



HAL
open science

Contribution à la planification de projet : proposition d'un modèle d'évaluation des scénarios de risque-projet

Trong Hung Nguyen

► **To cite this version:**

Trong Hung Nguyen. Contribution à la planification de projet : proposition d'un modèle d'évaluation des scénarios de risque-projet. Gestion et management. Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT, 2011. Français. NNT : 2011INPT0059 . tel-04238921

HAL Id: tel-04238921

<https://theses.hal.science/tel-04238921>

Submitted on 12 Oct 2023

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

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



THESE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par
Institut National Polytechnique de Toulouse

Discipline ou spécialité :
Systèmes Industriels

Présentée et soutenue par
Trong Hung NGUYEN
Le 8 septembre 2011

TITRE :
CONTRIBUTION A LA PLANIFICATION DE PROJET : PROPOSITION D'UN
MODELE D'EVALUATION DES SCENARIOS DE RISQUE-PROJET

JURY

Patrick BURLAT, Professeur, Ecole des Mines de Saint-Etienne, Rapporteur
Emmanuel CAILLAUD, Professeur, Université de Strasbourg, Rapporteur
Jean-Claude BOCQUET, Professeur, Ecole Centrale Paris, Examineur
Sophie BOUGARET, gérante société MANAGEOS, Examineur

Ecole doctorale :
Systèmes (EDSYS)

Unité de recherche :
Centre Génie Industriel, Université de Toulouse, Mines Albi

Directeur(s) de Thèse :
Didier GOURC, Maître-assistant, HdR, Ecole des Mines d'Albi-Carmaux
François MARMIER, Maître-assistant, Ecole des Mines d'Albi-Carmaux

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier très sincèrement mon directeur de thèse, Didier GOURC. Ce travail n'aurait pu être possible sans la confiance qu'il m'a accordée et les connaissances qu'il m'a transmises. Je le remercie également pour les conseils qu'il m'a prodigués tant pour ma vie professionnelle que personnelle. Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude.

Je remercie également pour leurs conseils et leur aide Emmanuelle MONSARRAT, qui m'a accompagnée pour les premiers jours de ce travail et François MARMIER, avec qui j'ai poursuivi et achevé ce travail.

Je remercie chaleureusement Patrick BURLAT et Emmanuel CAILLAUD pour avoir accepté de lire et de rédiger un rapport sur cette thèse. Je leur exprime toute ma reconnaissance pour l'intérêt porté à ce travail. Leurs remarques ont apporté matière à ma réflexion.

Je suis, également très sensible, à l'honneur que m'ont fait Sophie BOUGARET et Jean-Claude BOCQUET, qui ont été respectivement examinateur et président du jury.

Cette thèse a été réalisée au Centre de Génie Industriel de l'Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, tout naturellement je tiens donc à remercier Lionel DUPONT, Directeur du laboratoire, pour toute l'attention qu'il m'a portée et pour les moyens mis à ma disposition durant ces années.

Je remercie bien particulièrement Isabelle FOURNIER, pour son soutien précieux depuis mon premier jour au Centre, la relecture du manuscrit, et notamment son sourire tous les matins. Je remercie également Sabine CARBONNEL pour son aide concernant les développements informatiques.

Je remercie bien évidemment tous les membres du Centre de Génie Industriel que j'ai rencontré et côtoyé au cours de ce travail pour la bonne ambiance et leur aide. Sur le plan humain ou professionnel, ils ont participé à la réussite de cette aventure.

Je remercie mes collègues du bureau 0A07, Romain, Guillaume, Omar, Carine avec qui j'ai partagé de très bons moments.

Je n'oublie pas mes amis de l'Ecole des Mines Albi-Carmaux (les autres centres, et services de l'Ecole comme l'accueil, le service RH, etc.) mais aussi les amis des résidences pour les moments sympathiques.

Enfin, un petit clin d'œil à ma famille, elle sait ce que je lui dois...

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE _____	10
Chapitre 1 : Projet, management et planification de projet _____	21
1.1 Emergence de la notion de projet _____	22
1.2 Management de projet comme une discipline émergente _____	26
1.2.1 Brefs rappels historiques du management de projet _____	26
1.2.2 Définition du management de projet _____	28
1.2.3 Les processus de management de projet _____	29
1.3 Focus sur la planification de projet _____	30
1.3.1 Définition de planification et les notions concernées _____	30
1.3.2 Les méthodes de planification de délai de projet sous incertitude _____	32
1.4 Conclusion _____	38
Chapitre 2 : Risque, risque projet et méthodes de management des risques projet _____	41
2.1 Introduction _____	41
2.2 Le Risque – une vue globale _____	42
2.2.1 Le concept _____	42
2.2.2 Les approches de gestion _____	44
2.3 Risque-projet _____	47
2.3.1 Définition _____	47
2.3.2 L’approche risque-incertitude _____	49
2.3.3 L’approche risque-événement _____	49
2.4 Management de risque projet : méthodes, processus et outils _____	49
2.4.1 Méthodes/méthodologies de management des risques-projet _____	50
2.4.2 Processus de synchronisation de la planification de projet et du management de risques-projet _____	54
2.4.3 Les outils informatiques de management des risques-projet _____	55
2.5 Conclusion _____	61
Chapitre 3 : Modélisation de scénarios en projet et caractérisation : définitions et méthodes _____	63
3.1 Introduction _____	63
3.2 Lien entre les notions de scénario et de planning _____	65
3.2.1 Son origine / contexte _____	65
3.2.2 Exposé de la méthode et de ses principes, typologie de scénarios _____	66
3.2.3 Les atouts des techniques de scénarios _____	70
3.3 Exemple fil rouge illustrant la problématique et les propositions _____	71
3.4 La notion de scénario de projet _____	73
3.4.1 Définition de scénario _____	74

