text

6. According to you, what is the main goal of your risk management process? *

Short answer text

7. According to you, which of the following risk management "stage" is the most problematic or most difficult to implement in your organization? *

- ☐ Establishing the context
- ☐ Assessment (identification, analysis, evaluation)
- ☐ Monitoring and review
- ☐ Communication and consultation
- ☐ Other...

7.1. Could you tell us why? *

Long answer text

8. In your organization, do you follow any standards or guidelines relatives to the product development process? If so, which one(s)? *

- ☐ None
- ☐ Stage Gate (TM)
- ☐ Knowledge Based Engineering (KBE)
- ☐ Product Development Value Stream Mapping (PDVSM)
- ☐ Other...

9. What would be your needs in terms of risk management process and tools improvements? *

Long answer text

10. Is risk review included in your product development process? *

☐ Yes

☐ No

10.1. If so, at which frequency does it occur?

Short answer text

11. Do lessons learned from past product developments are used to improve processes of the new one?

☐ Yes

☐ No

12. Are historical risk data from past similar product developments used as the basis of new one's risk process?

☐ Yes

☐ No

13. What would be your needs in terms of lesson learned and historical data extraction to support risk management process's improvement? *

Short answer text

14. Does your product development management tool include risk data? *

☐ Yes

☐ No

15. Would you be interested in more integration of risk in your decision-making process? *

☐ Yes

☐ No

16. Is the risk management process's performance measured in your organization? *

☐ Yes

☐ No

16.1. If so, on which metrics is the performance assessment based?

Long answer text

section 1 Continue to next section

Section 2 of 2

Results, contact informations and future

Description (optional)

If you are interested by the results of this survey, I will be pleased to send it to you. For this purpose, and only this one, please fill-in the following field with your e-mail:

Short answer text

To pursue my research and the development of a risk assessment tool, I am planning to conduct more in-depth interviews. Please indicate whether you like to be contacted for this purpose?

☐ Yes

☐ No

ANNEXE III

MESSAGES DE PRÉSENTATION UTILISÉS LORS DE LA DIFFUSION DU SONDAGE

Bonjour,

Je suis étudiant à la maîtrise en génie aérospatial à l'ÉTS Montréal et j'écris mon mémoire sur la gestion des risques et son impact sur la performance du développement de produits aéronautiques.

Cette étude est soutenue par le CRIAQ («Consortium de Recherche et d'Innovation en Aérospatiale du Québec») et financée par le CRSNG («Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie»).

Cette étude vise à dresser un tableau de l'état de la gestion du risque dans le développement de produits aéronautiques, notamment au niveau de la satisfaction des industriels, et des mesures de performance employées. Il s'agit également de comprendre jusqu'à quel point une bonne performance en gestion du risque est garante d'une bonne performance en développement de produits selon les industriels sondés.

Pour répondre au mandat de mon étude, je cherche donc à diffuser auprès des industriels de l'aéronautique, le court sondage que j'ai construit (5 minutes pour y répondre).

En voici le lien (Google Form) : <https://goo.gl/forms/YVgjsc7VbtpNcO0L2>

Comme décrit dans son introduction, ce sondage est totalement anonyme et ne vise pas à connaître en détail les processus internes des répondants. Les données récoltées sont et resteront en tout temps anonymes et ne visent aucunement à identifier une entreprise. Il s'agit plutôt d'obtenir une évaluation d'un plus haut niveau de l'implantation des processus de gestion de risques au sein de l'industrie aéronautique.

Pensez-vous pouvoir remplir ce questionnaire ou le transmettre à la personne de votre organisation la plus à même d'y répondre ?

Votre réponse compte, et c'est seulement au travers de celles-ci que je serais capable de mener de manière exhaustive mon étude.

Je vous remercie d'avance pour votre collaboration et votre temps. Je reste à votre entière disposition pour toutes informations supplémentaires.

Je vous souhaite une bonne journée.

Cordialement,
Pierre Bonzel.

Hello,

I am a master's student in aerospace engineering at ÉTS Montréal and I write my thesis on risk management and its impact on aeronautical products development performances.

This study is supported by the CRIAQ ("Consortium of Research and Innovation in Aerospace of Quebec") and funded by NSERC ("Natural Sciences and Engineering Research Council").

The purpose of this study is to provide a picture of the state of risk management in the development of aeronautical products, notably in terms of its industrial satisfaction and performance measures. Across industry surveyed, it will lead to understand the correlation between performances in risk management and good performances in product developments.

To fulfill my study's objectives, I need to spread to aeronautical manufacturers the short survey I made (5 minutes to answer).

Here is the link (Google Form): <https://goo.gl/forms/YVgjsc7VbtpNcOOL2>

Can you fill out this form or send it to the person of your organization that is in the best position to answer?

As described in its introduction, this survey is completely anonymous and does not attempt to know in detail the respondents' internal processes. The data collected are and will at all times remain anonymous and are not intended to identify a company. Rather, it is a question of obtaining a high-level assessment of the implementation of risk management processes within the aeronautical industry.

Your answer counts and it is only through those that I would be able to carry out my study exhaustively.

I thank you in advance for your cooperation and your time. I remain at your disposal for any additional information.

I wish you a good day.

Regard,
Pierre Bonzel

ANNEXE IV

LISTE DES MEMBRES DU CRIAQ ET CARIC SUJET À LA DIFFUSION

Tableau-A VII-1 Nom des membres du CRIAC et CARIQ sujet à la diffusion du sondage

Coriolis Composites Canada	Creaform
CMC Électronique inc.	CS Communication & Systèmes Canada Inc.
CAE inc.	Delastek inc.
AéroMontréal	Dema Aéronautique inc.
Bell Helicopter Textron Canada	ELECTRO-KUT Inc.
Elasto Proxy Inc.	Elisen & associés inc.
Edmit Industries Inc.	Exonetik
Bombardier Aéronautique	Fusia impression 3D metal Inc.
Pratt & Whitney Canada	GlobVision Inc.
3M Canada	Groupe Meloche
GE Aviation	Hutchinson Aerospace & Industry
Héroux-Devtek Inc.	JMJ Aéronautique
L-3 MAS	Laflamme Aero
Thales Canada Inc.	Les Instruments d'optique St-Laurent
Turbomeca Canada	MagChem Inc. d.b.a Socomore
3DSémantix	Marinvent Corporation
Abipa Canada Inc.	Mesotec inc.
Advanced Powders & Coatings	Messier-Dowty Inc.
Aéroports de Montréal	Nétur Inc.
Aerosystems International	NGC International Inc.
APN	OPAL-RT Technologies inc.
ATEM Canada	Plasmionique
Avior Produits Intégrés inc.	Presagis
Binarieslid Ltée	Roy Aéronef & Avionique Simulation Inc.
Conception Génik Inc.	RTI CLARO, Inc.
TEKNA Systèmes Plasma inc.	Sinters
Texonic Inc.	Solutions Isonéo Inc.
Transtronic inc.	Sonaca Montreal
Vigilant Global	Techniprodec

ANNEXE V

RÉPONSES BRUTES AU QUESTIONNAIRE D'IDENTIFICATION DES BESOINS

Timestamp

1. Wed Oct 26 2016 13:34:04 GMT-0400 (EDT)
2. Thu Nov 17 2016 13:02:19 GMT-0500 (EST)
3. Thu Nov 17 2016 18:25:48 GMT-0500 (EST)
4. Thu Nov 17 2016 21:48:26 GMT-0500 (EST)
5. Sat Nov 19 2016 20:54:14 GMT-0500 (EST)
6. Thu Dec 01 2016 19:17:32 GMT-0500 (EST)
7. Fri Dec 02 2016 20:46:56 GMT-0500 (EST)
8. Mon Dec 12 2016 08:04:17 GMT-0500 (EST)
9. Mon Dec 12 2016 19:56:05 GMT-0500 (EST)
10. Tue Dec 20 2016 22:07:16 GMT-0500 (EST)
11. Tue Dec 27 2016 21:11:37 GMT-0500 (EST)
12. Wed Apr 05 2017 11:57:15 GMT-0400 (EDT)
13. Wed Apr 05 2017 15:43:35 GMT-0400 (EDT)
14. Mon Apr 10 2017 15:45:12 GMT-0400 (EDT)
15. Wed Apr 12 2017 09:51:45 GMT-0400 (EDT)
16. Wed Apr 12 2017 16:30:27 GMT-0400 (EDT)
17. Wed Apr 12 2017 16:38:56 GMT-0400 (EDT)
18. Fri Apr 14 2017 09:08:18 GMT-0400 (EDT)
19. Thu Apr 20 2017 22:39:34 GMT-0400 (EDT)
20. Wed Apr 26 2017 08:09:26 GMT-0400 (EDT)

1. What industry does your company or organization operate in?

1. Education
2. Aviation
3. Construction
4. Finance
5. Defense, Space, Aviation
6. Other manufacturing
7. Other manufacturing
8. Software & IT Services
9. Events Management
10. Oil, gas & other processes, Utilities

11. Construction
12. Aviation
13. Aviation
14. Aviation
15. Defense, Space, Aviation, Automotive, Real-Time simulation for Power systems
16. Aviation, Automotive
17. Defense, Aviation, Automotive, Medical technology & devices
18. Defense
19. Aviation
20. Space

2. What area best describes your role during product development?

1. Research
2. Operations
3. Program management
4. Operations
5. Finance
6. Executive
7. Engineering
8. Program management
9. Program management
10. Engineering
11. Executive
12. Engineering
13. Engineering
14. Operations
15. Engineering
16. Program management
17. Engineering
18. Sustainability planning
19. Engineering
20. Engineering

3. In your organization, do you follow any standards or guidelines relatives to risk management and its framework? If so, which one(s)?

1. None
2. ISO 31000:2009
3. None

4. BASEL II
5. PMI
6. None, COSO:2004, FERMA:2002, OCEG “Red Book” 2.0: 2009, BASEL II
7. None
8. ISO 31000:2009
9. None
10. None
11. COSO:2004
12. PMI, NASA, DOD (Department of Defense), SEI (Software Engineering Institute), INCOSE (International Council on System Engineering), Internal processes and tools
13. None
14. PMI, EN9100 revision 2016
15. ISO 9001-2015
16. None
17. None
18. PMI, DOD (Department of Defense), DHS
19. None
20. ISO 31000:2009, NASA, SEI (Software Engineering Institute)

4. Globally, are you satisfied with your current guidelines and methods? [Your satisfaction]

1. Very dissatisfied
2. Dissatisfied
3. Dissatisfied
4. Dissatisfied
5. Dissatisfied
6. OK
7. Satisfied
8. Satisfied
9. Dissatisfied
10. OK
11. Dissatisfied
12. OK
13. Dissatisfied
14. Satisfied
15. OK
16. OK
17. OK

- 18. OK
- 19. Satisfied
- 20. Satisfied

5. Feel free to explain or detail your current satisfaction:

- 1. Ne peux fournir d'information pour d'autres départements
- 2. N/A
- 3. Lack of definitions, terminology and process guidelines
- 4. N/A
- 5. N/A
- 6. N/A
- 7. N/A
- 8. It is good to have guidelines, not rules, because flexibility is important.
- 9. We do trial and error method. Since, the market is dynamic, even the methods that were successful cannot be employed continuously.
- 10. N/A
- 11. No adequate mechanism for practionals
- 12. N/A
- 13. N/A
- 14. Cover EN9100 objectives - Good efficiency in term of results on Project efficiency
- 15. ISO isn't too binding. It focusses on finding solution, not only writing reports on why we didn't do it.
- 16. N/A
- 17. N/A
- 18. I'm not concerned with the method, I'm concerned that people don't utilize risk management processes enough nor do they receive enough education on risk management.
- 19. N/A
- 20. N/A

6. According to you, what is the main goal of your risk management process?

- 12. To predict cost and schedule
- 13. Reduce schedule, cost and quality exposure to events (risks) that can be avoided or have their impacts mitigated
- 14. Achieve project quality, schedule and performance and customer satisfaction objectives
- 15. Mitigating them before they incur.
- 16. N/A
- 17. Know in advance what could result of a given development project
- 18. To reduce or eliminate negative impacts to the project and increase awareness of opportunities. These drives down costs if practiced appropriately.

19. N/A

20. Eliminate risk from scope and schedule creep.

7. According to you, which of the following risk management "stage" is the most problematic or most difficult to implement in your organization?

1. Planning and designing, Implementing and benchmarking, Measuring and monitoring, Learning and reporting
2. Planning and designing, Measuring and monitoring
3. Implementing and benchmarking
4. Measuring and monitoring
5. Planning and designing, Learning and reporting
6. Planning and designing, Implementing and benchmarking
7. Implementing and benchmarking
8. Measuring and monitoring
9. Planning and designing, Implementing and benchmarking
10. Planning and designing
11. Measuring and monitoring
12. Monitoring and review
13. Monitoring and review
14. Mitigation plan definition
15. Assessment (identification, analysis, evaluation)
16. Establishing the context, Assessment (identification, analysis, evaluation)
17. Assessment (identification, analysis, evaluation)
18. Communication and consultation
19. Monitoring and review
20. Communication and consultation

7.1. Could you tell us why?

1. Dépassement de coûts importants
2. Lack of information, metrics and indicators
3. Lack of past and other project data.
4. A lot of risks are qualitative in nature and it's hard to develop relevant metrics
5. Innovation and other issues
6. N/A
7. As a systems integrator we seldom have the real hardware available until start-up. This makes final implementation completed in the field and very little time for benchmarking.
8. Measuring does not really happen. Estimating happens.

9. We have a diversified product line. And the market sentiments differ from time to time and it is very dynamic.
10. No one understands the use and application
11. Resources utilization
12. Requires an effort that is constant, from several people
13. No formal process is established
14. Needs root cause analysis which is not fully completed
15. It is the longest part of the process and time being in short supply, we tend to do it roughly.
16. We are integrating our technology to new markets which means that every time we need to understand the context/use of the products with our customer
17. Forecasts unreliable
18. There are so many stakeholders involved in the design of a ship that stakeholder communications and management become increasingly complex which hurts the communication and evaluation of risk.
19. Lack of time
20. Government culture often sees risk management as a cost, and would rather kick the can down the road (deal with it if / when it happens).

8. In your organization, do you follow any standards or guidelines relatives to the product development process? If so, which one(s)?

1. Stage Gate (TM)
2. None
3. None
4. None
5. Knowledge Based Engineering (KBE)
6. None
7. None
8. Agile
9. None
10. None
11. Product Development Value Stream Mapping (PDVSM)
12. Stage Gate (TM)
13. Product Development Value Stream Mapping (PDVSM)
14. Knowledge Based Engineering (KBE), Product Development Value Stream Mapping (PDVSM)
15. Stage Gate (TM)
16. Stage Gate (TM)
17. Stage Gate (TM)
18. None

- 19. None
- 20. Knowledge Based Engineering (KBE)

9. What would be your needs in terms of risk management process and tools improvements?

- 1. Text mining tool to help integrate lessons learned into risk list to improve risk process risk list and ability to identify potential issues and address them appropriately so as to reduce cost overruns
- 2. Matching risk management process with the information related to the same process
- 3. Greater Understanding of the process and outputs
- 4. Metrics and help with developing KRIs
- 5. Training and vision from users
- 6. N/A
- 7. We work in industries from Pulp & Paper to Water & Wastewater. There is too much diversity to have a set risk management process. Each project is evaluated on its own by the project engineer. We have developed some tools for testing, but it will take years or decades to develop everything we need. Financial constraints prevent including tool development in projects; financial and workload constraints prevent tool development independent of a project.
- 8. We have good tools already.
- 9. Key risk indicators
- 10. Better training at the designer / employee level and how it will help them.
- 11. Risk maturity and MCI model checking effectively
- 12. Need to set up priority and time to do it.
- 13. There is no formal process at this moment, it is done on a by-demand basis. The training on the process used is not sufficient. No overall indicator of risk exposure.
- 14. Data Base - tools
- 15. Since most risks are similar to our different product, a data base from which to pick and build would be a nice addition.
- 16. None other than good planning and rigor
- 17. Easy access to big data relevant to the decision to be taken
- 18. Having a dedicated risk experts on staff to drive risk functions.
- 19. N/A
- 20. Funding

10. Is risk review included in your product development process?

- 1. Yes
- 2. No
- 3. Yes
- 4. No
- 5. Yes

6. No
7. Yes
8. Yes
9. Yes
10. Yes
11. Yes
12. Yes
13. Yes
14. Yes
15. Yes
16. Yes
17. No
18. Yes
19. Yes
20. Yes

10.1. If so, at which frequency does it occur?

1. 1x per phase as per the PD process
2. N/A
3. Pre-Contract, Major rebaselines
4. N/A
5. Quarterly
6. N/A
7. It generally occurs at sales and then at engineering. After that any risks are addressed in the field during start-up.
8. Monthly
9. After each project which is 3 months
10. Monthly
11. Every stage
12. Only at gates PDR, CDR, etc.
13. At minimum 3 times (I believe is not enough)
14. Monthly dashboard update with quarterly risk review
15. Once or twice at most.
16. As defined throughout the planning and/or with customers' requirements
17. N/A
18. Decision gates
19. N/A

20. Milestone review

11. Do lessons learned from past product developments are used to improve processes of the new one?

- 12. Yes
- 13. Yes
- 14. Yes
- 15. Yes
- 16. Yes
- 17. N/A
- 18. Yes
- 19. Yes
- 20. Yes

12. Are historical risk data from past similar product developments used as the basis of new one's risk process?

- 12. No
- 13. Yes
- 14. Yes
- 15. Yes
- 16. Yes
- 17. N/A
- 18. Yes
- 19. Yes
- 20. Yes

13. What would be your needs in terms of lessons learned and historical data extraction to support risk management process's improvement?

- 12. Good documentation of closure
- 13. Process should be robust and easy to use/apply. Should also be constructed in a way that the flow down is seamlessly.
- 14. A tool
- 15. Automatic links from risk to lessons learned at the beginning of the project. This would help highlight the pitfalls for engineering and other items.
- 16. None other than good planning and rigor
- 17. Extend the knowledge basis, since we are a young company
- 18. Communicating risks context and impacts from prior projects to a new team.
- 19. N/A
- 20. A risk management database that was more tailored to certain project types

14. Does your product development management tool include risk data?

1. Yes
2. Yes
3. No
4. No
5. Yes
6. Yes
7. No
8. No
9. Yes
10. No
11. Yes
12. Yes
13. No
14. No
15. No
16. Yes
17. No
18. Yes
19. Yes
20. Yes

15. Would you be interested in more integration of risk in your decision-making process?

1. Yes
2. Yes
3. Yes
4. Yes
5. Yes
6. Yes
7. Yes
8. No
9. Yes
10. No
11. Yes
12. Yes
13. Yes
14. No
15. Yes

- 16. No
- 17. Yes
- 18. Yes
- 19. No
- 20. Yes

16. Is the risk management process's performance measured in your organization?

- 1. Yes
- 2. No
- 3. No
- 4. No
- 5. No
- 6. Yes
- 7. No
- 8. No
- 9. No
- 10. No
- 11. Yes
- 12. No
- 13. No
- 14. Yes
- 15. No
- 16. No
- 17. No
- 18. No
- 19. No
- 20. Yes

16.1. If so, on which metrics is the performance assessment based?

- 1. For each program, the 2 metrics are used as follows:
 - 1- Time since last risk assessment more than 6 months ago (y/n)
 - 2- Appropriate risk mitigation plan in place for each high risk items (y/n)
- 2. N/A
- 3. N/A
- 4. N/A
- 5. Revenue
- 6. N/A
- 7. N/A

8. N/A
9. N/A
10. N/A
11. MCI metric
12. N/A
13. N/A
14. Project Variance Efficiency
15. N/A
16. N/A
17. N/A
18. N/A
19. N/A
20. likelihood vs consequence

If you are interested by the results of this survey, I will be pleased to send it to you. For this purpose, and only this one, please fill-in the following field with your e-mail:

1. Courriel 1
2. Courriel 2
3. N/A
4. N/A
5. N/A
6. N/A
7. Courriel 3
8. Courriel 4
9. Courriel 5
10. N/A
11. Courriel 6
12. N/A
13. Courriel 7
14. Courriel 8
15. Courriel 9
16. N/A
17. N/A
18. Courriel 10
19. N/A
20. N/A

To pursue my research and the development of a risk assessment tool, I am planning to conduct more in-depth interviews. Please indicate whether you like to be contacted for this purpose?