3.4.2	Scénario de risque : définition et modélisation	75
3.4.3	Scénario de traitement : définition et modélisation	75
3.4.4	Influence des actions de traitement sur le projet	78
3.4.5	Scénario de projet : définition et modélisation	81
3.5	Impact initial et impact réduit d'un risque	82
3.6	Caractérisation des scénarios de projet	83
3.6.1	Calcul de la probabilité d'un scénario de projet	84
3.6.2	Calcul du coût d'un scénario de projet	86
3.6.3	Calcul de la durée d'un scénario de projet	87
3.7	Conclusion	88
Chapitre 4 : Influence des dépendances entre risques pour l'analyse des scénarios de projet		
91		
4.1	Introduction	91
4.2	Quelques outils de description et manipulation des dépendances	92
4.2.1	Dans le domaine des espaces de probabilité, le théorème de Bayes	93
4.2.2	Les graphes : avantages et limites	94
4.2.3	Les matrices : avantages et limites	100
4.3	Modélisation des dépendances entre les risques-projet	103
4.3.1	Définition : dépendance entre risques-projet	103
4.3.2	Cas de la dépendance unitaire et ses composants	104
4.3.3	Description des cas particuliers de dépendance élémentaire	106
4.3.4	Applicabilité d'une dépendance	107
4.3.5	Incohérences entre les dépendances	108
4.4	Conclusion	109
Chapitre 5 : Application de l'approche ProRisk à la planification d'une étude clinique		
111		
5.1	Introduction du chapitre	111
5.2	Plateforme ProRisk	111
5.2.1	Cadre et objectif	112
5.2.2	Architecture technique générale	114
5.2.3	Fonctionnalités de ProRisk	116
5.3	Présentation du cas d'étude	123
5.3.1	Contexte pharmaceutique	123
5.3.2	Déroulement d'une étude clinique de phase III	124
5.3.3	Données de l'étude de cas	127
5.4	Exploitation des résultats	136
5.4.1	Présentation des résultats bruts	136
5.4.2	Description du processus d'analyse des résultats	141
5.4.3	Application numérique à notre étude de cas	143
5.5	Conclusion	152
CONCLUSION GENERALE		155

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Structure du mémoire	19
Figure 2.	La vision externe du projet selon (Gourc 2006)	23
Figure 3.	Exemple de phasage d'un projet	24
Figure 4.	Découpage d'un projet de développement de médicament inspiré de Murphy, (Murphy 1989)	25
Figure 5.	Evolution des pratiques de gestion de projet inspiré de (Garel 2003), (Navarre 1993)	26
Figure 6.	Chronologie relative au Management de projet (Dombkins 2008)	27
Figure 7.	Processus de management de projet proposés par le PMBok, 4 ^e édition	30
Figure 8.	Apports de la méthode de la chaîne critique au management de projet (Rabbani et al. 2007)	35
Figure 9.	Une synthèse des utilisations des méthodes de planification de projet	37
Figure 10.	Modèle général cause-conséquence	43
Figure 11.	Matrice probabilité-impact	43
Figure 12.	Processus de management des risques selon (International Standards for Business 2009)	45
Figure 13.	Un scénario (Salvi et Debray 2006)	46
Figure 14.	Processus de management de risques-projet	51
Figure 15.	Les méthodes de management de risques projet (Grimaldi et Rafele 2008)	53
Figure 16.	Synchronisation des processus (Pingaud et Gourc 2003)	55
Figure 17.	Comparatif des logiciels	60
Figure 18.	Motivations et principes généraux de la technique des scénarios (Gausemeier, Fink, et Schlake 1998)	66
Figure 19.	Typologie de scénarios proposée par (Börjeson et al. 2006)	68
Figure 20.	Planning du projet de réalisation d'une station météorologique	71
Figure 21.	Exemple de scénario de risque : ScR ₃	75
Figure 22.	Actions de traitement préventives versus correctives	76
Figure 23.	Ensemble des stratégies de traitement possibles pour le risque R ₃	77
Figure 24.	Exemple de scénario intégrant une stratégie préventive	78
Figure 25.	Exemple de deux événements	93
Figure 26.	Exemple d'Add	96
Figure 27.	Un exemple de réseau bayésien entre les variables a , b et c	97
Figure 28.	Exemple de l'approche de Carr et Tah (Carr et Tah 2001)	99
Figure 29.	Exemple de dépendance selon (Chauveau 2006)	100
Figure 30.	Les types dépendance entre deux éléments	101
Figure 31.	Une dépendance entre risques-projet	103
Figure 32.	Exemple de dépendance unitaire	104
Figure 33.	Espace temporel d'occurrence potentielle d'un risque	108
Figure 34.	Espaces temporels d'une dépendance	108
Figure 35.	Exemple de deux dépendances avec un même RisqueCible	109
Figure 36.	Contexte d'utilisation de ProRisk	112
Figure 37.	Un exemple de fichier XML de description d'un projet	114
Figure 38.	Architecture technique générale de ProRisk	115
Figure 39.	Cas d'utilisation du système ProRisk avec le rôle de Chef de projet	116
Figure 40.	Cas d'utilisation du système ProRisk avec le rôle de responsable de risques	117

Figure 41.	Détail d'une tâche planning (copie d'écran de ProRisk)	118
Figure 42.	Ajout d'un risque (copie d'écran de ProRisk)	119
Figure 43.	Exemple de dépendances entre risques	119
Figure 44.	La fonction de génération des scénarios de projet	120
Figure 45.	Processus d'analyse des résultats	122
Figure 46.	Déroulement d'un essai clinique	127
Figure 47.	La réalisation d'une étude clinique (planning initial sans risque)	129
Figure 48.	Histogramme des durées de scénarios de projet <ScR, Ø>	137
Figure 49.	Histogramme des durées de scénarios de projet <ScR, ScT>	137
Figure 50.	Histogramme des coûts de scénarios de projet <ScR, ScT>	138
Figure 51.	Probabilité de chaque plage de valeur de durée	139
Figure 52.	Scénarios de risques selon la durée	140
Figure 53.	Scénarios de risques selon le coût	141
Figure 54.	Processus d'analyse de résultat	143
Figure 55.	Scénarios de projet présentant l'occurrence unitaire de chaque risque	145
Figure 56.	Effets cumulés des risques	146
Figure 57.	Vecteurs de risques	147
Figure 58.	Les dix ScR les plus critiques	148
Figure 59.	Hiérarchisation des risques pris isolément	148
	(a) Sans dépendances	148
	(b) Avec dépendances	148
Figure 60.	Les dix ScR les plus critiques	148
Figure 61.	Scénarios de projets triés en fonction de leurs coûts	149
Figure 62.	Effet des différentes stratégies sur les scénarios de projet présentant l'occurrence de R1 et R7	151

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	<i>Approches pour la génération de planning sous incertitude (Herroelen et Leus 2005)</i>	34
Tableau 2.	<i>Catégories des données d'entrée de planification de projet</i>	35
Tableau 3.	<i>Résumé des approches mentionnées</i>	52
Tableau 4.	<i>Résumé des caractéristiques des types de scénarios (inspiré de (Börjeson et al. 2006))</i>	70
Tableau 5.	<i>Les risques identifiés et leurs caractéristiques</i>	72
Tableau 6.	<i>Stratégies de traitement (p: préventive, c: corrective)</i>	73
Tableau 7.	<i>Comparaison de hiérarchisation des risques selon l'approche retenue sur le seul critère de probabilité</i>	73
Tableau 8.	<i>Les effets des actions de traitement sur les risques</i>	77
Tableau 9.	<i>Détermination des caractéristiques coût et durée d'une action de traitement</i>	80
Tableau 10.	<i>Exemples d'actions de traitement</i>	81
Tableau 11.	<i>Illustration sur un exemple des concepts d'impact initial et d'impact réduit</i>	83
Tableau 12.	<i>Exemple de table de probabilité conditionnelle pour c sachant a et b</i>	97
Tableau 13.	<i>Tableau récapitulatif des dépendances élémentaires entre risques</i>	106
Tableau 14.	<i>Expression de dépendances particulières et paramètres associés</i>	107
Tableau 15.	<i>Relation entre les dépendances même Risque-Cible</i>	109
Tableau 16.	<i>Les tâches de l'étude clinique de phase III étudiée</i>	128
Tableau 17.	<i>Les risques et leurs caractéristiques</i>	132
Tableau 18.	<i>Les stratégies et actions de traitement</i>	133
Tableau 19.	<i>Actions de traitement et tâches planning associées</i>	134
Tableau 20.	<i>Les dépendances associées aux risques identifiés</i>	135
Tableau 21.	<i>Récapitulatif des plages de valeurs rencontrées</i>	144
Tableau 22.	<i>Comparaison de l'importance des risques</i>	149
Tableau 23.	<i>Récapitulatif des caractéristiques des scénarios de projet dans lesquels R1 et R7 sont occurents</i>	150

INTRODUCTION GENERALE

Face à la mondialisation des marchés, il est nécessaire pour beaucoup d'entreprises de proposer des produits innovants et de renouveler rapidement leurs gammes de produits. C'est ainsi que le développement de nouveaux produits, de nouveaux services, revêt un caractère hautement stratégique pour ces entreprises si elles veulent pérenniser leurs activités et les développer dans un contexte fortement concurrentiel et incertain. L'organisation des activités innovantes dans un objectif de succès passe par la mise en place de structures projet capables de fédérer efficacement les ressources et compétences de l'entreprise afin de satisfaire les attentes du marché. Le management par projet est donc une réponse judicieuse et nécessaire dans le contexte actuel de forte concurrence et d'optimisation des efforts consacrés.

Il existe de nombreux types de projets à notre époque : dans les domaines industriels (informatiques, génie civil, BTP, spatial, pharmaceutique), du marketing, de la qualité ou de la recherche selon qu'ils ciblent un secteur d'activité, un marché déterminé ou simplement une partie de l'entreprise, dans un contexte national ou international.

Contexte : certains projets ne respectent pas les objectifs initiaux

Projet de construction de l'Opéra de Sydney : 10 ans de retard

(prévu pour 1963, achevé en 1973)

Programme A380 : 18,5 milliards de dollars de surcoût

(à l'origine : 8 milliards, la charge financière totale : 26,5 milliards)

Projet de « Ground Zero » à New York : au moins 8 ans de retard

(prévu pour 2011, il ne sera pas totalement accessible avant 2019)

(source : www.wikipedia.com)

Ces trois exemples présentent une réalité que connaissent de nombreux directeurs de projets. En effet, de nombreux projets ne respectent pas leur planification initiale et se terminent avec un retard et/ou avec des coûts supplémentaires par rapport aux plannings et budgets initialement déterminés. Dans le domaine de l'informatique, la recherche réalisée par le Standish Group International (www.standishgroup.com) montre qu'en moyenne 40 % des projets de développement de nouveaux produits sont arrêtés avant l'achèvement du projet. De plus, 45 % des projets sont achevés avec du retard et/ou un dépassement de budget.

Pour décrire les objectifs d'un projet, il est possible, en première intention, d'utiliser le cadre de description qu'est le triangle d'or (ou triangle coût-délai-qualité), qui matérialise les objectifs en termes d'objectif de coût, d'objectif de délai et d'objectif de qualité. Par conséquent, un projet est

considéré comme un succès lorsqu'il respecte les trois objectifs initialement définis. Le respect simultané des trois objectifs (ou critères) est chose délicate, il est fréquemment accepté de définir des objectifs prioritaires, considérant que dans tel secteur d'activité, dans telle entreprise ou pour tel projet, c'est, par exemple, le respect des objectifs de délai qui est primordial sur le respect des objectifs de coût ou de qualité. Par cela, les managers/décideurs expriment le fait qu'ils veulent privilégier le respect du délai au détriment par exemple d'une augmentation du budget consacré. Dans le secteur pharmaceutique, l'avantage commercial est donné au produit qui arrive le premier sur le marché. Les pertes de parts de marché peuvent être colossales lorsque le produit arrive en deuxième, troisième position, même si les performances des produits sont similaires.

La hiérarchisation des critères de succès permet ainsi d'orienter les décisions des managers.

Outre ces critères orientés vers le pilotage des projets, d'autres critères pour évaluer le succès d'un projet peuvent être mis en avant, comme par exemple la satisfaction du client. (Zhu 2006) propose une revue des critères de succès des projets. Par ailleurs, les critères de succès peuvent différer d'un projet à l'autre (Cooke-Davies 2002) selon le type du projet, la taille, le niveau de complexité, mais également selon le point de vue adopté (utilisateur, sponsor, directeur du projet, contractant...). (Müller et Turner 2007), en s'appuyant sur les travaux de (Crawford, Hobbs, et Turner 2005), étudient les liens qui existent entre les critères de succès et les types de projets, ils indiquent également que des relations peuvent être établies selon les secteurs d'activités et les nationalités.

La diversité des critères de succès identifiés dans ces études trouve son origine dans une complexité importante dans les projets, ce qui se traduit par la nécessité d'adapter le pilotage en conséquence. L.-A. Vidal (Vidal 2009) propose à cet effet un cadre d'évaluation formel de la complexité des projets, considérant que son évaluation requiert une approche multicritères, afin de permettre aux managers d'identifier le niveau de complexité et d'adapter leurs pratiques. Cette approche est intéressante, elle nous amène à nous interroger sur d'autres facteurs, qui peuvent expliquer que les projets ne se terminent pas dans les temps. Quels sont les facteurs responsables de ces dérapages ?