1. Yes
2. No
3. No
4. No
5. Yes
6. Yes
7. No
8. No
9. No
10. No
11. Yes
12. No
13. Yes
14. Yes
15. Yes
16. No
17. No
18. Yes
19. No
20. No

ANNEXE VI

GUIDE D'ENTREVUE DEMI-DIRECTIVE

Partie 1 : Introduction

Comment percevez-vous et avez ressenti l'évolution de la complexité des systèmes aéronautique sur les dernières décennies ?

Quelles expériences de leur gestion en avez-vous ? (Dépassement de coûts)

Partie 2 : Le risque, le DP et leur performance

Votre processus de DP ou de GR suit-il une norme ou un standard ?

Comment l'intégration de la gestion du risque est-elle faite au sein du processus du développement produit ? Est-elle pour vous suffisante et cohérente ?

Comment évaluez-vous l'efficacité des outils aujourd'hui disponibles et relatifs à la gestion du risque au sein du DP ?

Possédez-vous une méthode pour évaluer l'efficacité, la performance de vos actions relatives à la gestion du risque ? (Notamment à l'identification | ex. : métriques de performance du processus de GR ?)

Partie 3 : PLM et SIGR / BI

Comment l'intégration de la gestion du risque est-elle faite au sein de vos outils logiciels de gestion de projet ? Est-elle pour vous suffisante et cohérente ?

Avez vous déjà observé une récurrence des risques au sein de plusieurs programmes de développement produit différents ?

Comment et à quel moment tirez-vous les leçons apprises d'un projet ? Utilisez-vous des métriques pour quantifier les risques s'étant déclarés ou non ?

Pensez-vous que les entreprises utilisent suffisamment le potentiel offert par les données générées par leurs processus de gestions ? (ex. : registre de risques, ou d'un registre de décisions)

L'historique des projets passés de l'entreprise peut-il être pris en compte au sein de cet outil ?
Si oui, à quel niveau et de quelles manières ?

Comment vos solutions permettent-elles la visualisation et le traitement des données liées au risque du DP ? Est-elle, selon vous, performante ?

Existe-t-il, sous une forme ou une autre, la présence ou la génération d'un registre des décisions prises au long du DP

ANNEXE VII

ÉCHANGES DÉTAILLÉS DE L'ENTREVUE

L'entrevue a été réalisée avec le responsable intégration dans la gestion de développement produit d'un acteur aéronautique. Cette personne a, par le passé, également exercé une fonction similaire chez CAE et travail depuis novembre 2016 chez TRU simulation et Training en tant que responsable de programmes de DP. Son expérience dans la gestion de projets aéronautiques est donc importante et diversifiée puisqu'il a exercé dans trois entreprises différentes. L'entretien s'est focalisé sur ces deux expériences les plus récentes : la plus longue chez Bell Helicopter et la plus récente chez TRU Simulation. Même si dans le même secteur d'activité, ces deux entreprises sont très différentes par leurs tailles et leur ancienneté. En effet, TRU a été fondé en 2014 et ne possède donc pas l'expérience acquise au fil des projets livrés par Bell. Cependant, outre leurs différences, il exprime les récurrences des dépassements de coûts et de délais dans tous les projets dont il a été le témoin. Il rajoute même qu'il s'agit d'un « standard de l'industrie aéronautique ».

Les processus de gestion de développement produit en place sont assez performants aussi bien chez Bell et que chez TRU. Ils suivent tous deux un dérivé du processus Stage-Gate®. Cependant, chez TRU il reste très mal intégré et ne peut suivre la politique d'expansion géographique de l'entreprise. Bell Helicopter utilise la solution logiciel Primavera pour la gestion centralisée de ces programmes, de leurs coûts et de leurs délais en temps réel. Cependant, aucune forme de gestion de risques n'y est intégrée. Elle ne l'est pas non plus chez TRU ou l'utilisation de Microsoft Projet est encore moins performante pour la gestion de ces projets. Dans les deux cas, le processus de gestion de risques est effectué à un niveau hiérarchique beaucoup plus élevé. Il sert majoritairement en début de projet à évaluer les risques globaux des projets et les présenter aux exécutifs. Le processus de gestion de risques est donc effectué à une vue élevée du projet et ne s'attache pas à établir les risques de chacun des paquets de travail. La gestion du risque le long du projet est donc souvent faite implicitement par l'expérience des responsables respectifs des projets. Il n'y a donc pas non

plus de mise en commun des données liées à cette gestion. Aucun indicateur ne peut donc n'extraire des données de gestion du risque des projets. Dans sa carrière, il n'a jamais utilisé de métrique ou de processus visant à évaluer la performance du processus de gestion du risque. Aucun registre de risque formel n'est également tenu et seules les check-lists de passage d'une étape à l'autre du DP sont documentées de manière exhaustive. De plus, l'exercice visant à extraire les leçons apprises d'un projet est parfois fait, et même selon lui bien fait, mais n'est ensuite jamais utilisé.

Malgré toutes ses lacunes, selon lui, les exécutifs sont souvent réticents ou frileux à investir dans l'amélioration des processus de gestion tels que celui de la gestion du risque. En effet, ils n'en perçoivent pas de retour sur investissement immédiat et ont souvent l'impression que les possibles nouveaux outils développés ne seront au final jamais implantés, acceptés et utilisés. Cela est d'autant plus vrai dans les entreprises historiques où la gestion du changement peut être un frein à l'innovation dans les processus.

Enfin son intérêt pour cette étude est très important. En effet, TRU souhaite supporter ces objectifs de croissances par la mise en place de processus de gestion de développement produit et de risque. En effet, face à une concurrence importante et contraindre par des objectifs de coût et des délais de livraison très serrés, le succès et le développement futur de TRU repose grandement sur une meilleure gestion de ces processus. Aider par sa jeunesse et une bonne tolérance au changement, TRU va pour cela créer une équipe PMO (Project Management Office) chargée de développer et de mettre en place les méthodes, outils et processus nécessaires à faire évoluer les pratiques des gestions de développement produit des entreprises. Il cherche donc un outil intuitif, utilisable simplement par tous ses collaborateurs et supporté par une base de données globale regroupant toutes les informations de gestion des différents programmes de développement de l'entreprise.

ANNEXE VIII

QUESTIONNAIRE DE VALIDATION DU PROCESSUS

Risk management process integration and risk assessment prediction : validation survey

This 5 questions survey is part of my research project. Through a previous survey across risk manager in the industry sector, we identify and detailed issues encountered while applying risk management process.

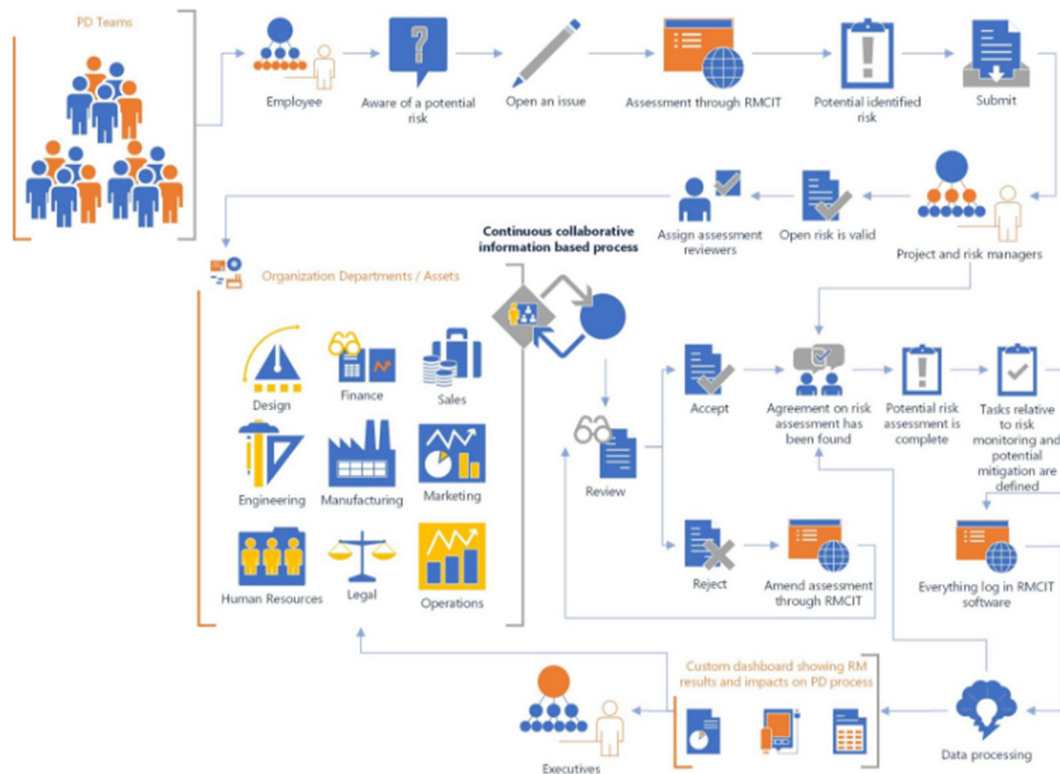
To attempt addressing to issues and needs we develop a two part solution :

- On the process side we design and describe a new way of applying risk management classic process to ensure continuous integration. This continuous risk management process aims to collect, store and sustain risk management data.

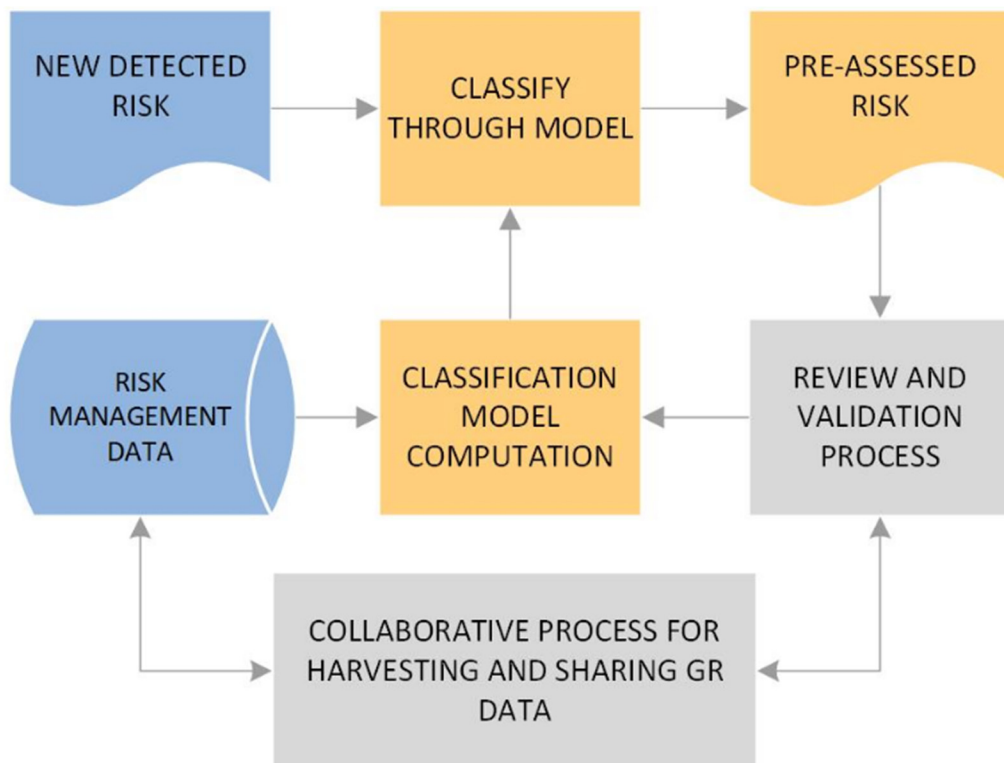
- In order to exploit those data and provide value added creation across risk management process, we design and test predictive risk assessment model based on new identify risk description. Based on past data, our machine learning based model is able to predict risk assessment required characteristics.

This kind of predictive model, implement aside our continuous integration process aim to make risk management a continuous practice able to self improved along its usage.

Risk management continuous integration process



Continuous risk classification and automatic assessment framework through



1. What is your level of understanding regarding the one-pager solutions shown in the above description? *

	1	2	3	4	5	
Not clear at all	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Very understandable

1.1. If not, feel free to explain why?

Long answer text

2. According to you, and based on the following scale, how will you rate the efficiency across risk management principle of the above described solution? *

	Very efficient	Efficient	No impact	Downgrade efficiency	Terrible efficiency impact
Creates value	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Integral part of organizational processes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Part of decision making	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Systematic, structures and timely	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Based on the best available information	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tailored	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Takes human and cultural factors into account	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Transparent and inclusive	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dynamic, iterative and responsive to change	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Facilitate continual improvement of the organization	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. Which of the following risk management process steps will the most benefits of proposed solutions implementation?

- ☐ Establishing the context
- ☐ Risk identification
- ☐ Risk analysis
- ☐ Risk evaluation
- ☐ Risk treatment
- ☐ Communication and consultation
- ☐ Monitoring and review

4. According to your risk management experiences, would machine learning and predictive risk assessment based on past data enhance your practices? *

- ☐ Yes
- ☐ No
- ☐ Other...

5. Do you think continuous integration as presented here is a viable process for risk management in new product development? *

- ☐ Yes
- ☐ No
- ☐ Other...

ANNEXE IX

EXTRAIT ALÉATOIRE DE LA TABLE DE DONNÉE UTILISÉE POUR LES MODÈLES D'APPRENTISSAGE

Tableau-A X-1 Données d'entrée des descriptions d'œnologie

Description	Variété	Ref.
Dry and peppery up front, with aromas of leather, cherry and raspberry. Fresh and zesty but not offering a whole lot on the palate, while the basic flavors of cherry and cassis are snappy but short. On the finish it's burnt like this morning's coffee.	Merlot	C10
Simple but pleasing, with high-toned strawberry, tree bark and cedar scents that wind down to a woody palate with plush tannins and a short, mixed-berry finish. Drink up.	Merlot	C10
Starts off with deep petrol and mineral notes on the nose before becoming more fruit-driven on the plump, medium-weight palate. Ripe peach and plum flavors add hints of red berries, then turn stony on the finish.	Gruner Veltliner	C9
Based on our tastings, this winery fared well in the heat of 2003. Sure, this federspiel is full and lush--more like a smaragd, but if you put that aside, what is in the bottle excels. Hints of pepper, smoke, honey, melon and nectarine give great complexity, while the long finish drives home with a firm edge honed in peppery spice.	Gruner Veltliner	C9
Rivetto is making some very interesting wines and is worth keeping a close eye on. The Leon Barolo opens with plump aromas of coffee, cherry, blackberry, spice and ripe berry fruit. It's a generous and velvety wine with firm tannins and a dusty, finely textured mouthfeel.	Nebbiolo	C8
Here's an earthy, meaty Barolo with characteristic aromas of smoked honey ham, bresaola, root beer and exotic spice. The fruit element comes forward as blackberry and cassis. The wine is slightly bitter and astringent. Drink it well after 2015 to let those tannins soften.	Nebbiolo	C8
Very tart, thin, with little fruit or character.	Barbera	C7
Kroara opens with a tired, slightly browning appearance and offers raw berry flavors with sour cherry and cranberry. Zippy freshness helps pick it up in the mouth.	Barbera	C7
Fruity and bright in acidity, this Pinot tastes like liquid raspberry and cherry jam, sprinkled with cocoa and cinnamon, and sweetened with a spoon of white sugar. Drink now.	Pinot Noir	C6
Spunky and sweet smelling, with a touch of stemmy pepper to the nose. The palate is narrow but fruity, with your standard allotment of zesty red fruit flavors along with mellow spice. Finishes short, with drying tannins. Good but lacks nuance and sophistication.	Pinot Noir	C6
Big, chunky, rubbery and loud, but also poised and fruity. The palate is fierce and full, with some scratch but also very lush and ripe flavors of jammy blackberry. Fruity to the max, with a chocolaty finish. A massive wine for \$12.	Malbec	C5

At this stage, the wine feels lean, austere and minerally, despite the richness of the vintage. But this black-currant-driven wine is likely to age impressively. And with its dense tannins, it shouldn't be touched for at least four years.	Malbec	C5
Tasty hazelnut overtones to the apple and cinnamon aromas mark the nose of this elegant wine. Toasted almond, pear and caramel flavors work in harmony. Good acidity and all-around stylish restraint make it a great food wine.	Chardonnay	C4
The color is a rich gold hue, while the nose offers a collection of apple, cinnamon, mineral and toast. This is a full-bodied and well-made wine, with baked-fruit flavors offset by spice and white pepper. Then it finishes creamy and sweet, highlighting toffee, caramel and vanilla. With proper weight and acids, it's balanced. Imported by Kysela Père et Fils.	Chardonnay	C4
Offers plenty of citrus, spanning the spectrum from lime to orange and tangerine, with just a hint of nectarine mixed in. At 8.5% alcohol, this kabinett gives an impression close to dryness, and despite despite relatively soft acids on the finish, it's nicely balanced.	Riesling	C3
Light and lacking substance, with simple lime and apple flavors that finish short.	Riesling	C3
Soft and flat in texture with a toffee character and a touch of spice. It tastes old before its time.	Pinot Gris	C2
Rich and sweet wine in character with a Vendange Tardive. It is gorgeous and opulent, while balanced and elegant. The acidity is in wonderful contrast to the smoky honey and orange zest flavors. A hint of bitterness suggests, for sure, that this wine will be even more wonderful when aged.	Pinot Gris	C2
This wine is sour, flat and past its prime, showing an abundance of tar and oak qualities.	Cabernet Sauvignon	C1
This wine is muted and still youthful, a blend of mostly Cabernet with 13% Merlot, 7% Syrah, 3% Petite Sirah and 1% Cabernet Franc. Pencil lead and dust fight for attention around big, bittersweet tannin and tobacco, not sure whether or not to let the black currant and cassis shine through.	Cabernet Sauvignon	C1

ANNEXE X

CODE XML DE LA MÉTHODE DE CLASSIFICATION DES DESCRIPTIONS UTILISANT L'ALGORITHME K-NN

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><process version="7.6.001">
  <context>
    <input/>
    <output/>
    <macros/>
  </context>
  <operator activated="true" class="process" compatibility="7.6.001" expanded="true" name="Process">
    <parameter key="logverbosity" value="init"/>
    <parameter key="random_seed" value="2001"/>
    <parameter key="send_mail" value="never"/>
    <parameter key="notification_email" value=""/>
    <parameter key="process_duration_for_mail" value="30"/>
    <parameter key="encoding" value="UTF-8"/>
    <process expanded="true">
      <operator activated="true" class="read_csv" compatibility="7.6.001" expanded="true" height="68" name="Read CSV" width="90"
x="45" y="34">
        <parameter key="csv_file" value="C:\Users\Pierre\Google Drive\Studies\Maitrise\MEM-000 - Mémoire\Data\wine-filter-g.csv"/>
        <parameter key="column_separators" value=","/>
        <parameter key="trim_lines" value="false"/>
        <parameter key="use_quotes" value="true"/>
        <parameter key="quotes_character" value="""/>
        <parameter key="escape_character" value="\"/>
        <parameter key="skip_comments" value="false"/>
        <parameter key="comment_characters" value="#"/>
        <parameter key="parse_numbers" value="true"/>
        <parameter key="decimal_character" value="."/>
        <parameter key="grouped_digits" value="false"/>
        <parameter key="grouping_character" value=","/>
        <parameter key="date_format" value=""/>
        <parameter key="first_row_as_names" value="true"/>
        <list key="annotations"/>
        <parameter key="time_zone" value="SYSTEM"/>
        <parameter key="locale" value="English (United States)"/>
        <parameter key="encoding" value="UTF-8"/>
        <list key="data_set_meta_data_information"/>
        <parameter key="read_not_matching_values_as_missings" value="true"/>
        <parameter key="datamanagement" value="double_array"/>
        <parameter key="data_management" value="auto"/>
      </operator>
      <operator activated="true" class="select_attributes" compatibility="7.6.001" expanded="true" height="82" name="Select Attributes"
width="90" x="45" y="187">
        <parameter key="attribute_filter_type" value="subset"/>
        <parameter key="attribute" value="description"/>
        <parameter key="attributes" value="description|variety"/>
        <parameter key="use_except_expression" value="false"/>
        <parameter key="value_type" value="attribute_value"/>
        <parameter key="use_value_type_exception" value="false"/>
        <parameter key="except_value_type" value="time"/>
        <parameter key="block_type" value="attribute_block"/>
        <parameter key="use_block_type_exception" value="false"/>
        <parameter key="except_block_type" value="value_matrix_row_start"/>
        <parameter key="invert_selection" value="false"/>
        <parameter key="include_special_attributes" value="false"/>
      </operator>
```

```

<operator activated="true" class="set_role" compatibility="7.6.001" expanded="true" height="82" name="Set Role" width="90"
x="179" y="187">
  <parameter key="attribute_name" value="variety"/>
  <parameter key="target_role" value="label"/>
  <list key="set_additional_roles">
    <parameter key="description" value="regular"/>
  </list>
</operator>
<operator activated="true" class="text:data_to_documents" compatibility="7.5.000" expanded="true" height="68" name="Data to
Documents" width="90" x="179" y="34">
  <parameter key="select_attributes_and_weights" value="true"/>
  <list key="specify_weights">
    <parameter key="description" value="1.0"/>
  </list>
</operator>
<operator activated="true" class="text:process_documents" compatibility="7.5.000" expanded="true" height="103" name="Process
Documents" width="90" x="313" y="34">
  <parameter key="create_word_vector" value="true"/>
  <parameter key="vector_creation" value="TF-IDF"/>
  <parameter key="add_meta_information" value="true"/>
  <parameter key="keep_text" value="false"/>
  <parameter key="prune_method" value="none"/>
  <parameter key="prune_below_percent" value="3.0"/>
  <parameter key="prune_above_percent" value="30.0"/>
  <parameter key="prune_below_rank" value="0.05"/>
  <parameter key="prune_above_rank" value="0.95"/>
  <parameter key="datamanagement" value="double_sparse_array"/>
  <parameter key="data_management" value="auto"/>
  <process expanded="true">
    <operator activated="true" class="text:tokenize" compatibility="7.5.000" expanded="true" height="68" name="Tokenize"
width="90" x="45" y="34">
      <parameter key="mode" value="non letters"/>
      <parameter key="characters" value="."/>
      <parameter key="language" value="English"/>
      <parameter key="max_token_length" value="3"/>
    </operator>
    <operator activated="true" class="text:filter_stopwords_english" compatibility="7.5.000" expanded="true" height="68"
name="Filter Stopwords (English)" width="90" x="179" y="34"/>
    <operator activated="true" class="text:filter_by_length" compatibility="7.5.000" expanded="true" height="68" name="Filter Tokens
(by Length)" width="90" x="313" y="34">
      <parameter key="min_chars" value="2"/>
      <parameter key="max_chars" value="25"/>
    </operator>
    <operator activated="true" class="text:stem_porter" compatibility="7.5.000" expanded="true" height="68" name="Stem (Porter)"
width="90" x="447" y="34"/>
    <operator activated="true" class="text:transform_cases" compatibility="7.5.000" expanded="true" height="68" name="Transform
Cases" width="90" x="581" y="34">
      <parameter key="transform_to" value="lower case"/>
    </operator>
    <connect from_port="document" to_op="Tokenize" to_port="document"/>
    <connect from_op="Tokenize" from_port="document" to_op="Filter Stopwords (English)" to_port="document"/>
    <connect from_op="Filter Stopwords (English)" from_port="document" to_op="Filter Tokens (by Length)" to_port="document"/>
    <connect from_op="Filter Tokens (by Length)" from_port="document" to_op="Stem (Porter)" to_port="document"/>
    <connect from_op="Stem (Porter)" from_port="document" to_op="Transform Cases" to_port="document"/>
    <connect from_op="Transform Cases" from_port="document" to_port="document 1"/>
    <portSpacing port="source_document" spacing="0"/>
    <portSpacing port="sink_document 1" spacing="0"/>
    <portSpacing port="sink_document 2" spacing="0"/>
  </process>
</operator>
<operator activated="true" class="set_role" compatibility="7.6.001" expanded="true" height="82" name="Set Label" width="90"
x="447" y="34">
  <parameter key="attribute_name" value="variety"/>
  <parameter key="target_role" value="label"/>

```

```

    <list key="set_additional_roles"/>
  </operator>
  <operator activated="true" class="concurrency:cross_validation" compatibility="7.6.001" expanded="true" height="145" name="Cross
Validation" width="90" x="581" y="34">
    <parameter key="split_on_batch_attribute" value="false"/>
    <parameter key="leave_one_out" value="false"/>
    <parameter key="number_of_folds" value="5"/>
    <parameter key="sampling_type" value="automatic"/>
    <parameter key="use_local_random_seed" value="false"/>
    <parameter key="local_random_seed" value="1992"/>
    <parameter key="enable_parallel_execution" value="true"/>
    <process expanded="true">
      <operator activated="true" class="k_nn" compatibility="7.6.001" expanded="true" height="82" name="k-NN" width="90" x="112"
y="34">
        <parameter key="k" value="85"/>
        <parameter key="weighted_vote" value="false"/>
        <parameter key="measure_types" value="NumericalMeasures"/>
        <parameter key="mixed_measure" value="MixedEuclideanDistance"/>
        <parameter key="nominal_measure" value="NominalDistance"/>
        <parameter key="numerical_measure" value="CosineSimilarity"/>
        <parameter key="divergence" value="GeneralizedIDivergence"/>
        <parameter key="kernel_type" value="radial"/>
        <parameter key="kernel_gamma" value="1.0"/>
        <parameter key="kernel_sigma1" value="1.0"/>
        <parameter key="kernel_sigma2" value="0.0"/>
        <parameter key="kernel_sigma3" value="2.0"/>
        <parameter key="kernel_degree" value="3.0"/>
        <parameter key="kernel_shift" value="1.0"/>
        <parameter key="kernel_a" value="1.0"/>
        <parameter key="kernel_b" value="0.0"/>
      </operator>
      <connect from_port="training set" to_op="k-NN" to_port="training set"/>
      <connect from_op="k-NN" from_port="model" to_port="model"/>
      <connect from_op="k-NN" from_port="exampleSet" to_port="through 1"/>
      <portSpacing port="source_training set" spacing="0"/>
      <portSpacing port="sink_model" spacing="0"/>
      <portSpacing port="sink_through 1" spacing="0"/>
      <portSpacing port="sink_through 2" spacing="0"/>
    </process>
    <process expanded="true">
      <operator activated="true" class="apply_model" compatibility="7.6.001" expanded="true" height="82" name="Apply Model"
width="90" x="45" y="34">
        <list key="application_parameters"/>
        <parameter key="create_view" value="false"/>
      </operator>
      <operator activated="true" class="performance" compatibility="7.6.001" expanded="true" height="82" name="Performance"
width="90" x="179" y="34">
        <parameter key="use_example_weights" value="true"/>
      </operator>
      <connect from_port="model" to_op="Apply Model" to_port="model"/>
      <connect from_port="test set" to_op="Apply Model" to_port="unlabelled data"/>
      <connect from_op="Apply Model" from_port="labelled data" to_op="Performance" to_port="labelled data"/>
      <connect from_op="Performance" from_port="performance" to_port="performance 1"/>
      <portSpacing port="source_model" spacing="0"/>
      <portSpacing port="source_test set" spacing="0"/>
      <portSpacing port="source_through 1" spacing="0"/>
      <portSpacing port="source_through 2" spacing="0"/>
      <portSpacing port="sink_test set results" spacing="0"/>
      <portSpacing port="sink_performance 1" spacing="0"/>
      <portSpacing port="sink_performance 2" spacing="0"/>
    </process>
  </operator>
  <connect from_op="Read CSV" from_port="output" to_op="Select Attributes" to_port="example set input"/>
  <connect from_op="Select Attributes" from_port="example set output" to_op="Set Role" to_port="example set input"/>

```

```

<connect from_op="Set Role" from_port="example set output" to_op="Data to Documents" to_port="example set"/>
<connect from_op="Data to Documents" from_port="documents" to_op="Process Documents" to_port="documents 1"/>
<connect from_op="Process Documents" from_port="example set" to_op="Set Label" to_port="example set input"/>
<connect from_op="Set Label" from_port="example set output" to_op="Cross Validation" to_port="example set"/>
<connect from_op="Cross Validation" from_port="model" to_port="result 4"/>
<connect from_op="Cross Validation" from_port="example set" to_port="result 1"/>
<connect from_op="Cross Validation" from_port="test result set" to_port="result 3"/>
<connect from_op="Cross Validation" from_port="performance 1" to_port="result 2"/>
<portSpacing port="source_input 1" spacing="0"/>
<portSpacing port="sink_result 1" spacing="0"/>
<portSpacing port="sink_result 2" spacing="0"/>
<portSpacing port="sink_result 3" spacing="0"/>
<portSpacing port="sink_result 4" spacing="0"/>
<portSpacing port="sink_result 5" spacing="0"/>
</process>
</operator>
</process>

```

ANNEXE XI

CODE PYTHON D'ÉVALUATION DES REGROUPEMENTS

Figure-A XII-1 Script python d'évaluation des clusters et de calcul du pourcentage de surprises

```
import pandas as pd
import numpy as np

before_gate = pd.read_excel('./Documents/test-bg-125-02-7.xlsx')
after_gate = pd.read_excel('./Documents/test-ag-125-02-7.xlsx')
dataset = pd.read_excel('./Documents/test-all-cluster-125-02-7.xlsx')

before_g_x = before_gate['variety'].unique()
after_g_x = after_gate['variety'].unique()
gb_clust = dataset.groupby(['label', 'variety']).size().reset_index()

surprises = []
not_surprises = []
good_cluster = []
# Boucle sur chacun des cluster
for i in range(0, gb_clust['label'].nunique()):
    current_clust = gb_clust.loc[gb_clust['label'] == 'cluster_{0}'.format(i)]
    if current_clust['variety'].nunique() and len(current_clust) > 1:
        good_cluster.append(current_clust)
        if current_clust['variety'].isin(after_g_x).sum() and not current_clust['variety'].isin(before_g_x).sum():
            surprises.append(current_clust)
    else:
        not_surprises.append(current_clust)

print('-----')
print('nombre total de cluster: {0}'.format(gb_clust['label'].nunique()))
print('nombre total de cluster valide: {0}'.format(len(good_cluster)))
print('% de clusters valides: {0}'.format((len(good_cluster) / gb_clust['label'].nunique()) * 100))
print('nombres de surprise: {0}'.format(len(surprises)))
print('nombre de cluster non surprises: {0}'.format(len(not_surprises)))
print('% de surprises: {0}'.format((len(surprises) / len(good_cluster)) * 100))