Par exemple, dans le cas du projet de l'Opéra de Sydney, c'est la complexité des éléments de la toiture, qui a majoritairement entraîné ce retard. Le changement de gouvernement et des modifications de l'architecture survenues durant le projet, aléas non prévus et donc non anticipés, ont aggravé ce phénomène. Pour le programme A380, c'est la complexité du produit, les pénalités de retard, mais aussi le changement du taux de change euro/dollar, qui ont entraîné des dépassements d'objectifs. Dans le cas du projet « Ground Zero », c'est la crise économique mondiale, survenue en 2008, qui a provoqué des bouleversements...

Plus généralement, les facteurs peuvent être classés en quatre catégories (Belassi et Tukel 1996) :

- facteurs relevant du projet,
- facteurs relevant du directeur de projet et de l'équipe,

- facteurs relevant de l'organisation,
- facteurs relevant de l'environnement externe au projet.

Cette décomposition générique, pour le moins structurante, nécessite d'être affinée pour faire émerger explicitement les éléments ou aléas de nature à occasionner les retards et/ou dépassements budgétaires. Ces aléas peuvent revêtir diverses formes, comme par exemple la complexité des produits, les difficultés de communication au sein de l'équipe ou entre les partenaires, des problèmes de maîtrise de la technologie, des fournisseurs défaillants, des problèmes juridiques liés au pays, au marché...

Dans tous les cas, ces facteurs relèvent de phénomènes généralement imprévus, plus ou moins contrôlables.

Ces aléas (bien souvent imprévisibles) sont de nature à impacter les objectifs globaux du projet et ce, notamment par le biais d'une multitude de perturbations bien souvent locales à des sous-ensembles du projet, qui, prises isolément, ne semblent entraîner que des conséquences mineures, mais qui, analysées dans leur ensemble et surtout combinées, peuvent entraîner des répercussions importantes.

Problématique de la thèse

Quel que soit le type de projet (projet à rentabilité contrôlée, projet à coût contrôlé), il existe toujours une phase de conception du projet qui est stratégique. Cette phase est caractérisée par un environnement flou, l'existence de nombreuses incertitudes et pour autant, elle est le lieu de nombreuses décisions, qui vont influencer la suite du projet et son déroulement. Par exemple, dans des projets à coût contrôlé, la phase de réponse à appel d'offres conduit l'ingénieur d'affaire et/ou le chef de projet à décider de l'intérêt ou non de réaliser ce projet. Cela correspond entre autres à des questions relatives à :

- la faisabilité technique du projet,
- la rentabilité de l'opération pour l'entreprise, en quoi l'entreprise peut-elle tirer des bénéfices de la réalisation de ce projet, tant sur le plan financier qu'en termes d'image et de notoriété (exemple de la société Eiffage dont le cours de l'action, la signature de nombreux contrats peuvent être directement imputés à la réalisation du très grand projet de construction du viaduc de Millau),
- l'aspect réaliste des objectifs calendaires et budgétaires imposés par le client,
- etc.

Pour tenter d'apporter des réponses à ces nombreuses questions, les décideurs doivent être capables de délimiter techniquement le projet, d'estimer le temps nécessaire à sa réalisation, ainsi que le coût qu'il engendrera. Autant de questions qui, lorsque l'on est dans un environnement certain, avec des technologies connues et maîtrisées, sont certes difficiles, mais pour lesquelles il existe des méthodes d'estimation qui ont fait leurs preuves.

Dans le cas de projets caractérisés par peu de retours d'expériences, voire absence totale dans certains cas de par leur caractère hautement innovant, par l'absence de contrôle possible sur certains éléments, notamment en relation avec l'environnement, l'estimation de la durée et du coût du projet comme de ses sous-ensembles revêt une difficulté particulière. Les nombreux aléas qui peuvent survenir tout au long du projet sont autant de facteurs qui rendent la phase d'estimation hautement difficile et les résultats produits entachés d'un faible niveau de confiance. En d'autres termes, les valeurs estimées ont bien peu de chance de représenter la réalité que l'on rencontrera.

Afin de fiabiliser ces estimations, il nous apparaît comme absolument nécessaire de prendre en compte dans la conception du projet, non plus uniquement ce que l'on veut qu'il advienne au cours du projet, mais également ce qu'il peut advenir. Dans cette vision, il est crucial d'identifier, de mesurer et d'évaluer les phénomènes plus ou moins potentiels, qui seront de nature à impacter plus ou moins fortement l'atteinte des objectifs initiaux.

L'objectif de cette thèse est bien de s'intéresser à la prise en compte, dès les phases de conception de projet, des différents aléas potentiels qui pourraient survenir au cours du projet et de proposer une approche permettant de fiabiliser les estimations nécessaires à la prise de décision.

Pour cela, nous adressons la problématique de l'influence croisée des processus de management des délais, management des coûts et de management des risques dans un projet. La survenue d'un aléa au cours du projet influence obligatoirement le déroulement temporel du projet, par la mise en place d'une action de traitement, la prolongation de la durée d'une activité du projet, mais également le coût total de sa réalisation, par l'augmentation du coût d'une activité, la répétition d'une activité, le réapprovisionnement d'un composant détérioré, etc.

Classiquement, dans ce processus de management, les risques projet sont identifiés, évalués, traités et suivis séparément. Ce processus ne prend pas en compte une vue globale du projet où les risques peuvent survenir sur et/ou impacter des tâches du chemin critique de projet ou non. Au cours d'un même projet, il est bien rare que seul un des risques identifiés ne survienne, il est bien plus fréquent de devoir subir un ensemble des risques. On peut devoir subir soit tous les risques préalablement identifiés, c'est la pire des situations, ou bien un sous-ensemble plus ou moins grand.

De plus, les risques sont identifiés avec une hypothèse d'indépendance. Cependant, dans la réalité, il existe bien souvent des dépendances entre risques. Un risque peut changer certaines caractéristiques d'un autre risque, voire générer un autre risque.

En résumé, cette thèse vise à adresser deux problématiques bien spécifiques, qui peuvent être décrites par deux questions :

- question 1 : comment, pour l'évaluation d'un projet, pourrait-on tenir compte de l'ensemble des éventualités, événements et situations que le projet pourrait rencontrer au cours de son déroulement ?
- Question 2 : comment tenir compte des liens et relations qui peuvent exister entre les risques ?

En complément, la question de l'automatisation des solutions identifiées et propositions effectuées reste récurrente. Il est primordial de pouvoir fournir un outil simple, à destination des managers de projet et décideurs, pour aider à évaluer l'ensemble des situations anticipables.

Plan de thèse

Le mémoire est organisé selon trois grandes parties encadrées par une introduction générale et une conclusion. La structure du mémoire est illustrée sur la Figure 1.