-----
nombre total de cluster: 200
nombre total de cluster valide: 106
% de clusters valides: 53.0
nombres de surprise: 50
nombre de cluster non surprises:
% de surprises: 47.16981132075472
```


ANNEXE XII

ARTICLE - CONFERENCE MOSIM 2016

11e Conférence Francophone d'Optimisation et Simulation- MOSIM'16
Du 22 au 24 août 2016
Montréal, Québec, Canada
« L'innovation technologique au service des systèmes : défis et opportunités »

INFLUENCE DE LA GESTION DU RISQUE DANS LE PROCESSUS DE DÉVELOPPEMENT PRODUIT EN AÉRONAUTIQUE

Pierre Bonzel, Yvan Beauregard

ETS Montréal, Département du génie aéronautique,
1100 Rue Notre-Dame Ouest, Montréal, QC H3C 1K3

pierre.bonzel.1@ens.etsmtl.ca,

yvan.beauregard@etsmtl.ca

RESUME : Le développement de produits est une activité cruciale dans les organisations modernes. Ces dernières sont non seulement forcées d'introduire continuellement de nouveaux produits, mais également de raccourcir leurs délais de développement, de réduire leurs coûts, et d'améliorer la variété et la qualité de leurs produits. Elles ont répondu avec succès à ce défi en adoptant les pratiques d'ingénierie allégées en se focalisant sur la valeur créée et en traquant les gaspillages de ressources. Cependant, la gestion du risque y est encore trop souvent mal intégrée malgré qu'elle soit un facteur clé de l'évaluation des coûts, du délai et de la qualité d'un projet. Une revue de littérature condensée permettra de définir ce qu'est le risque en développement produit et comment mesurer l'impact de sa gestion sur les marqueurs de maturité caractérisant cet environnement. Au travers d'entretiens semi-directifs, effectués auprès des acteurs principaux de l'industrie aéronautique mondiale, il s'agira de mettre en évidence les différentes pratiques en gestion du risque, développement produit et modèles de maturité de cette industrie. En résultera l'établissement de caractéristiques spécifiques pouvant servir comme pratiques de référence et comme base à la conception future d'un outil d'aide à l'évaluation des projets de développement aéronautique.

MOTS-CLES : développement produit, gestion du risque, maturité, performance, métriques, aéronautique.

1 INTRODUCTION

En 1981, a été publié un document intitulé « If we cannot forecast how can we plan? » (Makridakis, 1981). Ce dernier, comme son titre l'indique, souligne l'incapacité à prédire avec précision des événements économiques ou commerciaux. De ce fait, accepter une telle incapacité, est la seule manière de produire une planification réaliste en accord avec une formulation des stratégies et des objectifs. En raison de la concurrence mondiale accrue, des progrès technologiques et de l'évolution rapide des besoins des clients, réduire ou simplement respecter les délais de développement d'un produit est une priorité stratégique pour de nombreuses organisations (Hilda *et al.*, 2013). Dans ce contexte, une planification efficace est considérée comme essentielle et critique dans le raccourcissement de la durée des projets. Dans une étude, il a été observé que la planification intensive lors de la phase initiale d'un projet affecte directement son efficacité (Verworn *et al.*, 2007). En effet, elle réduit les incertitudes, notamment techniques et de mise sur le marché. De même, Tortue (Hilda, 2013) souligne qu'une mauvaise planification peut entraîner jusqu'à 70% de retard et de dépassement de coûts. Ce fait est observable dans de nombreux projets de grandes envergures. Cette complexité s'explique par la nature itérative et incertaine du processus de développement (Browning et Eppinger, 2002). Cela est d'autant plus marqué lorsque les techniques de gestion utilisées ne tiennent pas compte de ces caractéristiques. Par conséquent, il semble qu'une

compréhension profonde des itérations de conception et des risques leurs étant liés est une condition préalable à l'élaboration d'une stratégie de planification efficace permettant d'accélérer et d'améliorer les processus de développement produit (Hilda *et al.*, 2013).

Dans une première partie, le contexte, les objectifs et les questions de recherches soulevés par cette étude seront explicités. La méthodologie utilisée ainsi que les hypothèses y seront également détaillées. Une seconde partie caractérisera l'environnement du développement produit au travers des différents modèles de maturités existants. Dans une troisième partie, dédiée au risque et à sa gestion, les approches classiques évoquées par les normes historiques seront exposées. Dans cette même partie les modèles et travaux plus récents seront aussi évoqués en mettant en avant leurs avancées. L'objectif étant de mettre en exergue les limites des méthodes classiques, aujourd'hui encore utilisées par de nombreux géants industriels. Enfin dans une dernière partie, une synthèse et un guide d'entretien s'appuyant sur les données extraites de la revue de littératures des deux premières parties, seront présentés. Ce dernier servira de base pour la récolte de données nécessaires à l'exposition synthétique des facteurs majeurs de risque, leurs influences et l'établissement des caractéristiques d'une méthodologie optimale applicable au développement produit en aérospatial. Cette étude permettra également aux autres chercheurs travaillant sur ce sujet de pouvoir s'appuyer sur ces caractéristiques pour concevoir un outil d'aide à la décision et à l'évaluation de projets de développement aéronautique.

2 LA GESTION DU RISQUE DANS LE DEVELOPPEMENT PRODUIT EN AERONAUTIQUE

2.1 Contexte

Alors que les années 1940 et 1950 sont considérés comme une période dorée pour les avionneurs, nombre de choses ont changé depuis. Beaucoup des anciens constructeurs d'avions ont soit fait faillite ou ont été achetés par ceux ayant résistés, comme Boeing ou Dassault Aviation. Ces entreprises sont aujourd'hui des multinationales cotées en bourse. Les concepteurs et les ingénieurs, au lieu de satisfaire le propriétaire de l'entreprise, doivent maintenant satisfaire le conseil d'administration, qui, à son tour, doit satisfaire les actionnaires de la société désirant constamment augmenter leurs retours sur investissement. Cette volonté de satisfaire les actionnaires, couplée avec l'augmentation de la complexité des systèmes, des exigences de certification toujours plus strictes et le manque d'entrée d'ingénierie dans les décisions de conception, a conduit à une augmentation du temps de cycle et des coûts de conception. Selon la loi d'Augustine (Augustine, 1997), le coût unitaire des avions commerciaux est en moyenne multiplié par dix tous les 18 ans. Une telle augmentation du coût unitaire des avions montre qu'il est plus important que jamais de faire en sorte que les aéronefs soient économiquement viables avant de commencer leur production. Pour juger de cette viabilité, il est donc capital que les évaluations faites dans les phases préliminaires de conception soient réalistes et tiennent donc compte de manière la plus exhaustive possible des aléas de développement. La rapidité de mise sur le marché est également l'un des résultats les plus importants pour les entreprises de fabrication de produits. Comme les cycles de conception sont très longs dans l'industrie de l'aérospatiale, identifier et évaluer le marché d'un produit est une tâche difficile. Le marché doit être prévu sur une période de plus de 15 ans, et certaines des forces motrices de ce dernier, comme la technologie ou la concurrence, sont susceptibles de différer sensiblement de leurs états actuels sur une si longue période de temps. Ce respect du temps de développement escompté implique une potentielle hausse des profits et assure une meilleure chance de dominer les parts de marché visées. De plus, les ressources allouées seront libérées pour le développement de nouveaux produits ou pour toute activité créant de la valeur. Cela est d'autant plus vrai dans le secteur aéronautique où, comme évoqué précédemment, l'évolution technologique constante doit se conjuguer avec des temps importants de développement ainsi qu'à une complexité technique en constante évolution. Cela fait du temps et des coûts associés aux cycles de développement des enjeux critiques influençant grandement la santé de ces entreprises. C'est donc l'incertitude future du résultat potentiel, qui conduit à la notion de risque. Ainsi, une mesure de la

probabilité d'occurrence d'un événement ainsi que la gravité de ses conséquences sont à la base des définitions du risque utilisé par l'industrie (Thomas, 2007). En se basant sur ces mesures, les gestionnaires cherchent à planifier leurs projets en choisissant des scénarios ayant le moins de risque technique ou économique possible (Thomas, 2007). Par exemple, les avionneurs choisissent souvent de continuer à créer des avions dérivés répondant aux nouvelles attentes du marché, plutôt que d'en concevoir un entièrement nouveau. Dans leur aversion au risque, ils tentent donc par tous les moyens d'éliminer ou de limiter les incertitudes liées à chaque étape du processus de développement. L'état de ne pas savoir quelque chose est donc sous-jacent à la notion de risque. Ce dernier est traité différemment dans les processus de conception traditionnels et modernes. En général, les meilleurs et les pires scénarios envisageables sont utilisés pour donner les bornes d'incertitude d'un projet (Thomas, 2007). Ces dernières caractérisent les intervalles de validité respectifs des coûts, des durées et autres caractéristiques évaluées. Pour ce faire les données historiques des différents projets de l'entreprises peuvent par exemple servir de base à une évaluation cohérente. Les incertitudes liées aux délais peuvent par exemple être limitées ou classées en utilisant des ratios statistiques de durées. La NASA propose trois catégories de limites d'incertitude élaborées pour des durées de base inférieures à 21 jours, entre 21 et 50 jours et supérieures à 50 jours. Ces ratios sont basés sur les données d'anciens projets et permettent ainsi de réduire la variance de l'évaluations faite de la durée d'un bloc de travail (Kuo *et al.*, 2014). Bien qu'il s'agit toujours d'un objectif louable, les choix faits pour diminuer les risques d'un projet peuvent également diminuer sa rentabilité potentielle en étouffant son potentiel d'innovation. Il en va de même pour la seule concentration des efforts qui, dans le but d'accélérer le cycle de développement, peut être aveuglante et faire perdre à l'entreprise la possibilité de développer en parallèle d'autre produits novateurs (Belay *et al.*, 2014). Le nombre, la différence des types de sources d'incertitude et leurs origines extrêmement variés représente une source potentielle d'incohérence dans le processus de prise de décisions. En effet, un grand nombre des sources d'incertitude ne sont pas forcément examinés par des ingénieurs. Certaines sont générées par le marketing ou encore par les services financiers avant même que les exigences de conceptions techniques soient définies et ce malgré le fait que ces contraintes puissent avoir un impact significatif sur cette même phase. La transmission des flux d'informations internes et les méthodologies en place aux seins des entreprises sont donc capitales. Cependant, malgré l'évolution des méthodologies et des Systèmes d'Information à la Gestion des Risques (SIGR), la taille de ces entreprises ainsi que leur nombre d'interactions avec des fournisseurs et des partenaires rendent l'évolution de leurs systèmes internes de gestion longue, coûteuse et complexe.

2.2 Objectifs et questions de recherche

Comme exposé précédemment, la recherche et le développement de produits aérospatiaux est un travail d'une grande complexité, qui exige et génère d'énormes quantités de connaissances et de données en même temps. Le concept de maturité de la connaissance (Jia *et al.*, 2014) et du processus de développement (CMMI Ø, 2010) est donc essentiel. Il offre un cadre dynamique d'évaluation tenant compte des fréquentes hypothèses posées dans les phases primaires de conception. Afin de comprendre l'impact de la gestion du risque sur les différentes phases du développement produit, la caractérisation d'un cadre doit être défini en réponse à cette première question :

- Quelles sont les caractéristiques définissant la maturité du développement d'un produit aéronautique ?

Une fois un modèle de maturité choisi, il s'agira de définir comment le risque lui-même, ainsi que la performance de son processus de gestion, sont évalués et intégrés au sein de ce modèle, ainsi que dans les différentes phases du développement produit. Ce faisant une réponse sera apportée à la question suivante :

- Dans cet environnement, de quelle façon et sur quels critères le risque et la performance de sa gestion sont-ils évalués ?

Enfin, au vu des critères établis en réponses à ces deux questions précédentes, les liens existant entre la performance en développement produit et la gestion des risques y étant associée pourront être mis en exergue au travers de cette dernière question :

- Quels sont les facteurs influençant la performance de la gestion du risque ?

La réponse à ces trois questions de recherche contribuera à une meilleure compréhension de la place et de l'importance du processus d'analyse des risques, en accord avec les spécificités du développement produit en aéronautique. Dans cette étude, un attrait particulier sera donc porté à la gestion des risques inhérents au développement de produit complexes tels que ceux émergents de l'industrie aéronautique. Au travers d'entretiens, le but sera de tirer une image claire des différentes méthodes actuellement utilisées. Cela offrira également aux ingénieurs ainsi qu'aux gestionnaires une liste de critères plus pertinents, car spécifique au secteur, pouvant servir de base à leurs futurs processus décisionnaires.

2.3 Méthodologie

Dans l'objectif de combler un manque existant dans les travaux de recherche effectués sur le sujet, le devis de recherche choisi est orienté vers des entretiens semi directifs auprès des acteurs Nord-Américains et Européens de l'industrie aérospatiale. De par la variété des entreprises interrogées, ce type de méthode présente l'avantage de

fournir une vue d'ensemble des pratiques utilisées aujourd'hui dans l'industrie. De plus, l'expertise des parties prenantes aux entretiens seront à même de fournir des données qualitatives permettant une mise en parallèle de la variété des méthodes internes de management utilisées. Cela permettra donc une comparaison des pratiques liées à la gestion des risques, leurs mesures d'efficacité et leurs impacts sur les performances des projets passés et en cours des entreprises concernées. Une étude phénoménologique des données récoltées visera à identifier des thèmes communs dans les descriptions que font les participants de leurs expériences. La transcription des entrevues s'attachera à suivre les étapes clés suivantes :

- Identifier les aspects reliés au problème de recherches en éliminant les informations non pertinentes des entrevues.
- Regrouper à la suite de chaque entretien les informations pertinentes en catégories reflétant les aspects spécifiques du problème. Ces dernières seront établies en amont des entretiens et basées sur les points soulevés par la revue de littérature. Ils sont néanmoins susceptibles de changer au vu des discussions avec participants.
- Identifier les opinions et perspectives divergentes ou convergentes soulevées par les différents participants.
- Construire, à l'aide des catégories, des divergences identifiées ainsi que des expériences telles que rapportées par les participants, un schéma développant une description globale du phénomène observé.

Enfin, ce dernier point faisant la liaison entre le corps théorique mis en avant et la description globale du phénomène faite par les participants sera la base d'une synthèse offrant une réponse concrète et pratique aux questions de recherche posées.

2.4 Cadre et limites de l'étude

Le risque, sa gestion, ainsi que l'évaluation de son impact et de sa performance sont seulement un des maillons d'une chaîne influençant les trois critères de performance : temps, coût et qualité. La figure 1 illustre de quelle manière le déclenchement d'un risque, identifié ou non, engendre des changements d'ingénierie dans un projet. Ces derniers, d'une importance variable résultent inévitablement par des conséquences visibles sur les marques de performances du développement produit.

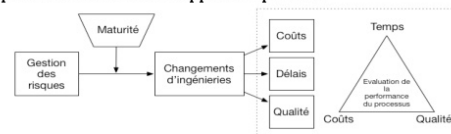


Figure 1 : Place de la gestion des risques et de sa maturité face à la performance lors d'un développement produit.

L'étude réalisée ici vise à se focaliser uniquement sur les premiers éléments de cette chaîne, se trouvant ici être le risque et sa maturité. Les aspects l'entourant et lui étant liés pourront bien sûr évoqués et analysés mais ne seront pas l'objet principal de la revue de littérature. Le but étant de focaliser l'effort de recherche sur cet élément spécifique afin d'en accroître sa pertinence et sa validité.

2.5 Entreprises et profils des interrogés

Pour mener à bien cette étude, la taille de l'échantillon sera défini par un seuil de saturation empirique. Les entrevues s'arrêteront donc lorsqu'elles n'apporteront plus d'informations suffisamment nouvelles ou différentes pour justifier une augmentation du matériel. Les participants se devant d'avoir un poste ainsi qu'une expérience pertinente dans la gestion de risque au sein de l'entreprise ciblée. Cependant, dû aux différences d'organisation des entreprises, l'intitulé de poste pourra varier. En effet, la délégation de la gestion de risque peut être dans certains cas délégué aux gestionnaires de chaque projet ou bien alors faire l'objet d'un service lui étant spécifique. Afin d'assurer une diversité dans le panel des entreprises ciblées, tout en restant dans le secteur aérospatial, les avionneurs ainsi que leurs sous-traitants seront considérés. On retrouve une liste des possibles candidats dans l'article répertoriant annuellement les plus grands industriels de l'aérospatiale et de la défense (Bruno, 2015). Il pourrait également être intéressant de récolter des données auprès d'industries comparables, tel que l'industrie automobile dans le développement de leurs modèles haut de gamme les plus technologiquement aboutis. En effet, le critère principal assurant la validité des comparaisons étant la complexité technique des projets, le nombre de parties prenantes y étant lié ainsi qu'une durée de développement et de mise sur le marché de même échelle. En effet, la validité interne des systèmes de gestion de risque et l'évaluation de leurs performances ne peut être assurée dans le seul cas où l'environnement caractérisant le développement est lui-même similaire tant en termes de contraintes que d'objectifs.

3 L'ENVIRONNEMENT DU DEVELOPPEMENT PRODUIT

3.1 Planification et interdépendances

Presque toutes activités au sein d'une organisation peuvent être considérées comme un projet possédant des caractéristiques uniques et des niveaux d'importance variables. Un projet ou même une tâche peut se définir comme une suite planifiée d'activités connexes pour atteindre un objectif, chaque tâche ayant un début et une fin. On peut leur attribuer sept caractéristiques principales (Project Management Institute, 2013) :

- Objectif : chaque tâche a un objectif précis à atteindre
- Temps : temps dans lequel elle doit être accomplie.

- Complexité : est-ce que la technologie existe pour atteindre les objectifs du projet ? Définition d'un niveau de complexité relatif aux ressources à impliquer.
- Taille et nature de la tâche : plan étape par étape des actions à mener pour déterminer son ampleur.
- Ressources : autres tâches du projet, personnel, matériels, matériaux, équipements, etc.
- Dépendance organisationnelle : quantifie la dépendance ou l'indépendance d'une tâche face aux autres et à l'ensemble du projet.
- Systèmes d'information et de contrôle : doivent être structurés de manière à relayer les problèmes, les résultats et toutes informations nécessaires aux autres entités du projet.

Même si ces caractéristiques ont été écrites pour décrire un projet dans son ensemble, on les retrouve dans les sous-systèmes le composant. On peut donc les appliquer pour définir les tâches (plus petit sous-ensemble d'un projet). Il est évident qu'une bonne définition a priori des caractéristiques du projet et de ses sous-ensembles de tâches aura un impact direct sur ses marqueurs de performance. De nombreux outils, tenant compte de ces dernières, existent pour aider les gestionnaires à planifier leurs projets. Les méthodes traditionnelles de planification de projet sont :

- Les chartes de Gantt
- La méthode du chemin critique
- Les diagrammes PERT (Program Evaluation and Review Technique)

Cependant, ces méthodes traditionnelles et ancienne sont mal adaptées pour aider efficacement à la planification et à la gestion des processus de développement de produits complexes. En effet, elles ne tiennent pas compte des itérations dues aux reprises inattendues de certaines tâches. Enfin, elles ne tiennent pas non plus compte des aléas associés à chaque tâche et évoluant tout au long du développement. Dans les grands systèmes, tels que le développement d'un produit dans l'industrie aérospatiale, les interdépendances sont communes. C'est pourquoi, d'autres méthodes favorisant l'utilisation des matrices existent pour leurs représentations (Marle *et al.*, 2015). Les tâches individuelles ou les entités du processus sont disposées dans une matrice carrée où le croisement entre chaque ligne et colonne correspond à une dépendance. On peut ensuite analyser la relation entre ces entités dans le but d'identifier et d'optimiser les structures clé du projet ainsi que son déroulement. De plus, les travaux supplémentaires générés par itération sont présentables. Cette matrice est appelée "Dependency Structure Matrix", ou DSM. Les valeurs de chaque ligne indiquent donc la dépendance à d'autres entités. Plus cette valeur est élevée, plus leur dépendance est grande. Les entrées diagonales de la matrice sont égales à 0, car un composant d'un système considéré ne peut pas lui-même s'influencer. Pour être appliqué, le processus doit donc être fracturé au maximum en entités individuelles (tâches / sous-processus).

3.2 Le contrôle de la performance

Pour assurer la réussite d'un projet, il ne suffit pas de bien le planifier. Le meilleur des plans de développement n'est rien sans une méthodologie en assurant son contrôle. En recherche et développement de produits la mesure de la performance des processus reste une tâche difficile et complexe (Loch et Tapper, 2002) (Chiesa *et al.*, 2009) principalement en raison de la nature non répétitive et non structurée de ce processus (Browning et Eppinger, 2002). Plusieurs auteurs ont montré l'influence des facteurs externes qui échappent au contrôle des gestionnaires sur la réussite d'un projet et la place prépondérante du temps dans leur réalisation (Homos da Costa, 2014) (Talbot, 2011). Ce rapport entre temps et prise de décisions est évoqué de nouveau dans la partie quatre de cet article. En plus d'être considéré comme une tâche difficile, la mesure du rendement, si elle est faite de manière incorrecte ou inefficace, peut représenter un risque pour l'organisation. En effet, souvent les gestionnaires de programmes et de projets fondent leurs décisions sur ces mesures (Homos da Costa, 2014). Par conséquent, des mesures trompeuses peuvent créer une évaluation erronée du programme avant son démarrage ou de son état en cours. Cela entraîne le plus souvent de mauvaises décisions ayant un impact négatif sur les progrès d'une tâche et se répercutant sur le ou les projets en cours. En ce sens, la fiabilité du système de mesure est donc capitale pour connaître l'état réel d'un développement produit mais également pour en connaître l'évolution. On peut ainsi se demander si l'intégration à un tel système du contrôle continu des risques identifiés ne serait pas bénéfique. En effet, afin d'en maximiser son efficacité, il semblerait logique que le système de surveillance du développement produit soit harmonisé et tienne compte de tous les facteurs influençant la performance.

3.3 Critères de mesures de la performance

C'est en ce sens que l'objectif de la gestion de projet quantitative (QPM : Quantitative Project Management) est de représenter exhaustivement le projet pour favoriser l'atteinte de ses objectifs en termes de qualité du produit et de performance du processus. La performance des processus est la quantification de leurs résultats réels produits. Elle est caractérisée par deux types de mesures, une relative aux processus eux-mêmes (par exemple, le temps d'exécution) et une relative à ce qu'ils créent (par exemple, la fiabilité du travail effectué ou le nombre de défauts). Une étude de littérature très fournie, (Pakdil et Karen, 2014) dresse une liste des paramètres permettant d'évaluer la performance d'un processus de développement. Le LAT (Lean Assessment Tools) qu'ils développent se structure autour de huit dimensions :

- Efficacité temporelle
- Qualité
- Processus

- Coût
- Ressources humaines
- Chaîne d'approvisionnement
- Consommateur
- Inventaire

Pour chacune, il propose une liste d'indicateurs propres. Il arrive donc à un total de 51 indicateurs de mesure de performance. Une autre liste de 50 métriques classées par degré d'utilisation dans l'industrie, apparition dans la littérature et catégorie d'application est développée dans « Toward a better comprehension of lean metrics for research and product development management » (Homos da Costa, 2014). Ces résultats révèlent que 38% des indicateurs sont considérés comme très utiles, 54% modérément, et 8% légèrement. Les plus utiles sont :

- La satisfaction du client
- Le pourcentage de livraison à temps du projet
- La satisfaction des employés
- La différence entre le temps réel par rapport au temps prévu pour l'achèvement du projet
- La précision d'interprétation des exigences du client
- Le coût total du projet
- Le nombre et nature des goulots d'étranglement

Ces derniers résultent d'une enquête faite dans l'industrie sous forme de groupe de discussion et basée sur un échantillon réduit de 25 réponses représentant l'industrie de l'aérospatiale et de la défense. Il en ressort que les gestionnaires de projets se rendent compte de l'utilité des mesures qui sont fondées sur des appréciations personnelles au lieu de celles purement quantitatives. Cela est appuyé par les dimensions de l'étude évoquée précédemment. En effet, la présence de dimensions telles que les ressources humaines ou le consommateur montre bien que leurs intérêts pour les paramètres financiers sont en train de changer vers des mesures plus axées sur la valeur créée.

3.4 Modèles et critères de maturité du processus

La maturité d'un processus désigne dans quelle mesure il est explicitement défini, géré, mesuré et contrôlé. Elle suppose un potentiel de croissance des capacités et constitue un indicateur de richesse de la cohérence de l'organisation étant en adéquation avec les exigences des clients finaux. Des modèles définissant un cadre d'évaluation de la maturité ont été développés pour répondre ce besoin. CMMI ® (Capability Maturity Model Integration) est reconnu comme la norme pour l'analyse comparative indépendante au sein de l'industrie de la maturité dans les processus techniques et de gestion critiques. La suite de produits CMMI ® a été développée par le gouvernement américain, l'industrie et le Mellon Software Engineering Institute Carnegie, un centre de recherche et de développement financés par le gouvernement fédéral, afin d'intégrer de multiples modèles de maturité des capacités dans un cadre d'amélioration unique pour une utilisation par des organisations poursuivant l'amélioration des processus qui englobe tout.

Ce modèle d'évaluation des systèmes d'ingénierie est par exemple utilisé par l'US Air force pour le contrôle de ses projets. Il décrit les pratiques spécifiques indiquant ce qui est nécessaire pour une bonne ingénierie système. Il établit, standardise, et maintient une compréhension claire des pratiques d'ingénierie et de leur importance dans le succès de la mission, quelle qu'elle soit. CMMI ® définit pour cela 5 niveaux de maturité (CMMI ®, 2010) :

- Niveau 1 : Initial, les processus sont quasi inconnus et imprévisibles. Aucun facteur de réussite n'est identifié. La réussite du projet reste aléatoire.
- Niveau 2 : Piloté, les principaux processus de gestion de projets sont définis et leurs mises en place permettent d'en assurer la reproductibilité.
- Niveau 3 : Défini, les processus du projet sont clairement identifiés et définis. Tous les acteurs du projet en ont une compréhension claire.
- Niveau 4 : Quantifié, le déroulement du projet est mesuré autant en terme quantitatif que qualitatif.
- Niveau 5 : Optimisé, optimisation des processus, mise en place des processus permettant l'amélioration continue, maîtrise du changement.

Alors que CMMI ® permet de caractériser le niveau de maturité d'un processus, l'échelle TRL (Technology Readiness Level) caractérise les niveaux de préparation technologique ou CTE (Critical Technology Elements) d'un programme au cours du processus d'acquisition de l'information. Ils sont déterminés au cours d'une l'évaluation des technologies (TRA : Technology Readiness Assessment) qui examine les concepts des programmes, les exigences technologiques et les capacités technologiques existantes et démontrées. TRL est basé sur une échelle de 1 à 9 où 9 qualifie la technologie la plus mature. Dans la figure 2 on retrouve la caractérisation de la maturité du processus mise en relation avec les niveaux de l'échelle TRL de maturité technologique.

Boeing Maturity Stage	Discovery			Feasibility		Practicality		Applicability		
TRL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
TRL Summary	Basic principles observed and reported	Technology concept and/or application identified	Technology concept and/or application demonstrated in a laboratory environment	Technology concept and/or application demonstrated in a laboratory environment	Component and/or subsystem validation in a relevant environment	System architecture model or prototype (ground or space)	System prototype demonstration in a laboratory environment	Actual system, flight proven, through successful mission operations	Actual system, flight proven, through successful mission operations	Actual system, flight proven, through successful mission operations

Figure 2 : Etapes de maturité d'un processus et TRLs (Boeing Integrated Defence Systems, 2008).

Avant l'échelle TRL, les entreprises comme Boeing avaient des procédures pour la R&D qui leurs étaient propres. Ces procédures développées au fil du temps voyaient leur qualité dépendre fortement des compétences des gestionnaires de projet. Cela pouvait, par exemple, avoir pour conséquence un manque de terminologie commune, une non standardisation des processus avec les four-

nisseurs ainsi qu'une passation de compétence incertaines. TRL simplifie les processus de l'industrie aérospatiale en fournissant un langage commun pour la maturité de la technologie ainsi que pour l'évaluation de leurs risques technologiques.

4 LE RISQUE ET SON MANAGEMENT

4.1 Définitions du risque

Il n'y a pas de définition unique convenue du risque. La littérature traitant des risques montre que cette notion est utilisée à la fois comme une valeur attendue, comme distribution de probabilité, comme une incertitude ou alors comme un événement (Aven et Renn, 2010). Les définitions du risque peuvent être divisées en deux catégories : le risque exprimé par les probabilités des résultats (favorable ou non) attendues et le risque exprimé au travers des événements par rapport aux conséquences et aux incertitudes. De cette façon, deux approches complémentaires sont exprimées (Aven, 2011). La compréhension du risque en planification produit se rapproche des définitions où l'incertitude est un aspect qui caractérise ou qualifie les événements et leurs conséquences et ce au travers de la définition et quantification des pertes ou des opportunités de tous les scénarios possibles. La définition selon laquelle le risque est égal au triplet (S_i, P_i, C_i) , où S_i est le $i^{\text{ème}}$ scénario, P_i la probabilité de ce scénario, et C_i la conséquence du scénario $i = 1, 2, \dots, N$, (Kaplan, 1991) ouvre à une modélisation de l'effet positif ou négatif de l'incertitude sur les objectifs (Standard International, 2009). En effet le risque peut être considéré comme un scénario, prévu ou non, ayant une probabilité de se produire et engendrant des conséquences définissables.

4.2 Le management des risques

De nombreuses activités, projets ou produits d'ingénierie peuvent être considérés comme ayant un développement cyclique (Dezfuli *et al.*, 2011) et itératif (Browning et Eppinger, 2002). L'évaluation des risques peut être appliquée à tous les stades de ce cycle, elle est généralement utilisée à plusieurs reprises et avec différents niveaux de détails pour aider dans les décisions qui doivent être prises à chaque phase. Ces dernières ont des besoins différents et nécessitent des techniques décisionnelles différentes. Tout comme il n'y a pas de définition convenue du risque, il n'y a pas de processus universel en assurant sa gestion. La gestion des risques est l'acte ou la pratique de la maîtrise de ces derniers. Elle comprend la planification de leurs méthodes de gestion, leur identification et leur analyse, pour mener à l'élaboration d'options de mitigations. Ensuite elle assure leur surveillance afin de déterminer comment ils changent au cours du processus. Pour une bonne gestion de l'information elle doit également inclure une documentation de l'ensemble de son programme. Ce cheminement

en 5 étapes est également supporté par le chapitre du PMBOK (Project Management Institute, 2013) dédié à la gestion du risque. La figure 3 en propose une vue globale.



Figure 3 : Processus de gestion des risques (Department of Defense, 2015).

Comme évoqué à la fin de l'exposition du contexte (cf. 2.1), on remarque que la communication et le retour d'informations des différents services internes concernés de l'entreprise est au centre de ce processus. En effet, le but étant de synthétiser en tout temps les risques internes ou externes pour qu'ils puissent être gérés de manière efficace. C'est cette synthèse de l'information émanant des différents acteurs du projet qui favorisera sa réussite et la bonne santé des indicateurs de performance clés (KPI) de l'entreprise. Cette nécessité pour les gestionnaires de projet d'implanter une stratégie de gestion de risque efficace est résumé par le département américain de la défense : « The goal is to both mitigate risks and create opportunities for technology development outcomes that could have a positive impact on meeting performance objectives as well as thresholds. » (Department of Defense, 2015). Lors de la phase de conception et de définition, l'évaluation des risques peut être utilisée pour décider de procéder ou non à l'investissement. De la même manière, lorsque plusieurs options sont disponibles, elle permet d'évaluer les concepts alternatifs et aide ainsi à décider lequel offre le meilleur équilibre. L'évaluation des risques doit donc être utilisée pour aider à l'élaboration de procédures pour les conditions normales et d'urgence de chaque étape du cycle de développement. Le tout devant aider à apporter un jugement éclairé permettant la maximisation de l'efficacité d'allocation de ressources limitées.

4.3 Approches classiques en gestion des risques

La gestion des risques est donc un processus de communication, d'identification, d'analyse, d'évaluation, de traitement, de suivi et d'examen des risques. Pour normaliser cette gestion, il existe des outils et des techniques applicables à tout processus, dont la majorité sont listés et explicités dans la norme ISO 31010 (Standard International, 2009). Deux tables extraites de cette norme résument et permettent la comparaison, sous forme de tableau, du panel

d'outils disponibles pour évaluer les risques d'un projet ou d'une tâche. La première classe les techniques selon leurs applicabilités aux différentes étapes du processus évoqué précédemment (cf. figure 2). Pour chaque étape du processus, l'application de la méthode est décrite comme étant soit fortement applicable, applicable ou non applicable. La seconde recense quant à elle ces mêmes méthodes en fonction des attributs suivants :

- La complexité du problème,
- La nature et le degré d'incertitude de l'évaluation des risques en tenant compte de la quantité d'information disponible et de ce qui est nécessaire pour satisfaire les objectifs,
- L'étendue des ressources nécessaires à la méthode en termes de temps, niveau d'expertise, besoins en données et coûts,
- La capacité de la méthode à fournir une sortie quantitative.

Chaque méthode est ainsi jugée par une échelle à trois grades (élevée, moyenne ou faible). Elles sont également classées par types (statistique, analyse fonctionnelle, analyse de scénarios, etc.). Quel que soit la méthodologie et son champ d'application, une déclaration de risque bien encadrée doit prendre en considération des quatre caractéristiques suivantes (CASE) :

- C - conséquence - quel est l'impact du risque ?
- A - actif - quel bien (s) sont à risque ?
- S - source - quels sont les dangers ou les acteurs de la menace derrière ce risque ?
- E - événement - quel type d'incident est considéré ?

La NASA (Dezfuli, 2011) ou le département de la défense américain (Department of Defense, 2015) utilisent ce même cadre pour décrire de manière concise un risque : « Given that [CONDITION], there is a possibility of [DEPARTURE] adversely impacting [ASSET], thereby leading to [CONSEQUENCE]. » On remarque le lien entre les critères utilisés par ces méthodologies et les définitions du risque évoquées précédemment. En effet, évaluer un risque revient à définir le scénario d'incertitude qu'il va engendrer, estimer sa fréquence et ses causes d'apparition pour enfin juger l'impact de ses conséquences. Cette évaluation repose sur un examen de toutes les informations pertinentes sur lesquelles les décisions de gestion seront prises. Le résultat de cet examen peut globalement amener à trois conclusions possibles (Aven et Renn, 2010) :

- Situation intolérable : la source de risque a besoin d'être éliminée, abandonnée ou remplacée. Dans les cas où cela est impossible (par exemple risques naturels), les vulnérabilités doivent être réduites et l'exposition limitée au maximum (malgré les ressources que cela implique).
- Situation tolérable : les risques doivent être réduits ou manipulés d'une autre manière, dans les limites d'investissements raisonnables en ressources.
- Situation acceptable : les risques peuvent être considérés comme négligeables, tout effort de réduction est

inutile. Cependant, l'identification reste indispensable pour une représentation globale des risques. En effet, dans le cas d'interdépendances entre les tâches d'un processus, une situation acceptable pour une étape peut être la source de risques d'une étape future.

Pour l'analyse des risques, il est plus utile de se concentrer sur les risques tolérables et ceux dont la tolérance est contestée ; les autres cas étant assez faciles à traiter. Dans le cas des risques intolérables (et souvent dans le cas des tolérables mais très contestés), les gestionnaires de risque doivent opter pour des stratégies de prévention consistant à remplacer l'activité dangereuse avec une autre activité. Cependant, il faut d'abord s'assurer que le remplacement ou l'évitement ne va pas introduire plus de risques ou d'incertitudes (Wiener cité par Aven, 1998). Une fois identifiées, les options de gestion les plus courantes sont donc l'évitement, la réduction, le transfert ou encore l'acceptation des risques. L'évitement se caractérise par la sélection d'un chemin de développement qui ne serait plus impacté par le risque. Il peut s'agir aussi de la prise de mesures limitant complètement le risque. Le transfert de risques reflète quant à lui les moyens de faire passer la responsabilité et les conséquences du risque à une entité tierce. L'acceptation reste une option de gestion consistant à prendre la décision éclairée de ne rien faire au sujet d'un risque et d'en prendre la pleine responsabilité, tant pour la décision que pour les conséquences qui peuvent en résulter.

4.4 La prise de décision

La conception et le développement de systèmes d'ingénierie implique de nombreuses décisions qui nécessitent un équilibre entre diverses considérations techniques et commerciales. L'ensemble devant être compatible avec les attentes de toutes les parties prenantes. Pour aider à prendre ces décisions, un processus formel, logique et cohérent est nécessaire. Ce dernier doit également pouvoir être déployé sur l'intégralité du processus de développement produit (Elliott, 2010). La prise de décision dans ces conditions, est aujourd'hui connue sous le nom de « Risk Informed Decision-Making » (RIDM). Cette notion a été évoqué pour la première fois dans une thèse commandée par la NASA (Dezfuli *et al.*, 2010) ayant pour but de développer leurs méthodes de prise de décisions. RIDM est destiné à aider un groupe consisté de plusieurs parties prenantes, dont chacune, peut avoir des priorités différentes à approcher un problème de décision dans lequel il y a un certain nombre d'objectifs ayant de nombreuses conséquences et incertitudes. Même si les techniques RIDM peuvent être appliquées à un large éventail de problèmes de prise de décision, l'accent est mis sur ceux qui se posent au début des phases de conception du développement de systèmes d'ingénierie. Pour pallier au manque de contrôle en temps réel et afin de favoriser la gestion proactive des risques, il intègre, dans un cadre unique et cohérent, une méthode complémentaire au RIDM : le CRM (Continuous

Risk Management). Le processus RIDM traite les décisions prises dans les phases initiales du projet afin d'assurer les objectifs globaux fixés. Le CRM, comme son nom l'indique, adresse les tâches mises en œuvre suite à l'alternative choisie par le RIDM et assure que ses exigences prédéfinies soient remplies. Ces deux aspects travaillent ensemble pour assurer une gestion efficace des risques dans les programmes et projets que la NASA conçoit, développe et exécute.

Deux gammes d'outils se distinguent donc : les méthodes permettant la prise de décision dans les phases primaires du développement produit et les outils permettant d'avoir un suivi en temps réel de l'évolution ou de l'apparition de nouveaux risques. On remarque de nouveau que le temps est une variable clé dans la prise de décision. Dans les phases préliminaires, il est généralement commun de prendre plus de temps pour faire les choix directeurs d'un projet. Lorsque le gestionnaire arrive dans des phases plus avancées de réalisation et qu'il se retrouve face à des risques non identifiés auparavant, et donc pour lequel il n'a pas de chemin d'évitement, sa prise de décision doit, de fait, être plus rapide. Or, il est évident qu'une décision prise dans l'urgence a de forte chance de ne pas être optimale.

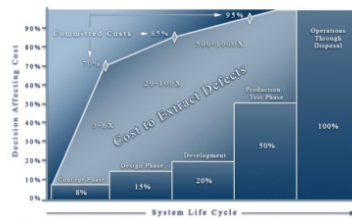


Figure 4 : Coût du changement en fonction des phases de développement (Lockheed Martin Corporation, 2012).

Cette figure illustrant les coûts engendrés par les décisions prises démontre la nécessité d'avoir, dans le développement produit, une méthodologie de suivi des risques en temps réel. De plus, le cadre de travail développé par la NASA (Dezfuli *et al.*, 2010) appuie le fait que les facteurs de risque de chaque sous processus doivent être pris en compte et évalués en début de projet. En effet, ils auront un impact important sur la performance (délais, coûts, qualité) finale de la totalité du cycle de développement.

4.5 Limites des méthodes d'évaluation des risques

Comme souvent, des biais peuvent se produire lorsque les entrées du système d'évaluation d'un risque ou d'une décision sont estimées par des experts ou des décideurs. Quand ces entrées sont biaisées, elles peuvent sérieusement réduire la qualité du modèle et de l'analyse en résultant. Un article montre comment les biais cognitifs ou motivationnels impactent l'analyse de risque (Montibeller et Von Winterfeldt, 2015). Ce dernier donne ainsi une classifica-

tion des biais en fonction de leurs impacts et de leurs difficultés à être réduits. De même, il est recommandé, pour augmenter la fiabilité des informations sur lesquelles seront basées les décisions, qu'elles proviennent d'un échantillonnage d'employés représentant tous les niveaux hiérarchiques.

5 SYNTHÈSE ET CARACTÉRISATION DU LIEN ENTRE RISQUE ET PERFORMANCE EN DÉVELOPPEMENT PRODUIT

Il y a plusieurs raisons à l'origine des difficultés de coûts et de calendriers associés aux projets aéronautiques : on peut citer le financement initial insuffisant, le calendrier inadéquat, l'immaturité technique (due à la technologie, à l'état de la conception au niveau du système ou encore de la connaissance de son état réel d'avancement), (Rebentisch, 2008) l'instabilité du financement, le manque de soutien logistique, une formation inadéquate, etc. On peut dire que les trois premiers de ces contributeurs ont le plus d'impact dans les premières phases d'un projet, même au point de développement conceptuel. Une méthodologie appelée « Risk Identification: Integration and Ilities » aussi connue sous l'acronyme RI3 créé en 2008 est un exemple d'approche haut niveau combinée à une approche de bas niveau. En effet, les processus clés sont caractérisés par des critères tels que leur maturité de conception ou leur stabilité et ensuite associés à des questions spécifiques à chacun des thèmes. La question de l'immaturité technologique a été si souvent indiquée dans les dépassements de coûts et de calendriers que le DOD (Department of Defense) a adopté les niveaux de préparation de la technologie ou « Technology Readiness Levels » (de TRL), à l'origine développés par NASA (Mankins, 1995).

6 CONCLUSION

Le risque peut être défini comme la « variation des résultats autour de l'attente » (Oduncuoglu et Thomson, 2011) ; en d'autres termes, le risque se réfère à tout ce qui pourrait différer des attentes initiales. En outre, les caractéristiques essentielles de tout projet d'ingénierie sont de produire un résultat conduisant à la satisfaction du client dans le délai prévu et le coût budgétisé. Au cours d'une activité de conception technique, le risque inclut les modifications de conception tardive, les défauts du produit, la variabilité de fabrication, les défaillances structurelles et techniques (matériaux, outils, procédures de traitement, spécifications d'installations), les facteurs humains, etc. Au début ainsi que tout au long du projet, il existe des incertitudes de ce type pour chacune des phases du développement. Une bonne gestion peut donc aider à atténuer le risque et les conséquences négatives découlant des incertitudes, et ainsi de maximiser les possibilités que les résultats soient conformes ou même meilleurs que les valeurs cibles. C'est en ce sens que cet article ouvre à de futures recherches me-

nant à l'établissement de nouvelles pratiques spécifiques au monde de l'aérospatial.

REFERENCES

- Aven T., Renn O. 2010. Risk Management and Governance - Concepts, Guidelines and Applications, 16. Springer Heidelberg.