La première partie, composée des chapitres 1 et 2, a pour objet de présenter des définitions et un état de l'art, respectivement sur le domaine du management de projet et du management des risques.

Le chapitre 1 est consacré tout particulièrement à l'introduction d'éléments de définition et de caractérisation du domaine du projet, domaine sur lequel cette thèse porte en priorité. Une analyse historique de l'émergence des notions de projet est proposée, complétée par une description des processus de management de projet.

Un focus sur les méthodes de planification de projet est effectué en proposant quelques définitions permettant de distinguer notamment les notions de planification et d'ordonnancement de projet. Dans un deuxième temps, une étude des méthodes de planification délai des projets dans un contexte d'incertitude est proposée.

Le chapitre 2 est consacré à la présentation du deuxième domaine sur lequel repose cette thèse, à savoir le domaine de la gestion/management des risques. Après la présentation de définitions générales du terme risque, nous proposons de définir le concept de risque projet, ses attributs et caractéristiques, ainsi qu'une typologie d'approches de prise en compte du risque en situation projet. En complément, le processus spécifique de management des risques en situation projet est présenté, ainsi qu'un ensemble d'outils/méthodes permettant d'outiller chacune des phases de ce processus.

Sur la base d'observations pratiques et l'identification de lacunes des approches classiques de management des risques, nous présentons un processus de synchronisation permettant de réconcilier les processus de planification de projet et de management des risques.

La deuxième partie, composée des chapitres 3 et 4, a pour objectif de développer un ensemble de propositions pour répondre à la problématique traitée dans cette thèse et présentée ci-dessus dans cette introduction.

Dans le chapitre 3, après une rapide présentation des travaux menés essentiellement dans le domaine de la stratégie sur la technique des scénarios (scenario planning), nous présentons une approche originale d'analyse des projets par la modélisation de scénarios. Notre contribution pour la modélisation des scénarios s'inscrit dans le cadre particulier de l'aide à la décision en planification de projet avec prise en compte des risques et stratégies de traitement associées. Afin de répondre à la problématique n°1, nous définissons et présentons, dans un premier temps, les concepts de scénario de risque, de scénario de traitement et enfin celui de scénario de projet. Ce dernier correspond à la combinaison d'un scénario de risque et d'un scénario de traitement.

Nous nous appuyons pour cela en particulier sur un exemple fil rouge de construction d'une station météorologique. Ce fil rouge est également présenté dans ce chapitre.

Sur la base du concept de scénario ainsi défini, nous proposons ensuite différentes règles de calcul pour déterminer les paramètres caractéristiques des scénarios comme la probabilité d'occurrence d'une combinaison particulière de risque, la durée et le coût du projet associé.

L'objectif du chapitre 4 est de proposer une contribution pour répondre à la problématique n°2. Nous débutons le chapitre 4, en nous inspirant de plusieurs domaines, par une présentation de différents outils de description et manipulation des dépendances. Après avoir brièvement rappelé quelques éléments de la théorie des probabilités en relation avec la notion de dépendance et en particulier le théorème de Bayes, nous présentons plusieurs approches classées selon deux catégories : les graphes et les matrices.

Dans un deuxième temps, nous définissons le concept de dépendance unitaire pour décrire une relation entre un ensemble de risques projet, désigné par risques source, vers un autre risque appelé risque cible. Nous proposons une typologie de dépendances unitaires applicables au contexte des projets. En complément, un ensemble de règles à vérifier pour assurer la cohérence et l'applicabilité de ces dépendances unitaires est proposé.

La troisième et dernière partie, composée du chapitre 5, a pour objectif de valider le modèle proposé. Pour cela, après la présentation d'une étude de cas inspirée d'un projet réel dans le secteur pharmaceutique (conduite d'une étude clinique), nous présentons les résultats obtenus par la mise en œuvre des propositions effectuées dans les chapitres précédents. Une analyse des résultats obtenus est également présentée.

Afin d'outiller l'approche proposée, nous avons développé un prototype informatique. Le prototype, son architecture, ses fonctionnalités sont également présentés dans ce chapitre.

Enfin, nous terminons ce mémoire par un ensemble de conclusions, et nous développons plusieurs pistes de travail pour compléter les propositions effectuées au cours de ce travail de thèse.