- Aven, T. 2011. « On how to conceptualise and describe risk ». Reliability: Theory & Applications, vol. 2, no 1, p. 28-37.
- Augustine, Norman R. « Augustine's Laws » American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. Reston, VA, 1997.
- Belay, Alemu Moges, Torgeir Welo et Petri Helo. 2014. « Approaching lean product development using system dynamics: investigating front-load effects ». Advances in Manufacturing, vol. 2, no 2, p. 130-140.
- Boeing Integrated Defence Systems, David Whelan. 2008. « Impact of Technologie Readiness Levels on Aerospace R&D ».
- Browning, T. R., et S. D. Eppinger. 2002. « Modeling impacts of process architecture on cost and schedule risk in product development ». IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 49, no 4, p. 428-442.
- Bruno, Michael. 2015. « Top-Performing Companies Prove Their Business Prowess ». Aviation Week & Space Technology.
- Cabinet Office. 2002. Risk: Improving government's capability to handle risk and uncertainty. London: Cabinet Office.
- Chiesa, Vittorio, Federico Frattini, Valentina Lazzarotti et Raffaella Manzini. 2009. « Performance measurement of research and development activities ». European Journal of Innovation Management, vol. 12, no 1, p. 25-61.
- CMMI ® Product Team. 2010. CMMI ® for Development, Version 1.3.
- Dezfuli H., Benjamin A., Everett C., Maggio G., Stamatelatos M., Youngblood R., Guarro S., Rutledge P., Sherrard J., Smith C. 2011. NASA Risk Management Handbook.
- Dr. Homayoon Dezfuli, Dr. Michael Stamatelatos, Mr. Gaspare Maggio, Mr. Christopher Everett, Dr. Robert

- Youngblood. 2010. NASA/SP-2010-576 - Risk-informed decision making handbook.
- Elliott, Michael A. 2010. « Contributions to Risk-Informed Decision Making ». Massachusetts Institute of Technology, 126 p.
- Engineering, Office of the Deputy Assistant Secretary of Defense for Systems. 2015. Department of Defense: Risk, Issue and Opportunity Management Guide for Defense Acquisition Programs. Washington, D.C.
- Eric, Rebentisch. 2008. « Preliminary Observations on Program ». White Paper Lean, vol. 96, no 03.
- Graham, J. D., & Weiner, J. B. 1995. « Risk versus risk: Tradeoffs in protecting health and the environment. Cambridge: Harvard University Press ».
- Hilda C. Martinez Leon, Jennifer A. Farris, and Geert Letens. 2013. « Improving Product Development Performance Through Iteration Front-Loading ». IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 60, no 3, p. 552-565.
- Janaina Mascarenhas Hornos da Costa, Josef Oehmen, Eric Rebentisch, Deborah Nightingale. 2014. « Toward a better comprehension of Lean metrics for research and product development management ». R&D Management.
- Jia Qian, Bi Jingyuan, Wang Liwei, Yang Yukun. 2014. « A Knowledge Maturity Model for Aerospace Product Development ». Open Journal of Social Sciences, vol. 2, p. 150-155.
- Kaplan, S. (1991). Risk assessment and risk management: Basic concepts and terminology. In Risk management: Expanding horizons in nuclear power and other industries, Boston, MA: Hemisphere, p. 11-28.
- Kuo Fred, Cyr Kelley, Majerowicz Walt. 2014. « Duration Uncertainty Based On Actual Performance ». In NASA Cost Symposium
- Loch, C.H. and Tapper, U.A.S. 2002. « Implementing a strategy-driven performance measurement system for an applied research group. ». Journal of Product Innovation Management, vol. 19, no 3, p. 185-198.
- Lockheed Martin Corporation, Ming Chang. 2012. « Planning and Executing an Integrated Test Strategy for Complex Aerospace Systems »
- Lowrance, W. W. 1976. Of acceptable risk: Science and the determination of safety. Los Altos: William Kaufman.
- Mankins, John C. 1995. « Technology Readiness Levels ». White Paper, NASA Office of Space Access and Technology.
- Marle Franck, Pointurier Catherine, Jaber Hadi. 2015. « Managing a complex project using a Risk-Risk Multiple Domain Matrix ». Journal of Modern Project Management.
- Montibeller, G., et D. von Winterfeldt. 2015. « Cognitive and Motivational Biases in Decision and Risk Analysis ». Risk Anal, vol. 35, no 7, p. 1230-51.
- Oduncuoglu, A et Thomson, V. 2011. « Evaluating the risk of change propagation. ». DS 68-10: 18th International Conference on Engineering Design, Vol. 10, Denmark, 15.-19.08. 2011.
- Pakdil, Fatma, et Karen Moustafa Leonard. 2014. « Criteria for a lean organisation: development of a lean assessment tool ». International Journal of Production Research, vol. 52, no 15, p. 4587-4607.
- Project Management Institute. 2013. A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide.
- Renn O., Graham P. 2005. Risk governance: Towards an integrative approach.: International Risk Governance Council (IRGC).
- Standard, International. 2009. ISO 31010:2009 - Risk management
- Thomas, Victoria Katherine. 2007. « A Method for Scenario-based Risk Assessment for Robust Aerospace Systems ». The Academic Faculty, Georgia Institute of Technology.
- Verworn, Birgit, Cornelius Herstatt et Akio Nagahira. 2007. « The fuzzy front end of Japanese new product development projects: impact on success and differences between incremental and radical projects ». R&D Management, vol. 38, no 1, p. 1-19.
- Willis, H. H. 2007. « Guiding resource allocations based on terrorism risk ». Risk Anal, vol. 27, no 3, p. 597-606

ANNEXE XIII

ARTICLE - CONFÉRENCE ASEM 2017

*Proceedings of the American Society for Engineering Management 2017 International Annual Conference
E-H. Ng, B. Nepal, and E. Schott eds.*

IDENTIFICATION OF RISK FACTORS AND INFLUENCES ON AERONAUTICAL PRODUCT DEVELOPMENT PERFORMANCE

Pierre Bonzel*, MS
Yvan Beauregard, Ing., Mba, Ph.D., Pmp
École de Technologie Supérieure

*pierre.bonzel@gmail.com

Abstract

Organizations are now forced to not only continuously introduce new products, but also to shorten development times, reduce costs, and improve the variety and quality of their products. In product development process, risk management is too often poorly used and set aside from planning tools. Moreover, measurement of its performance is not well defined and does not allow comparisons with peers or supports of continuous improvement of the in-placed process. The research objective is to provide a framework to enhance risk management performance across aeronautical product development. It gives risk managers the proper tools to monitor and know where resources and efforts should be allocated to improve their process. In this paper, we define what risk is in product development, how to represent it and how to measure its impact on performance markers. Through surveys across key players in the Canadian aeronautical industry, the research highlights the various practices and needs in risk management, product development, and their performance measurements. Finally, through design science, we propose a methodology, which defines what risk is in product development and how to measure the performance of its management. As one of the key processes to limit usual delay and cost overrun in the aeronautical industry, the key contributions of this research are the establishment of specific characteristics and methods that can serve as reference practices and as a basis for the future design of a tool to assist in the evaluation of aeronautical development projects.

Keywords

Risk management, product development, performance measurements, continuous integration, big data.

Introduction

Product development process management is far from a new concern in the aeronautical and defense industry. These companies have studied these issues for decades. Despite the fact that they remain globally strong and have deep management expertise in their product development programs, a number of projects are still facing cost overruns, scheduling delays and quality issues. Although these are sometimes commercial successes, both private and public clients want these development programs to be well managed, both in terms of the technologies used and the in place processes.

Last decade, information technology created many opportunities for improvement that were impossible before. For example, evolution in business intelligence supported by new data analysis techniques and capabilities have brought tremendous improvements to marketing operations. With data automatically stored since the introduction of complex integrated management tools in organizations, product development processes can now benefit from the big data era. Through better integrated and data supported risk management processes, organizations have considerable potential to improve their decision-making processes across product development (Tsumoto, 2010).

The last risk oriented audit from PricewaterhouseCoopers (PwC, 2016), conducted across 23 industry segments, highlighted two parallel skills companies need to have in order to succeed in a sustainable way: risk agility and risk resilience. As a matter of fact, in high end technological developments such as airplanes, the growing system's complexity and increasingly stringent certification requirements, tend to lead to increased costs and to longer development cycle time. To support the integration of an incredibly fast technological evolution and for historical

organizations to always be a step ahead of the competition, processes, controls, tools and management techniques need to step up and enter into this new technological era.

Design science aims to produce systems that do not yet exist or to modify existing systems in order to obtain better results for a given problem. By reinforcing the knowledge of a specific problem, by developing new methods of resolution to solve these specific problems by creating new tools (Dresch, Lacerda and Antunes Jr., 2015), this methodology therefore aims to develop solutions for specific problems. This paper will go through three of the five steps of the methodology. A succinct literature review followed by a survey across aeronautical industrial key players will bring awareness of the problem. Through analysis, it will lead to the design of a suggested solution. Finally, proposed artifacts will be described. The last two steps, assessment of the proposed tool and process as its expected results will be discussed in the recommendation and conclusion section.

Literature Review

This section, through a focused review of the literature, presents the main characteristics of existing product development and risk management processes. Then it exposes, through recent work, the links between those processes and big data supported tools, processes and methods.

Product development

Most of the existing product development standards and guidelines rely on splitting the process by stage. Evolution through those stages is decided upon multiple prior established criteria. The literature on this subject is broad, encompassing many related fields such as marketing, engineering, strategy or organizational and behavioral aspects. The widely used Stage-Gate® process, now registered as a trademark of “Product Development Institute Inc.”, provides a method for continuous review of the product development process. Product development thus becomes a logical progression that meets defined objectives. As mentioned above, most other development processes in large-scale industry are inspired or derived from it. Since this process has been evolving many times, even recently, since its creation from Cooper works in 1986, we will take it as our reference process.

This process follows six linear steps, themselves interspersed with five “go-no-go” decision gates. As gates are passing, the projects undergo the next screen, and similar methodologies are applied until the end. The closer to the end gates, the heavier the engaged spending in the next phases will be.

In recent years, “agile” development methodologies have been widely adopted by the software development industry, where they have yielded positive results. A new approach, the Agile-Stage-Gate® hybrid model, integrates the principles and philosophy of agile project management with classic Stage-Gate®. As mentioned in a recent article (Cooper & Sommer, 2016), the integration of agile methods into Stage-Gate® would be the most significant change in product development methods produced for nearly 30 years. Initial but limited data indicates that a handful of manufacturing firms have used this hybrid model for their new product development endeavours (Cooper & Sommer, 2016). New tools such as stories, sprints, scrums, burn down charts and backlogs were integrated and then used on physical products from design to manufacturing. Data show first benefits of this hybrid model. Process is faster and more responsive to the changing needs of customers due to a better integration of customer feedback. Team communication and time to market is also largely improved. The example of a toy company, LEGO®, is provided by (Cooper & Sommer, 2016) as an illustration of those preliminary results. Another recent case study shows that the agile philosophy is not yet generalized for many manufacturing companies (Braz, 2016). However, it was found that many agile management practices were already implemented in some companies without any explicit association with this philosophy (Braz, 2016). While the initial results look promising, much research is needed (Cooper & Sommer, 2016, Braz, 2016) to explore this new hybrid model and its integration capacity within industrial sectors such as aeronautical or defense.

New aeronautic product development often takes years, and many unexpected events can occur during this time. This particularly long cycle time generates numerous external uncertainties. The market may change, making initial estimates of market size and product acceptance invalid. Also customer requirements amendments can modify product specifications. Competitors may introduce similar products during development, creating a less receptive market environment. Reducing development time is therefore critical to success (Beauregard, Bhuiyan & Thomson, 2008). Therefore, regarding our targeted industries, product development process should be tailored to fit those inherent characteristics: relative low volume production, complex products partly based on research and development, long development cycle, highly integrative, heavy investment, many stakeholders and certification process requiring adherence to high quality standards.

Risk management

Risk is present in almost every aspect of life. Humans try, voluntarily or not, to reduce it without ever being able to eliminate it. Industrial framework and its necessity to generate commensurate profits with investments made have pushed the development of many risk analysis methods. The purpose of this section is to expose main aspects of existing risk assessment systems and methods.

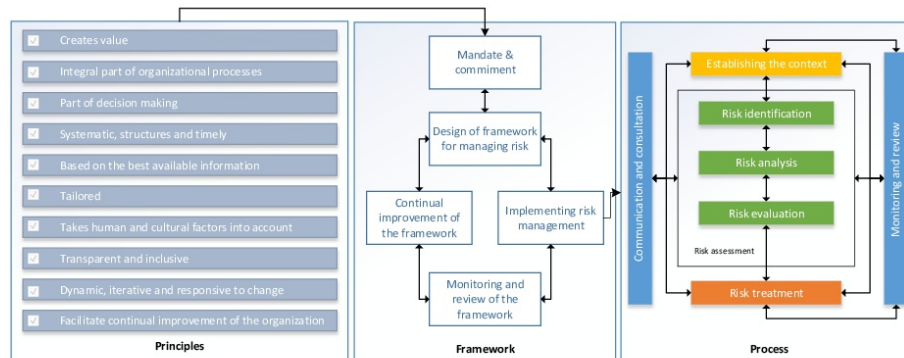
A well-accepted definition of risk within project management is to consider it as an uncertain event or condition that has a positive (opportunity) or negative (threat) impact on project objectives (PMI, 2013). However, for most practitioners, risk management aims to identify and manage threats. Therefore, considering product development, we follow the definition ISO 31000 (ISO, 2009) which defines risk as the effect of uncertainty on the achievement of planned objectives. Effect means the deviation from what is expected (positive and/or negative). The objectives are various (financial, calendar, technical, commercial, environmental, etc.) and can be applied at different levels (strategic, organizational, product, process, etc.). In this context, uncertainty should not be confused with risk. It is the state, even partial, of information deficiency related to understanding or knowing the consequence or likelihood of an event (Kaplan & Garrick, 1981). Therefore, risk is induced by uncertainties. Uncertainty can only be reduced but never totally eliminated, regardless of how risk management is conducted (Kaplan & Garrick, 1981). From a mathematical perspective, definition of risk could be characterized by the triplet (S_i, P_i, C_i) , where S_i is the i^{th} scenario, P_i the probability of this scenario, and C_i the consequence of the scenario $i = 1, 2, \dots, N$, (Kaplan, 1991).

Structure of the risk management process can be seen through ISO 31000 (ISO, 2009). This generic framework is used, studied and detailed by many books (Aven, 2016). It aims to be independent of any specific application context and therefore tailored to fit any needs. This standard lists eleven principles to which the risk management strategy put in place must respond to (Exhibit 1). Through ISO 31000 (ISO, 2009), risk management is therefore generally defined as the set of activities executed and coordinated to direct and control the risks of an organization. Its process is decomposed according to the following steps (Exhibit 1):

- 1. Establish the context: define the purpose of the risk management activities and specify criteria for evaluating those activities;
- 2. Identify the situations and events (hazards/threats/opportunities) that may affect the activity and its defined objectives. Many methods have been developed for this task;
- 3. Analyze the causes and consequences of these events using appropriate techniques;
- 4. Estimate the risk by judging the likelihood of events and their consequences and establishing a risk description or characterization;
- 5. Risk treatment.

By their interdependent natures, steps 2, 3 and 4 are found to be the heart of the process and are grouped in a block described as “risk assessment”. The tools available for their achievements as their application fields are listed and compared in ISO 31010 (2009).

Exhibit 1. Relationships between risk management principles, frameworks and processes (ISO 31000, 2009).



These five stages are strongly tied to two blocks: communication on one edge, monitoring and review on the other. The communication and feedback of the various internal departments concerned are in a sense central to this

process (Department of Defense, 2015). The key importance of communication in this process could be linked to the latest developments in the Stage-Gate® hybrid process and its information sharing potential improvement. Indeed, the aim is to synthesize internal or external risks during risk reviews so that they can be managed efficiently. Through monitoring, it is this synthesis of the information emanating from its various players that promote its success. Thus, generation and information processing are strongly linked to the successful management of project's inherent risk (Ulrich & Eppinger, 2004). Documentation and evaluation of the entire risk management program is also necessary to ensure its effectiveness. The review of its processes allows its continuous improvement and ensures its adaptability to the new risks that may arise.

From data to wisdom

In a new article (Choi et al, 2017) provides an overview of recent developments and frameworks involving the massive use of data to support internal business processes intelligence. They conclude with a table listing the areas of future research to fill gaps they observed. We can extract two areas that join and support the context of our study:

- **Build an operational risk management framework specifically adjusted in the “big data” era** with the objective of optimizing the overall process outcomes;
- **Link the research done on the various management processes inherent to product development** so that they can integrate into a global data system. This would allow the use of models based on historical data and thus establish a new framework for decision-making.

Nevertheless, the efficient use of data faces some major problems. Application of ISO 31000 (ISO, 2009) risk management standard process in a large organization generates many semi-structured data that surpasses the human capacity of engineers to make them meaningful (Beauregard, 2015). In addition, data sources very often take different forms and formats. In NASA's propulsion department, a text exploration experiment of project data has shown risks documented in excel spreadsheets, PDF files, non-relational databases, or even PowerPoint files (Port et al., 2011). Another pitfall related to existing data is the lack of rigor in the information gathered during these processes (Port, Nikora, Hihn, & Huang, 2011). Because the ability of text-based methods is ineffective in ignoring information that is not important, the quality, rigor and standardization of the processed data are key factors in their success. However, this rigor still seems to be lacking in the large industrial enterprises. Historically, the risk assessment process is carried out based on experts involved in the process. Experts have prejudices drawn from their experience that may make them forget or underestimate the particular risks of project failure. This results in a very limited data coherence between the projects. Particularly with regard to the identified risks, the way they are described or how they are addressed. This therefore leads to unstructured descriptions of risks or decisions expressed in natural language that can be redundant, ambiguous and incoherent. This temporal non-uniformity makes the use of past project data complex.

As illustrate at the top of Exhibit 4, data, even if in its raw form have no value, lay the foundation of other pyramid stages (Jifa & Lingling, 2014). From its quality comes the potential added value that could be extracted to serve product development process improvement. Those factors demonstrate and justify the need for a data warehouse that is common to all processes underlying the product development. This single repository should serve as a source for their tools and their metrics (Port, Nikora, Hihn, & Huang, 2011, Choi, Chan, & Yue, 2017).

The human and intellectual inability to give meaning to the quantities of data offered by the risk management and decision-making process within the product development (Beauregard, 2015) justifies the development of a computer-based tool. To pursue risk management processes, from a standardized data collection to extraction and visualization, such tool would help to integrate lessons learned into new risk reviews. Through a cross hierarchical targeted use, aim would be to identify and address risks more quickly. Risk management performance would increase as the key actors, from executive to managers or engineers, are getting, closer to the top of the above pyramid. An appropriate and faster response would reduce the cost overruns of future product development. Thus, the decision-making process would be supported by projects historical data (Choi, Chan, & Yue, 2017).

Synthesis: data oriented risk management process for complex engineering systems

Complex engineering systems, as those developed by aerospace industries, evolved quickly and always push forward latest technological or technical innovation. Therefore, they are one of the most challenging product developments to drive. Unfortunately, development processes such as risk management are often left aside. Those internal processes often seem outdated. Due too many reasons, as long development cycle, lack of investment in what some consider as a non-value added expense, or misunderstanding of their benefits, physical product development processes don't stand the technology they served. As stated in a many research, software development, as a more recent industry, got rid of

old linear discrete practices. It drives its projects around agile principles and processes continuous integration. For nearly more than a decade those data driven and continuously integrated methodologies have proven their efficiency.