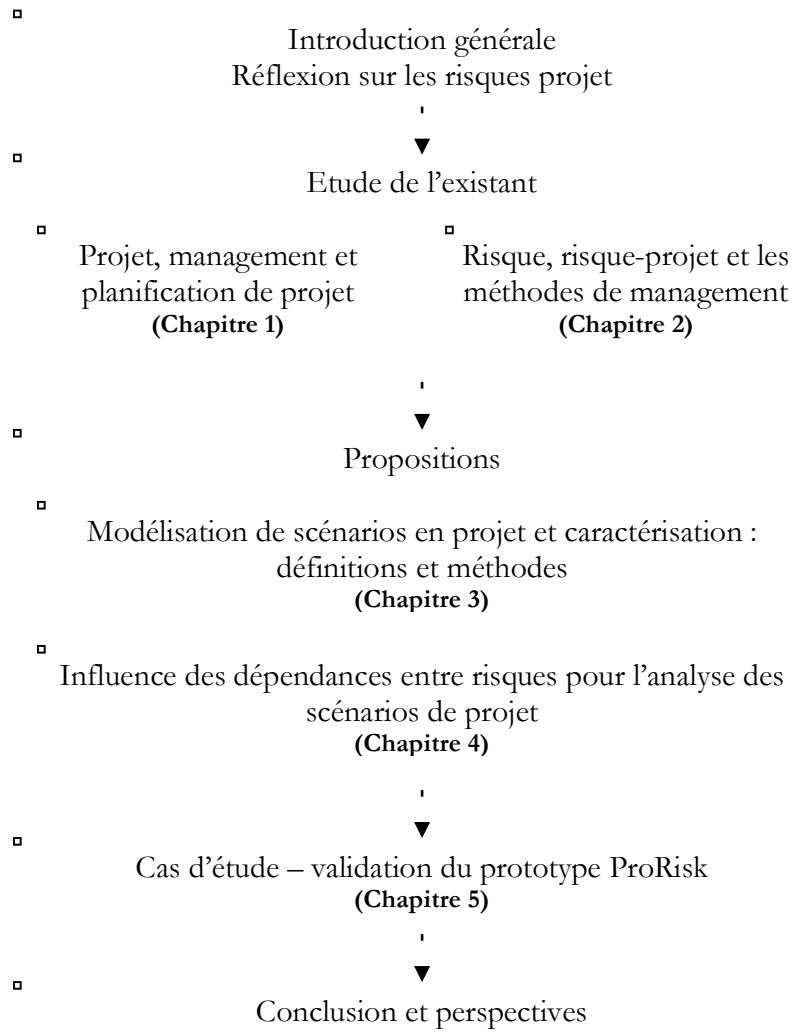


Figure 1. Structure du mémoire

CHAPITRE 1 : PROJET, MANAGEMENT ET PLANIFICATION DE PROJET

Au sein des entreprises, la science du management s'intéresse à l'utilisation des ressources, qu'elles soient humaines ou matérielles, afin de maximiser la rentabilité de l'effort consacré et de rendre l'investissement réalisé le plus opportun. Elle s'appuie sur de nombreuses techniques et approches pour organiser, diriger, améliorer, optimiser... La notion de gouvernance d'entreprise est apparue ces dernières décennies comme un des éléments de réponse aux problématiques de management global des entreprises. Deux logiques peuvent être identifiées, selon que l'on analyse le management suivant l'axe fonctionnel et hiérarchique ou suivant un axe horizontal et transverse.

D'un point de vue fonctionnel, l'entreprise est structurée en fonctions principales : fonction R&D, fonction marketing, fonction industrielle, fonction finance, fonction RH, etc. Selon l'axe vertical, les modes de management, découpés en niveaux de décision stratégique, tactique et enfin opérationnel, visent à atteindre l'efficacité dans la réalisation de la fonction pilotée. Les objectifs sont transmis par les instances de direction de l'entreprise et chaque directeur fonctionnel s'attache à décliner ces objectifs dans son périmètre, à assurer le pilotage des acteurs afin de respecter les objectifs déclinés et d'atteindre les résultats attendus. Ce pilotage vise à optimiser l'utilisation des ressources dans une perspective locale.

La vision projet, qui peut être décrite comme complémentaire, apporte une approche globale des objectifs en adoptant un mode de pilotage transverse inter-fonctions. Diverses organisations s'intéressent au management par les projets (Joly et Muller), (AFNOR X50-116). Söderlund (Söderlund 2004), en accord avec (Sharad 1986), (Gareis 1991), indique que les travaux de recherche sur le management par projets adoptent un regard particulier sur l'entreprise en portant une attention particulière aux dimensions projet, d'unicité, de durée délimitée, d'innovation, d'originalité, etc.

Dans le contexte de concurrence forte entre les entreprises, les phénomènes de la mondialisation, la rareté des ressources, l'exigence accrue des clients... le management par projet est une réponse nécessaire et indispensable.

Pour assurer leur compétitivité, les entreprises misent également sur l'innovation, qui représente non seulement un moyen nécessaire à la pérennisation d'une entreprise, mais aussi une composante essentielle dans le pilotage au quotidien des organisations (Pénide et al. 2010). C'est particulièrement le cas pour les entreprises émergentes, pour lesquelles l'innovation est le moteur

de la croissance initiale. Pour d'autres entreprises, innover est synonyme de prise de risque, entraînant parfois ces entreprises dans un tourbillon de difficultés liées à la frilosité de l'entreprise à innover (Christensen 2003) ou à l'obsession de la direction de suivre uniquement les bonnes pratiques de management, parfois contradictoires avec l'innovation. L'innovation devient alors un enjeu stratégique pour la pérennisation de l'entreprise, la piloter passe par la mise en place de structures *ad hoc* d'innovation adoptant des postures projet (Lenfle 2010), (Benghozi 1990).

1.1 Emergence de la notion de projet

Depuis des milliers d'années, les hommes se sont organisés pour imaginer, inventer, construire, réaliser de nombreuses œuvres et ouvrages, que ce soit sur le plan technique, organisationnel, culturel, scientifique. Bien avant l'apparition du mot « projet », ils ont ainsi structuré et organisé leurs actes et actions pour passer du monde de l'imagination au monde réel. Depuis plus de six mille ans, les sociétés ont entrepris des projets de toute taille (Gerald et al. 2008). Citons parmi les réalisations plus connues, les plus anciennes et les plus emblématiques : Stonehenge, les pyramides égyptiennes, la Grande Muraille de Chine, la tour de Babel, les cathédrales... Tous ces chantiers peuvent être considérés comme les premiers projets du monde encore connus de nos jours. Ils ont nécessité de nombreuses ressources, ouvriers, esclaves, contremaîtres, architectes se sont étalés sur plusieurs années ou dizaines d'années et ont consommé de gros moyens financiers.

Comme « lancé en avant », le mot « projectus » est apparu pour la première fois dans le Dictionnaire de la langue française de Dupiney de Vorrepierre en 1867 (Afnor 2004). Et cent ans plus tard, le dictionnaire Le Robert fait découler le mot « projet » du verbe « projeter », qui veut dire « jeter en avant ». Aujourd'hui, il existe de nombreuses définitions du mot projet (Project Management Institute. 2004), (Giard et Midler 1996)... Nous retiendrons ici la définition de l'ISO 10006 :

ISO 10006 (2003)

Un projet est « un processus unique, qui consiste en un ensemble d'activités coordonnées et maîtrisées comportant des dates de début et de fin, entrepris dans le but d'atteindre un objectif conforme à des exigences spécifiques telles que des contraintes de **délais**, de **coûts** et de **ressources**. »

Sur la base de la définition proposée ci-dessus, nous distinguons (tel que présenté sur la Figure 2), dans une vision externe au projet, deux notions que sont l'œuvre et l'ouvrage (D. Gourc 2006). Chacune de ces parties fait appel à des techniques ou outils bien particuliers. Le résultat, ou ouvrage, conduit à s'intéresser au produit final, à sa définition, sa caractérisation... En fait à sa conception. Pour cela, les techniques d'aide à la définition et à la conception de produit sont mobilisées.

En ce qui concerne l'œuvre, ce sont les techniques de structuration du projet, de conduite des actions à réaliser et de coordination des acteurs concernés pour obtenir le résultat, qui sont mobilisées. Ainsi, les techniques de conduite et de management de projet sont développées pour répondre à ces problématiques.