During product development process, risk management should be used as a tool to drive schedule, cost and quality. From its continuous integration in stage gate, or even agile stage gate, based product development process, it could help, through the gathered data, to create relevant information that will support current and future decision-making. As expressed above, product development already tends to evolve in a more continuous integrated and agile process. Most aircraft manufacturers exist for decades and internal management processes are hard and long to evolve. Even though for most they are facing difficulties to meet estimated cost and schedule. Through literature, it appears as a lack of data-oriented tools and techniques that could provide a better integrated risk management process.

Aeronautical Key Players Satisfaction and Needs

Given the established context, there is potential for significant research and improvements in risk management integration and its execution within aeronautical product development. Therefore, it is necessary to sketch out the specificities and the objectives of this study through an analysis of practitioners needs. Aim is to precisely identify, understand and prioritize needs in order to provide a useful and relevant answer. To do so, a survey was disseminated to provide an overall picture around three categories: current practices, levels of satisfaction and needs. Results extracted from this survey lay the foundations, the orientation and the expected results of the proposed framework.

Survey description: sampling, question design and data collection

To be relevant and provide characteristics through statistical estimates of the target population, survey respondents needed to represent more than eighty percent of aerospace research and development expenditures in Canada. This requirement has been met by presenting and spreading the survey from to the “Consortium for Aerospace Research and Innovation in Canada” (CARIC) and the “Consortium for Research and Innovation in Aerospace in Quebec” (CRIAQ) members. With seventy industrial members, those two consortiums regroup every significant aeronautical or aerospace companies in Canada.

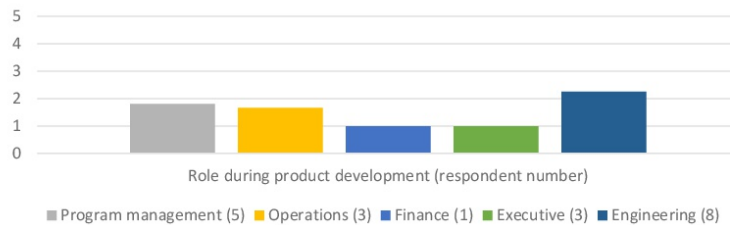
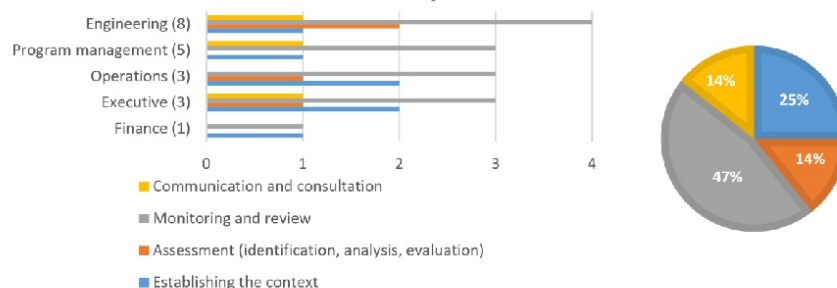
Following a first review of the literature, a draft of the objectives and then of the question was written and then reviewed by three people working in the field of aeronautical project management. At the end of a feedback based iterative process, the survey had reached a sufficient maturity and was disseminated with an introductory message. Some questions were asked in order to evaluate the respondent’s satisfaction. A five-levels Likert scale was set: very dissatisfied, dissatisfied, OK, satisfied, very satisfied. To ensure the validity of this kind of answer, order of choices is changed with each question. Thus, in order to increase the validity of collected answers, multiple-choice answers appeared in a random order. Finally, for questions requiring a few sentences to answer, it was easy, during results analysis, to determine which ones to consider as valid.

The two objectives of the collected data were to understand the risk management process industry state-of-the-art and to establish the expectations and needs of aeronautical industry in terms of improving these processes. The survey conducted was designed and can be described through its respondents around six main axes: their hierarchical characterization, their current risk management process and their overall satisfaction, the difficulties they encountered in applying it, the root causes of those difficulties, their needs to address those difficulties and therefore how to improve their risk management process, the performance measurement of the risk management process and its bounds within product development.

Results

The survey was discontinued after twenty valid responses. Regarding the seventy-targeted companies, this is sufficient to reveal a clear general trend and a relevant list of criteria and needs.

The first element that supports the legitimacy of this study is the overwhelming lack of satisfaction with in place methods and practices. Indeed, 75% of the practitioners are OK, dissatisfied or very dissatisfied with the risk management processes currently in place in their organization. None is very satisfied. Exhibit 2 shows global results under OK satisfaction, especially for the most two relevant (in terms of respondents number) roles: program management and engineering. Even with only three responses, it also shows strong dissatisfaction from executives. With Exhibit 3, we can see which part of the process appear to be the most difficult to the respondent. Monitoring and review as establishing the context stages clearly appear to be those on top. Core steps contained in risk assessment stage (see Exhibit 1) does not seem to be so difficult to implement.

Exhibit 2. Relationships between average satisfaction levels (0 to 5 scale) and roles during product development.**Exhibit 3.** Risk management stage subject to difficulties occurrence and repartition across roles in product development.

Respondents expressed their needs for an improved risk management process. Every given answer falls at least within the following three axes:

- To predict cost, schedule and results of a given development project;
- To drive down costs, schedule and quality exposure to events;
- Increase awareness of opportunities.

The given reasons for this non-satisfaction are centered around a lack of a dynamic process, concretely applicable, not too costly or time consuming, and capable of providing the relevant information to the different hierarchical levels of the organization. Yet, 80% of respondents report doing risk reviews in their product development processes and 75% would be interested in more integration of risks process outcomes in their decision process. It shows the massive interest of the respondents and their need to control risks in this process. Even if risk reviews are carried out mainly periodically (monthly, quarterly or at each decision gate of the product development), only 55% reported the integration of its results and therefore more broadly of their risk management process within their management tool used to plan and monitor the product development itself.

Respondents were then asked which phases of the risk management process were the most difficult for them to implement. The lack of clear trends shows that application of the risk management process, as a whole, is problematic. The reasons given as justification for these difficulties are very instructive. Here is a summary of expressed difficulties with the risk management process:

- Formal process information, metrics and indicators;
- Structured data from the past and current projects risk reviews;
- Lack of resources especially time;
- Reliable forecast;
- Agility to fit dynamic market;
- Government understanding of use, benefit and applications: be able to feed other departments with risk management process results.

To address these challenges, respondents were asked to express their needs in terms of improved tools and processes used for their risk management processes. After synthesis, the following list emerges:

- **Harmonize** and integrate risk management process with other relevant sources of information related to the same product development program;
- Data base tool that could serve process improvement on new similar products and support decision making by giving an easier access to relevant data, metrics and indicators;
- **Better understanding** and training at engineers level regarding the process and how its outputs could help them;
- A way to involve every hierarchical level to collect relevant data, and provide them with process outcomes.

Finally, 75% of respondents do not measure performance of risk management process itself. This raises an interesting paradox; the vast majority of respondents use and support the appropriateness of using and improving a risk management process within their organization's product development. However, they are mostly unsatisfied with it even if most of them have no performance metrics to characterize and get feedback from any improvement effort.

Discussion

Practitioners who participated into this survey seemed to be fully aware about risk management process purposes. Therefore, considering this awareness about its potential outcomes when properly execute, for most, they are dissatisfied with its current implementation in their respective organization. As Exhibit 3 shows, it is not the risk assessment stage of the process that appears to be the most complicated one to implement. Those assessment processes are well known and explicitly detailed methodology available in every risk management standard. Monitoring and reviewing identified risk and the process itself over time is clearly more challenging and relying on less objective and well-defined tools and technique.

From results analysis, we can extract two main axes of improvement for integrating the current risk management to the product development process. The first need is the obvious absence of performance measurement being used for the risk management process itself. Indeed, the improvement of an existing process can only be envisaged if we have the ability to measure its current performance. The second highlighted need is relative to the provision of a better understanding of the process, its outputs and the potential contribution of generated project's data to improve its efficiency and therefore its performance. Everyone, at his(her) level and with his(her) very own competency should be involved in the process, and contribute to providing more exhaustive and relevant risk process outcomes. A better data oriented integration of the risk management process to the product development itself could help achieve those improvements. Even if they have proven their efficiency, risk management standards, guidelines and frameworks (i.e. ISO 31000, PMI) applications in large-scale engineering product development seem poorly integrated and even badly measured. The above synthesis of respondent expectations and criteria will lay down the justifying bases and establish the requirements for the proposed tool and method.

Enhanced Risk Management Continuous Integration

Based on above literature review and survey results, this section relates the third step of our design science methodology. The first part brings the definition of the proposed tools and lays out its requirements and objectives to fit targeted needs. Therefore, the required input and process are exposed. Finally, outputs and expected results are detailed.

Tool requirements and objectives

The previous steps of the design science process brought awareness of the problem studied. Outcomes can be summed up and listed as design requirements to ensure the proposed tool meets risk management practitioners expectations and ISO 31000 (ISO, 2009) eleven principles (see Exhibit 1):

- Provide a framework that ensures proper structured database;
- Formalize risk management steps and provide end users a clear role in the process;
- Structure the risk description and assessment to ensure coherent and structured data;
- Categorize and characterize risks uniformly through interactive form;
- Provide, according to hierarchical position in the organization the relevant:
 - Declared risks;
 - Possible actions to take on declared risks;
 - Metrics and indicators regarding a specific work package, the entire or a sub section of the project;
- Allow all the actors of the current product development project to raise, at any time, a risk on his assigned work package;
- Following organizational order, raised risk should be reviewed and therefore be assigned to the most competent asset;
- Connect as an add-on with existing product life cycle management tools to retrieve relevant product development and organization data.

Inspired by code management tools used in the software industry to support continuous integration, the above-described risk continuous integration tool wishes to serve the following objectives:

- Risk process, from identification the mitigation plan, is executed continuously;
- Every employee implied in current product development is, at his level, implies in risk the management process;
- Provides analytical data to measure risk process engaged resources performance;
- Risk management performance improvement through agility and reduced risk identification time;
- Through learning times, the system brings intelligence to the risk management process by providing insight on the best solution to take on a risk, a work package or on the entire project.

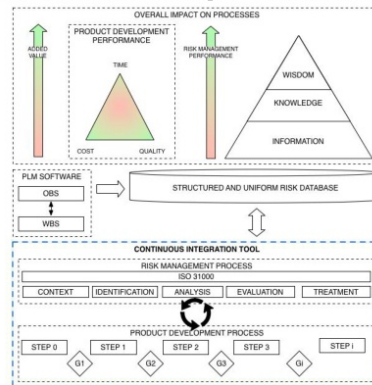
Generic use case

For a better understanding of software ins and outs, the following part describes one of its generic uses cases. We assume an organization with a well-established organizational breakdown structure (OBS) which follows a stage gate product development process linked to a proper work breakdown structure (WBS). The organization already has in place a product lifecycle management software (PLM) which is used to properly plan costs, schedule and resources across its project. Work package is therefore evaluated in terms of time, cost and dependencies. They are also attributes to each department of the organization and consequently to all employees involved in the current project. The proposed tool then requests OBS and WBS, as inputs, through PLM software's application programming interface (API). Those input data are parsed to extract relevant and needed information for the tool to pursue its risk management objectives. OBS and WBS are then merged to expose to each user its relevant work package or also called task. From its simple interface every user can access, at any time, just the information he is supposed to have. Each of them, if it feels the need, can now raise a risk on one of its tasks. The user, then evaluates the risk, from his(her) point of view, by following the ISO 31000 (ISO, 2009) recommended procedures. Through an interface, this assessment is formally made. Based on this assessment, the so-called declared risk is therefore accessible to the hierarchical superior of the user or to the targeted employee; permission right between users is based on OBS but assignees can be declared during assessment. Anyone who has access to the work package can now review the first made assessment by, for instance, adding relevant data that only him(her) knows. Over time this continuous process supported by proper uniform database and this tool could decline multiple monitoring dashboards to feed every product development departments with proper and useful information.

Top-level design

The following schematic (Exhibit 4) offers a synthetic view of the above design description. It shows the proposed tool from a top-level process oriented perspective.

Exhibit 4. Overall tool architecture and dependence across management concepts.



Conclusions

Risk can be defined as a variation in outcomes around expectation (Oduncuoglu & Thomson, 2011). In other words, the risk refers to anything that might differ from initial expectations. Essential characteristics of any engineering project are to produce a result leading to customer satisfaction within the expected time and budgeted costs. Uncertainties are inherent and unavoidable at each stage of product development. Good management can therefore help to mitigate the risk and negative consequences of uncertainties, thereby maximizing the likelihood that outcomes will be consistent or even better than target values. Risk management seems to be often set apart from product development process. Through a survey, this study exposed the satisfaction level and practitioners need to efficiently use risk management processes. From those needs, requirements for a new data oriented computer solutions is exposed. With this orientation, this article opens up future research leading to the establishment of new tools specifically designed for continuous risk management integration across complex product development.

Recommendations

As proposed in the survey discussion, it could be interesting to go above this survey by talking to a case study company to, for example, get satisfaction levels and needs with respect to the various roles in the organization. On large sized organization, it would bring more in depth data to help better characterize each department role in terms of risk management process and expected outcomes.

As mentioned in the introduction, this is an on-going study and the proposed tools and artefacts needs to go through the full design science methodology. Designed tool needs to go through a more detailed specification level and, in an iterative process, reviewed by risk-management specialists. Therefore, development could start, and the first release will allow assessing its performance through beta testing on a specific industrial product development.

Acknowledgements

The “Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada” funded this research through the research program entitled “Aerospace Product Development for Sustainable Performance and Optimal Value under Uncertainty” (RGPIN 2015 06253).

References

- Asar P. (2017). *Enhance Your Product Development Lifecycle*. Millennium Engineering and Integration. Retrieved from: <http://www.digitaleng.news/de/enhance-your-product-development-lifecycle/>
- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253 (1): 1–13.
- Beauregard, Y. (2015). Surprises and cost overruns: a lean management approach to reduce surprises and address cost overruns in aerospace product development projects. *Proceedings of the American Society for Engineering Management 2015 International Annual Conference* S. Long, E-H. Ng, and A. Squires eds.

- Beauregard, Y., Bhuiyan, N., Thomson, V. (2008). Lean Engineering Systems for Product Development in the Aerospace Industry. *Proceedings of the 2008 Industrial Engineering Research Conference J. Fowler and S. Mason, eds.*
- Braz, M.L.V. (2016). Agile manufacturing practices for new product development: industrial case studies. *Journal of Manufacturing Technology Management*. Vol. 27 Iss 4 pp. 560 -576
- Choi, T.M., Chan, H.K., Yue, X. (2017). Recent Development in Big Data Analytics for Business Operations and Risk Management. *IEEE Transactions on Cybernetics*. 47 (1): 81–92.
- Cooper, R.G., Sommer, A.F. (2016). *Agile-Stage-Gate: New idea-to-launch method for manufactured new products is faster, more responsive*. Industrial Marketing Management.
- Department of Defense. (2015). *Department of Defense: Risk, Issue and Opportunity Management Guide for Defense Acquisition Programs*. Engineering, Office of the Deputy Assistant Secretary of Defense for Systems. Washington, D.C.
- Dresch, A., Pacheco Lacerda, D., Valle Antunes Jr., J.A. (2015). Design science research. In *Design Science Research*. (pp. 67–102). Springer.
- International Standard. 2009. *ISO 31000:2009. Risk management: Principles and Guidelines*.
- International Standard. 2009. *ISO 31010:2009. Risk management: Risk Assessment Techniques*.
- Jifa, G., Lingling Z. (2014). *Data, DIKW, Big Data and Data Science*. Procedia Computer Science 31: 814–821.
- Kaplan S., Garrick, J. (1981). *On The Quantitative Definition of Risk Risk Analysis*. Vol. 1, 11–27.
- Kaplan, S. (1991). Risk assessment and risk management: Basic concepts and terminology. In *Risk management: Expanding horizons in nuclear power and other industries*. Boston, MA: Hemisphere, p. 11–28.
- Oduncuoglu, A., Thomson, V. (2011). Evaluating the risk of change propagation. *DS 6810: 18th International Conference on Engineering Design*. Vol. 10, Denmark, 15.19.08.
- PMI, Project Management Institute. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. PMBOK Guide.
- Port, D., Nikora, A., Hihn, J., Huang, L. (2011). Experiences with text mining large collections of unstructured systems development artifacts at jpl. *33rd International Conference on Software Engineering (ICSE)*. IEEE, 701–710.
- PwC, PricewaterhouseCoopers. (2016). Aerospace and defense: Learning to build agility for a changing world. *Risk in review: aerospace and defense industry analysis*. Retrieved from <https://www.pwc.com/us/en/risk-assurance/pdf/rir-2016-aerospace-and-defense-industry-insights.pdf>
- Tsumoto, S., Hirano, S. (2010). Risk Mining in Medicine: Application of Data Mining to Medical Risk Management. *Fundam. Inf.* 98 (1): 107–121.
- Ulrich, K. T., Eppinger, S. D. (2004) *Product design and development—Third Edition*. New York, McGraw-Hill.

About the Authors

Pierre Bonzel is currently an aerospace master degree student at École de Technologie Supérieure. Under Dr. Yvan Beauregard direction and through his NSERC funding, he is writing its master's thesis, "Identification of Risk Factors and Influences on Aeronautical Product Development Performance". The past four years he studied software and electrical engineering in France at École Supérieure de Mécanique et d'Électricité. He worked for one year as a technical manager in a manufacturing company. He part time works as lead data scientist for an IoT company where he develops learning models for water usages. Through his studies and his professional experience, he gained knowledge about project management, software development and data science. Those various field engineering enabled him to approach management issues with more data-oriented processes.

Dr. Yvan Beauregard is a graduate from Concordia University with a PhD in mechanical engineering, from Ecole Polytechnique with a B.Eng. in industrial engineering, and from McGill University with an MBA. Dr. Beauregard holds as well a PMP certification as a professional project manager. He is currently a professor in mechanical engineering at École de Technologie Supérieure. His research focuses on the design and operation of aerospace product development value streams for sustainable performance improvement and optimal value under uncertainty. Dr. Beauregard has also been a researcher on NSERC funded industrial project titled "Lean Engineering in Aerospace". He has close to 30 years of experience in engineering, project, and cost management in P&WC, Nortel Networks, IBM, and other organizations. His industrial and research experiences have enabled him to develop competencies in operations research, operations and supply chain management, quality and cost management, lean product development, project and risk management, process and value management, discrete event simulation, facilitation techniques, and MCDA.

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aguilar-Saven, R. S. (2004). Business process modelling: Review and framework. *International Journal of production economics*, 90(2), 129-149.
- Ahmad, A., & Dey, L. (2007). A k-mean clustering algorithm for mixed numeric and categorical data. *Data & Knowledge Engineering*, 63(2), 503-527. doi: 10.1016/j.datak.2007.03.016
- Al-Ashaab, A., Golob, M., Urrutia, U. A., Gourdin, M., Petritsch, C., Summers, M., & El-Nounu, A. (2015). Development and application of lean product development performance measurement tool. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1-13. doi: 10.1080/0951192X.2015.1066858
- Alain, P., & Boëffard, O. (2005). Évaluation des modèles de langage N-gramme et N/M-multigramme. Dans *Actes de la 12ème conférence sur le Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN)* (Vol. 1).
- Augustine, N. R. (1997). *Augustine's laws* (6th éd.). United States of America: AIAA.
- Austen, I. (2015, 8 janvier). Bombardier's CSeries gamble is facing longer odds. *The New York Times*, p. B1.
- Austen, I. (2017, 16 octobre). Bombardier Turns to Airbus to Salvage Imperiled Airliner. *The New York Times*, p. B5.
- Aven, T. (2011a). On how to conceptualise and describe risk. *Reliability: Theory & Applications*, 2(1), 28-37.
- Aven, T. (2011b). On the new ISO guide on risk management terminology. *Reliability Engineering & System Safety*, 96(7), 719-726. doi: 10.1016/j.res.2010.12.020
- Aven, T. (2015). *Risk analysis* (2nd éd.). United Kingdom: John Wiley & Sons.
- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1-13. doi: 10.1016/j.ejor.2015.12.023
- Aven, T., Ben-Haim, Y., Andersen, H. B., Cox, T., Droguett, E. L., Greenberg, M., . . . Thompson, K. M. (2015). *SRA glossary*. Document inédit, Committee on Foundations of risk analysis, Society of Risk Analysis, London, UK.
- Aven, T., & Renn, O. (2010). *Risk Management and Governance - Concepts, Guidelines and Applications*. doi: 10.1007/978-3-642-13926-0

- Baumeister, J., Seipel, D., & Puppe, F. (2009). Agile development of rule systems. Dans *Handbook of Research on Emerging Rule-Based Languages and Technologies: Open Solutions and Approaches* (1 éd., Vol. 1, pp. 253-272). United States of America: IGI Global.
- Beauregard, Y. (2015). Surprises and cost overruns : a lean management approach to reduce surprises and address cost overruns in aerospace product development projects. Dans *Proceedings of the American Society for Engineering Management 2015 International Annual Conference S. Long, E-H. Ng, and A. Squires eds.* (pp. 1).
- Bench-Capon, T. J. (2014). *Knowledge representation: an approach to artificial intelligence*. United Kingdom: Elsevier.
- Bissonette, M. M. (2016). *Project Risk Management - A Practical Implementation Approach*. Project Management Institute, Inc. (PMI). Repéré à <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpINFNB0D1/project-risk-management/project-risk-management>
- Booz, A., & Hamilton. (1982). Booz, Allen, and Hamilton's New Product Process. Dans Jones & Bartlett Learning (Éd.), *New Product Management for the 1980's* (pp. 11-18). New York, USA: Booz, Allen & Hamilton inc.
- Browning, T. R., & Eppinger, S. D. (2002). Modeling impacts of process architecture on cost and schedule risk in product development. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 49(4), 428-442. doi: 10.1109/tem.2002.806709
- Cacciabue, P. C., Cassani, M., Licata, V., Oddone, I., & Ottomaniello, A. (2014). A practical approach to assess risk in aviation domains for safety management systems. *Cognition, Technology & Work*, 17(2), 249-267. doi: 10.1007/s10111-014-0294-y
- Candel, A., Parmar, V., LeDell, E., & Arora, A. (2016). *Deep learning with h2o* (6 éd.). Mountain View, CA: H2O Inc.
- Capilla, R., Jansen, A., Tang, A., Avgeriou, P., & Babar, M. A. (2016). 10 years of software architecture knowledge management: Practice and future. *Journal of Systems and Software*, 116, 191-205. doi: 10.1016/j.jss.2015.08.054
- Charron-Latour, J., Bassetto, S., & Pourmonet, H. (2017). STARS: the implementation of a Computer-Aided Employee Suggestion Management System to operationalize a continuous improvement process. *Cognition, Technology & Work*, 19(1), 179-190. doi: 10.1007/s10111-016-0401-3

- Chen, Y.-T., & Chou, T.-Y. (2011). Applying GRA and QFD to Improve Library Service Quality. *The Journal of Academic Librarianship*, 37(3), 237-245. doi: 10.1016/j.acalib.2011.02.016
- Chiesa, V., Frattini, F., Lazzarotti, V., & Manzini, R. (2009). Performance measurement of research and development activities. *European Journal of Innovation Management*, 12(1), 25-61. doi: 10.1108/14601060910928166
- Choi, T.-M., Chan, H. K., & Yue, X. (2017). Recent Development in Big Data Analytics for Business Operations and Risk Management. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 47(1), 81-92. doi: 10.1109/tcyb.2015.2507599
- Chowdhury, M. M. H., & Quaddus, M. A. (2016). A multi-phased QFD based optimization approach to sustainable service design. *International Journal of production economics*, 171, 165-178. doi: 10.1016/j.ijpe.2015.09.023
- Conforto, E. C., & Amaral, D. C. (2016). Agile project management and stage-gate model—A hybrid framework for technology-based companies. *Journal of Engineering and Technology Management*, 40, 1-14. doi: 10.1016/j.jengtecman.2016.02.003
- Cooper, R. G. (2008). Perspective: The Stage- Gate® Idea- to- Launch Process - Update, What's New and NexGen Systems. *Journal of Product Innovation Management*, 25(3), 213-232.
- Cooper, R. G., Edgett, S. J., & Kleinschmidt, E. J. (2002a). Optimizing the stage-gate process: what best-practice companies do—I. *Research-Technology Management*, 45(5), 21-27.
- Cooper, R. G., Edgett, S. J., & Kleinschmidt, E. J. (2002b). Optimizing the stage-gate process: What best-practice companies do—II. *Research-Technology Management*, 45(6), 43-49.
- Cooper, R. G., & Kleinschmidt, E. J. (1986). An Investigation into the New Product Process: Steps, Deficiencies, and Impact. *Journal of Product Innovation Management*, 3, 71-85.
- Cooper, R. G., & Kleinschmidt, E. J. (2001). Stage-gate process for new product success. *innovation Management U*, 3, 2001.
- Cooper, R. G., & Sommer, A. F. (2016). Agile-Stage-Gate: New idea-to-launch method for manufactured new products is faster, more responsive. *Industrial Marketing Management*, 59, 167-180.
- Cretu, O., Stewart, R. B., & Berends, T. (2011). *Risk management for design and construction*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

- Deputy Assistant Secretary of Defense. (2015). *Department of Defense : Risk, Issue and Opportunity Management Guide for Defense Acquisition Programs*. Department of Defense Risk, Issue, and Opportunity Management, Office of the Deputy Assistant Secretary of Defense for Systems Engineering, Washington, D.C.
- Desruisseaux, M., Petit, M., De Magny, G. C., & Huynh, F. (2006). Essai d'utilisation des réseaux de neurones. Dans (pp. 171-179).
- Dezfuli, H., Benjamin, A., Everett, C., Maggio, G., Stamatelatos, M., Youngblood, R., . . . Williamson, D. (2011). *NASA Risk Management Handbook*. NASA Headquarters, NASA, Washington.
- Dorofee, A. J., Walker, J. A., Alberts, C. J., Higuera, R. P., & Murphy, R. L. (1996). *Continuous Risk Management Guidebook*. Carnegie-Mellon University, Pittsburgh PA.
- Dostaler, I. (2010). Avoiding rework in product design: evidence from the aerospace industry. *International journal of Quality & Reliability Management*, 27(1), 5-26.
- Dresch, A., Lacerda, D. P., & Antunes Jr, J. A. V. (2015). *Design science research*. Porto Alegre, Brazil: Springer.
- Duvall, P. M., Matyas, S., & Glover, A. (2007). *Continuous integration: improving software quality and reducing risk*. United States of America: Pearson Education.
- Eckert, C. M., Wynn, D. C., Maier, J. F., Albers, A., Bursac, N., Xin Chen, H. L., . . . Shapiro, D. (2017). On the integration of product and process models in engineering design. *Design Science*, 3, 1-41. doi: 10.1017/dsj.2017.2
- Fowler, M., & Foemmel, M. (2006). Continuous integration. Repéré à <https://www.thoughtworks.com/ContinuousIntegration.pdf>
- Gammell, C. (2017). Continuous Integration in Product Design. Repéré à <https://medium.com/supplyframe-hardware/continuous-integration-in-product-design-a43baffce67>
- Gammell, J. (2017). *Informed anytime search for continuous planning problems* (Ph. D. dissertation, University of Toronto, Toronto).
- Gregor, S., & Hevner, A. R. (2013). Positioning and presenting design science research for maximum impact. *MIS quarterly*, 37(2), 337-355.
- Gunasekaran, A., Tirtiroglu, E., & Wolstencroft, V. (2002). An investigation into the application of agile manufacturing in an aerospace company. *Technovation*, 22(7), 405-415. doi: 10.1016/S0166-4972(01)00039-6

- Halford, C. D. (2016). *Implementing Safety Management Systems in Aviation*. England: Routledge.
- Hammer, M., & Champy, J. (2009). *Reengineering the Corporation: Manifesto for Business Revolution*. United States of America: Zondervan.
- Hanane , Y. (2009). Algorithmes d'apprentissage pour la classification de documents. Repéré à https://www.memoireonline.com/12/09/2917/m_Algorithmes-dapprentissage-pour-la-classification-de-documents1.html
- Helm, J. C. (2004). Teaching Continuous Risk Management Using A Requirements Management Tool. Dans *INCOSE International Symposium* (Vol. 14, pp. 2011-2026). Wiley Online Library.
- Hevner, A., & Chatterjee, S. (2010). *Design science research in information systems*. United States of America: Springer.
- Hilda C. Martinez Léon, Jennifer A. Farris, & Letens, G. (2013). Improving Product Development Performance Through Iteration Front-Loading. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 60(3), 552-565.
- Hinckeldeyn, J., Dekkers, R., & Kreutzfeldt, J. (2015). Productivity of product design and engineering processes. *International Journal of Operations & Production Management*, 35(4), 458-486. doi: 10.1108/IJOPM-03-2013-0101
- Hopkin, P. (2017). *Fundamentals of risk management: understanding, evaluating and implementing effective risk management* (4th éd.). Grande-Bretagne: Kogan Page Publishers.
- Hornos da Costa, J. M., Oehmen, J., Rebentisch, E., & Nightingale, D. (2014). Toward a better comprehension of Lean metrics for research and product development management. *R&D Management*, 44(4), 370–383.
- Huang, A. (2008). Similarity measures for text document clustering. Dans *Proceedings of the sixth new zealand computer science research student conference (NZCSRSC2008)*, Christchurch, New Zealand (pp. 49-56).
- Hubbard, D. W. (2009). *The failure of risk management: Why it's broken and how to fix it*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- International Standard. (2009a). *ISO 31000:2009, Risk management* ISO 31000:2009. USA: International Standard.
- International Standard. (2009b). *ISO 31010:2009, Risk management*. ISO 31010:2009. International Standard.

- Jifa, G., & Lingling, Z. (2014). Data, DIKW, Big Data and Data Science. *Procedia Computer Science*, 31, 814-821. doi: 10.1016/j.procs.2014.05.332
- Jina, J., Bhattacharya, A. K., & Walton, A. D. (1997). Applying lean principles for high product variety and low volumes: some issues and propositions. *Logistics Information Management*, 10(1), 5-13.
- Kaplan, & Garrick. (1981). On The Quantitative Definition of Risk. *Risk Analysis*, 1(1), 11-27.
- Kazerouni, A. M., Achiche, S., Hisarciklilar, O., & Thomson, V. (2011). Appraisal of New Product Development Success Indicators in the Aerospace Industry. *Journal of Mechanical Design*, 133(10), 101013. doi: 10.1115/1.4004974]
- Kloss-Grote, B., & Moss, M. A. (2008). How to measure the effectiveness of risk management in engineering design projects? Presentation of RMPASS: a new method for assessing risk management performance and the impact of knowledge management—including a few results. *Research in engineering design*, 19(2-3), 71-100.
- Koch, R. (2011). *The 80/20 principle: the secret to achieving more with less*. Crown Business.
- Kodinariya, T. M., & Makwana, P. R. (2013). Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering. *International Journal*, 1(6), 90-95.
- Kutsch, E., Browning, T. R., & Hall, M. (2014). Bridging the risk gap: The failure of risk management in information systems projects. *Research-Technology Management*, 57(2), 26-32.
- Lakemond, N., Johansson, G., Magnusson, T., & Safsten, K. (2007). Interfaces between technology development, product development and production: critical factors and a conceptual model. *International Journal of Technology Intelligence and Planning*, 3(4), 317-330.
- Lee, D., Rho, B.-H., & Yoon, S. N. (2015). Effect of investments in manufacturing practices on process efficiency and organizational performance. *International Journal of production economics*, 162, 45-54. doi: 10.1016/j.ijpe.2015.01.001
- Leite, M., & Braz, V. (2016). Agile manufacturing practices for new product development: industrial case studies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(4), 560-576.
- Li, Y., Tarafdar, M., & Subba Rao, S. (2012). Collaborative knowledge management practices. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(4), 398-422. doi: 10.1108/01443571211223077

- Likert, R. (1974). *A method of constructing an attitude scale*.
- Loch, C. H., & Tapper, U. A. S. (2002). Implementing a strategy-driven performance measurement system for an applied research group. *Journal of Product Innovation Management*, 19(3), 185-198.
- Louridas, P., & Ebert, C. (2016). Machine Learning. *Software, IEEE*, 33(5), 110-115. doi: 10.1109/MS.2016.114
- MacCallum, R. C., Roznowski, M., & Necowitz, L. B. (1992). Model modifications in covariance structure analysis: the problem of capitalization on chance. *Psychological bulletin*, 111(3), 490.
- Malhotra, A., & Bajaj, K. (2016). A hybrid pattern based text mining approach for malware detection using DBScan. *CSI Transactions on ICT*, 4(2), 141-149. doi: 10.1007/s40012-016-0095-y
- Martin, S. (2017). *Wine Reviews*. Repéré à <https://www.kaggle.com/sierram/cosine-similarity-wine-descriptions/data>
- McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2012). Big data: the management revolution. *Harvard business review*, 90(10), 60-68.
- McCallum, A., & Nigam, K. (1998). A comparison of event models for naive bayes text classification. Dans *AAAI-98 workshop on learning for text categorization* (Vol. 752, pp. 41-48). Madison, WI.
- Mishra, P., & Kumar Sharma, R. (2014). A hybrid framework based on SIPOC and Six Sigma DMAIC for improving process dimensions in supply chain network. *International journal of Quality & Reliability Management*, 31(5), 522-546.
- Mitchell, T., & Harris, K. (2012). *Resilience: A risk management approach*. London, UK: Overseas Development Institute.
- Musil, J., Ekaputra, F. J., Sabou, M., Ionescu, T., Schall, D., Musil, A., & Biffl, S. (2017). Continuous Architectural Knowledge Integration: Making Heterogeneous Architectural Knowledge Available in Large-Scale Organizations. Dans *2017 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA)* (pp. 189-192). doi: 10.1109/icsa.2017.28
- Neuman, L. W. (2002). *Social research methods: Qualitative and quantitative approaches* (5 éd.). Allyn & Bacon.

- Oehmen, J., Olechowskia, A., Kenley, C. R., & Ben-Dayad Oehmen, M. J. (2014). Analysis of the effect of risk management practices on the performance of new product development programs. *Technovation*, 34(8), 441-453.
- Olson, D. L., & Wu, D. (2017). *Predictive Data Mining Models*. Springer.
- Owram, K. (2015). Bombardier Inc will lose US\$32M for each C-Series built in 2016-17: analysis. Repéré à <http://business.financialpost.com/transportation/bombardier-inc-will-lose-us32m-for-each-c-series-built-in-2016-17-analysis>
- Pakdil, F., & Leonard, K. M. (2014). Criteria for a lean organisation: development of a lean assessment tool. *International Journal of Production Research*, 52(15), 4587-4607. doi: 10.1080/00207543.2013.879614
- Park, Y. H. (2010). A study of risk management and performance measures on new product development. *Asian Journal on Quality*, 11(1), 39-48. doi: 10.1108/15982681011051813
- Peterson, M. R., Doom, T. E., & Raymer, M. L. (2005). Ga-facilitated knn classifier optimization with varying similarity measures. Dans *Evolutionary Computation, 2005. The 2005 IEEE Congress on* (Vol. 3, pp. 2514-2521). IEEE.
- Pham, D. T., Pham, P. T. N., & Thomas, A. (2008). Integrated production machines and systems - beyond lean manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 19(6), 695-711. doi: 10.1108/17410380810888094
- Pikkarainen, M., Haikara, J., Salo, O., Abrahamsson, P., & Still, J. (2008). The impact of agile practices on communication in software development. *Empirical Software Engineering*, 13(3), 303-337.
- Pires, A. P. (1997). Échantillonnage et recherche qualitative: essai théorique et méthodologique. *La recherche qualitative. Enjeux épistémologiques et méthodologiques*, 113-169.
- Pirkkalainen, H., & Pawlowski, J. M. (2014). Global social knowledge management – Understanding barriers for global workers utilizing social software. *Computers in Human Behavior*, 30, 637-647. doi: 10.1016/j.chb.2013.07.041
- Port, D., Nikora, A., Hihn, J., & Huang, L. (2011). *Experiences with text mining large collections of unstructured systems development artifacts at jpl* présentée à Software Engineering (ICSE), 2011 33rd International Conference on.
- Power, M. (2007). *Organized uncertainty: Designing a world of risk management*. Oxford University Press on Demand.

- PricewaterhouseCoopers. (2015). *How to achieve excellent enterprise risk management: Why risk assessments fail*. Repéré à <https://www.pwc.com/us/en/risk-assurance/publications/assets/preventing-erm-risk-assessment-failure.pdf>
- PricewaterhouseCoopers. (2016a). *Aerospace and defense: Learning to build agility for a changing world*. Repéré à <http://tinyurl.com/y8zcyj79u>
- PricewaterhouseCoopers. (2016b). *Risk in review: going the distance*. Repéré à <https://www.pwc.com/mn/en/assets/pdf/risk-in-review-2016.pdf>
- Project Management Institute. (2009a). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide* (4 éd.). Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute.
- Project Management Institute. (2009b). *Practice Standard for Project Risk Management*. Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute.
- Qazi, A., Quigley, J., Dickson, A., & Kirytopoulos, K. (2016). Project Complexity and Risk Management (ProCRiM): Towards modelling project complexity driven risk paths in construction projects. *International Journal of Project Management*, 34(7), 1183-1198. doi: 10.1016/j.ijproman.2016.05.008
- Qin, P., Xu, W., & Guo, J. (2016). A novel negative sampling based on TFIDF for learning word representation. *Neurocomputing*, 177, 257-265. doi: 10.1016/j.neucom.2015.11.028
- Rahman Abdul Rahim, A., & Shariff Nabi Baksh, M. (2003). Case study method for new product development in engineer-to-order organizations. *Work Study*, 52(1), 25-36.
- RapidMiner. (2017). RapidMiner Studio (Version 7.6.001). Repéré à <https://rapidminer.com/products/studio/>
- Raz, T., Shenhar, A. J., & Dvir, D. (2002). Risk management, project success, and technological uncertainty. *R&D Management*, 32(2), 101-109.
- Renn, O. (2008). *Risk governance: coping with uncertainty in a complex world*. London, UK: Routledge.
- Restrepo, D., Charron-Latour, J., Pourmonet, H., & Bassetto, S. (2016). Seizing opportunities for change at the operational level. *Int J Health Care Qual Assur*, 29(3), 253-266. doi: 10.1108/IJHCQA-02-2015-0022
- Rich, E. (1983). *Artificial intelligence* (Vol. 28). New York, USA: McGraw-Hill, Inc.

- Roanoke, V., & Williamson, D. (2017). *Agile Project Management for Lean Process Improvement*. Repéré à http://vtrc.vt.edu/content/vtrc_vt_edu/en/ILean2017_Resources/jcr_content/content/download/file.res/Agile%20Process%20Management%20for%20Lean%20Process%20Improvement%20Projects%20-%20Williamson.pdf
- Rubenstein-Montano, B., Liebowitz, J., Buchwalter, J., McCaw, D., Newman, B., Rebeck, K., & Team, T. K. M. M. (2001). A systems thinking framework for knowledge management. *Decision support systems*, 31(1), 5-16.
- Sethi, A. (2012). *The Stage-Gate Process, Organizational Politics, and Performance of New Products* (Thèse de doctorat, Carleton University, Ottawa, Ontario).
- Stelzmann, E. (2012). Contextualizing agile systems engineering. *Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE*, 27(5), 17-22. doi: 10.1109/MAES.2012.6226690
- Talbot, J., & Venkataraman, R. (2011). Integration of sustainability principles into project baselines using a comprehensive indicator set. *The International Business & Economics Research Journal*, 10(9), 29.
- Thakurta, R., Müller, B., Ahlemann, F., & Hoffmann, D. (2017). The State of Design – A Comprehensive Literature Review to Chart the Design Science Research Discourse. Dans *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 4685-4694).
- Tran, É. (2017). *Nouvelle méthode d'identification de causes fondamentales et leçons apprises pour réduire les dépassements de coûts et de délais – mesure de la performance d'identification des risques* (École de technologie supérieure, Montréal).
- Transports Canada. (2017). *Règlement de l'aviation canadien (RAC)*. TC RAC. Repéré à <http://www.tc.gc.ca/fra/aviationcivile/servreg/rac/menu.htm>
- Tsumoto, S., & Hirano, S. (2010). Risk Mining in Medicine: Application of Data Mining to Medical Risk Management. *Fundam. Inf.*, 98(1), 107-121.
- Tworek, P. (2010). *Methods of risk identification in companies' investment projects* présentée à 5th International Scientific Conference "Managing and Modelling of Financial Risks, Ostrava, Poland.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2004). *Product design and development* (3 éd.). Boston, MS: McGraw-Hill/Irwin.
- van der Gaag, M., Hoffman, T., Remijnsen, M., Hijman, R., de Haan, L., van Meijel, B., . . . Wiersma, D. (2006). The five-factor model of the Positive and Negative Syndrome Scale II: a ten-fold cross-validation of a revised model. *Schizophr Res*, 85(1-3), 280-

287. doi: 10.1016/j.schres.2006.03.021. Repéré à
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16730429>

- Varma, T. (2015). *Agile product development: How to Design Innovative Products That Create Customer Value* (1 éd.). Apress. doi: 10.1007/978-1-4842-1067-3
- Varoquaux, G. (2017). Cross-validation failure: Small sample sizes lead to large error bars. *Neuroimage*. doi: 10.1016/j.neuroimage.2017.06.061
- Varoquaux, G., Raamana, P. R., Engemann, D. A., Hoyos-Idrobo, A., Schwartz, Y., & Thirion, B. (2017). Assessing and tuning brain decoders: Cross-validation, caveats, and guidelines. *Neuroimage*, 145(Pt B), 166-179. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.10.038
- Vázquez-Bustelo, D., Avella, L., & Fernández, E. (2007). Agility drivers, enablers and outcomes. *International Journal of Operations & Production Management*, 27(12), 1303-1332. doi: 10.1108/01443570710835633
- Verma, T., Renu, D. G., & Gaur, D. (2014). Tokenization and filtering process in RapidMiner. *International Journal of Applied Information Systems*, 7(2), 16-18.
- vom Brocke, J., Fettke, P., Gau, M., Houy, C., Maedche, A., Morana, S., & Seidel, S. (2017). *Tool-Support for Design Science Research: Design Principles and Instantiation*. Repéré à https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2972803
- William, H., & Montgomery, D. (1990). *Probability and statistics in engineering and management science* (Third Edition éd.). Wiley.
- Winter, G. (2000). A comparative discussion of the notion of validity in qualitative and quantitative research. *The qualitative report*, 4(3), 1-14.
- Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A., & Pal, C. J. (2016). *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann.
- Wu, D. D., Chen, S.-H., & Olson, D. L. (2014). Business intelligence in risk management: Some recent progresses. *Information Sciences*, 256, 1-7. doi: 10.1016/j.ins.2013.10.008
- Zhang, H., & Li, D. (2007). Naïve Bayes text classifier. Dans *GRC 2007 IEEE International Conference on Granular Computing* (Vol. 2, pp. 708-708).
- Zhang, Y., Ren, S., Liu, Y., & Si, S. (2017). A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products. *Journal of Cleaner Production*, 142, 626-644. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.07.123

Zio, E. (2007). *An introduction to the basics of reliability and risk analysis* (Vol. 13). Singapore: World scientific.