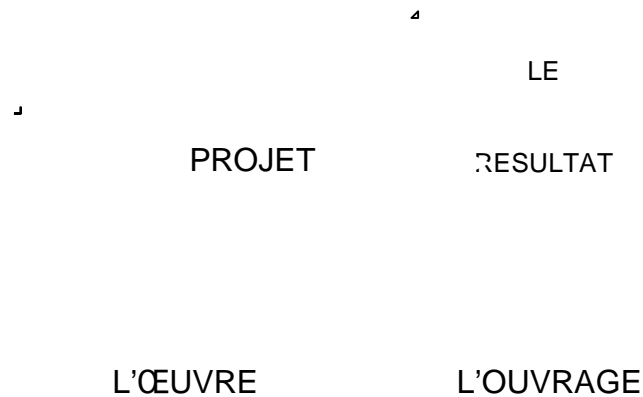


Figure 2. La vision externe du projet selon (D. Gourc 2006)

Les projets au sein de l'entreprise peuvent prendre plusieurs formes, citons par exemple : les projets de recherche, de développement d'un nouveau médicament, d'implantation d'une nouvelle usine, d'un nouvel atelier, d'une nouvelle ligne de production ou de conditionnement, les projets de certification d'une entreprise, de réalisation d'une campagne de marketing, de lancement marketing d'un nouveau produit, de développement d'un nouveau logiciel...

La réalisation du projet s'inscrit dans une logique d'action bornée par des dates de début et de fin. Les phases principales (Figure 3) qui le composent sont (Chapman et Ward 1997), (Cazaubon 1998), (Avoine 1998) :

- la phase préliminaire, qui consiste en une réflexion sur l'intérêt du projet, en termes d'opportunité stratégique,
- l'expression du besoin, qui vise à définir les fonctions attendues, le périmètre du projet, mais aussi les critères selon lesquels le projet sera évalué. Ces critères doivent être priorisés en précisant les degrés d'importance relatifs,
- la faisabilité, qui consiste en l'étude de ce qui est techniquement et économiquement faisable. Elle comprend la consultation des maîtres d'œuvres potentiels, la comparaison des propositions techniques et financières des réalisateurs possibles,
- le développement : le maître d'œuvre coordonne les travaux sur le « produit papier », pour préciser ce qui doit être fait jusqu'à l'achèvement de la réalisation. La conception du produit est effectuée au cours de cette phase. Les plans et dossiers de conception sont produits pour permettre la réalisation,
- la réalisation : le chantier est lancé, les travaux avancent pour transférer le « produit papier » dans le réel,

- la vérification : on vérifie (ou on calcule) que les caractéristiques attendues sont bien au rendez-vous. Elle se termine avec la qualification de produit,
- la phase d'exploitation : elle commence le plus souvent par la levée des réserves et voit la fin de la relation contractuelle entre maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre.

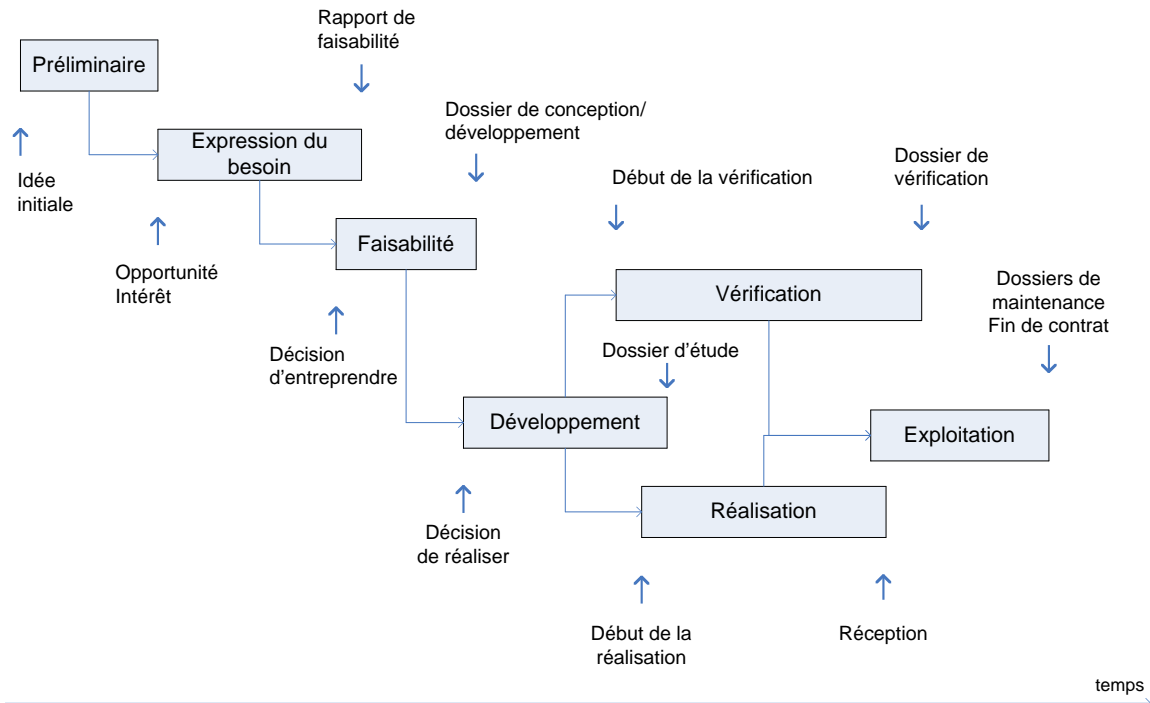
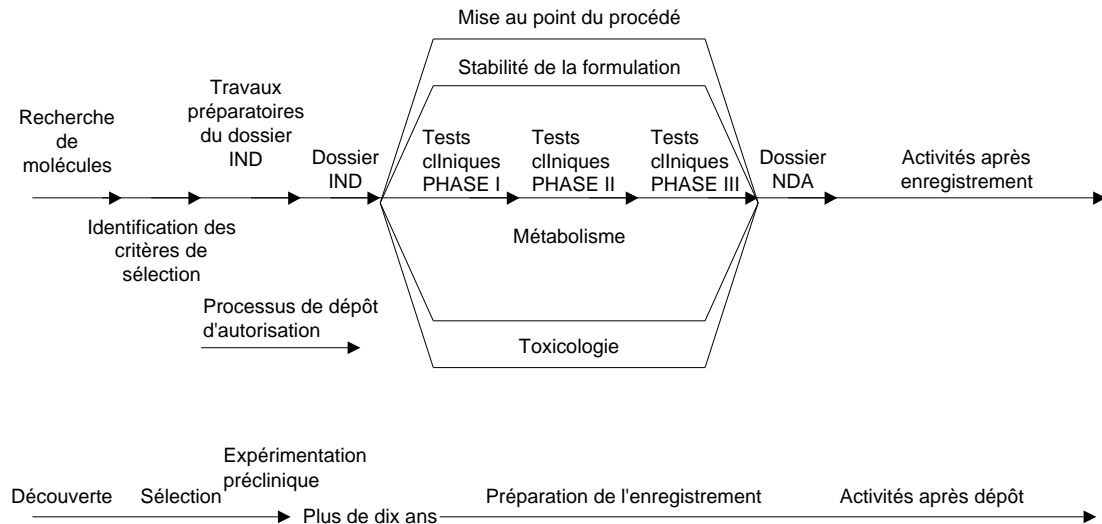


Figure 3. Exemple de phasage d'un projet

Selon le domaine d'application et le secteur d'activité, des phasages spécifiques peuvent exister. Citons par exemple :

- pour les projets qui passent par un appel d'offre, des étapes complémentaires interviennent comme : *Bid/no bid; which project to bid, how to bid...* (Wang, Xu, et Li 2009),
- pour les projets de système d'information, les cycles de vie sont répétitifs et peuvent revenir plusieurs fois (Chartier-Kastler 1995),
- pour les projets de développement de nouveaux médicaments, un découpage (voir Figure 4) dicté notamment par des considérations éthiques et imposées par les autorités de régulation, conduit à expérimenter les futurs médicaments tout d'abord sur des animaux, puis de manière progressive sur des volontaires sains, puis sur des patients avec une croissance progressive des effectifs testés.



IND : Investigational New Drug

NDA : New Drug Applications

Figure 4. Découpage d'un projet de développement de médicament inspiré de Murphy, (Murphy 1989)

Cependant, quel que soit le type de projet, quel que soit le secteur d'activité considéré, R. Turner (Turner 2006), dans son éditorial de la revue IJPM¹, résume sous la forme du lemme 6A les cinq étapes du cycle de vie d'un projet par :

- la phase de concept : lorsqu'une possibilité de bénéfice est identifiée, le résultat est évalué et les moyens possibles pour atteindre ce résultat sont aussi identifiés.
- La phase faisabilité : lorsque les moyens possibles sont identifiés, on évalue leur faisabilité et on compare leurs valeurs respectives. Un de ces moyens est retenu pour le développement ultérieur.
- La phase conception : lorsque la définition des attendus du projet est faite, les moyens pour les atteindre sont définis et le bénéfice escompté est calculé.
- La phase exécution : les activités pour réaliser les attendus désirés sont réalisées et la performance du projet suivie.
- La clôture du projet : les attendus sont réceptionnés par les propriétaires ou les utilisateurs pour être exploités.

Tous les projets sont caractérisés par des objectifs de délais, des objectifs de coût et des objectifs de qualité. Ces trois items constituent le triangle d'or du projet Coût, Délai, Qualité (CDQ).

¹ International Journal of Project Management

1.2 Management de projet comme une discipline émergente

1.2.1 Brefs rappels historiques du management de projet

Depuis l'origine jusqu'à nos jours, les pratiques de conduite de projet ont changé de nature. Ainsi, au départ les projets se pratiquent, mais la gestion s'ignore en tant que modèle de gestion spécifique, les pratiques sont peu ou pas institutionnalisées (Figure 5). C. Navarre (Navarre 1993) parle de degré - 1 de maturité de la gestion de projet. Au fil du temps, les pratiques, en se généralisant, passent par un degré 0 de maturité pour atteindre un niveau de standardisation permettant la reproduction des mêmes pratiques sur plusieurs projets, voire dans des secteurs d'activité différents. C. Midler (Midler 1996), pour sa part, propose de distinguer selon des repères « typologico-historiques » les modèles de gestion de projet : modèle de l'entrepreneur, de l'ingénierie, taylorien et concourant.

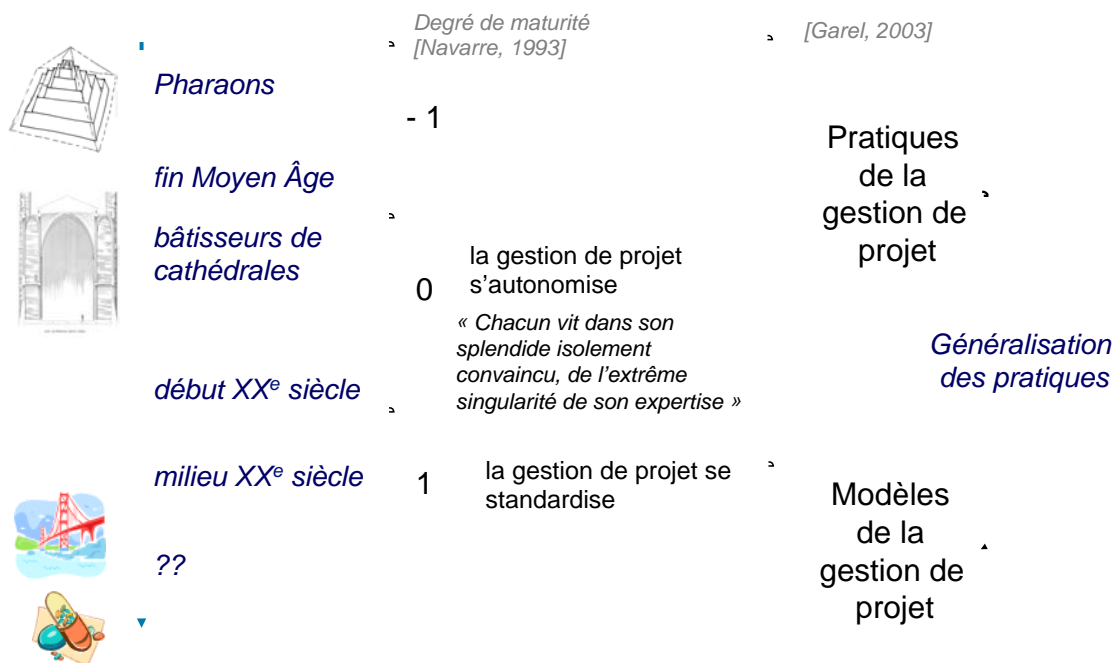


Figure 5. Evolution des pratiques de gestion de projet inspiré de (Garel 2003), (Navarre 1993)

L'ère contemporaine du management de projet est marquée par l'article fondateur de Gaddis (Gaddis 1959). Il fut le premier à aborder et à discuter explicitement de l'art et des pratiques de management des projets. Cet article est l'un des nombreux articles sur le sujet publiés dans une revue de management. Sur le plan des modèles et méthodes, la naissance de la méthode PERT a également marqué les pratiques (Garel 2003).

La Figure 6 propose une vue globale de l'histoire sur plus de cinquante ans de cette science (Dombkins 2008).

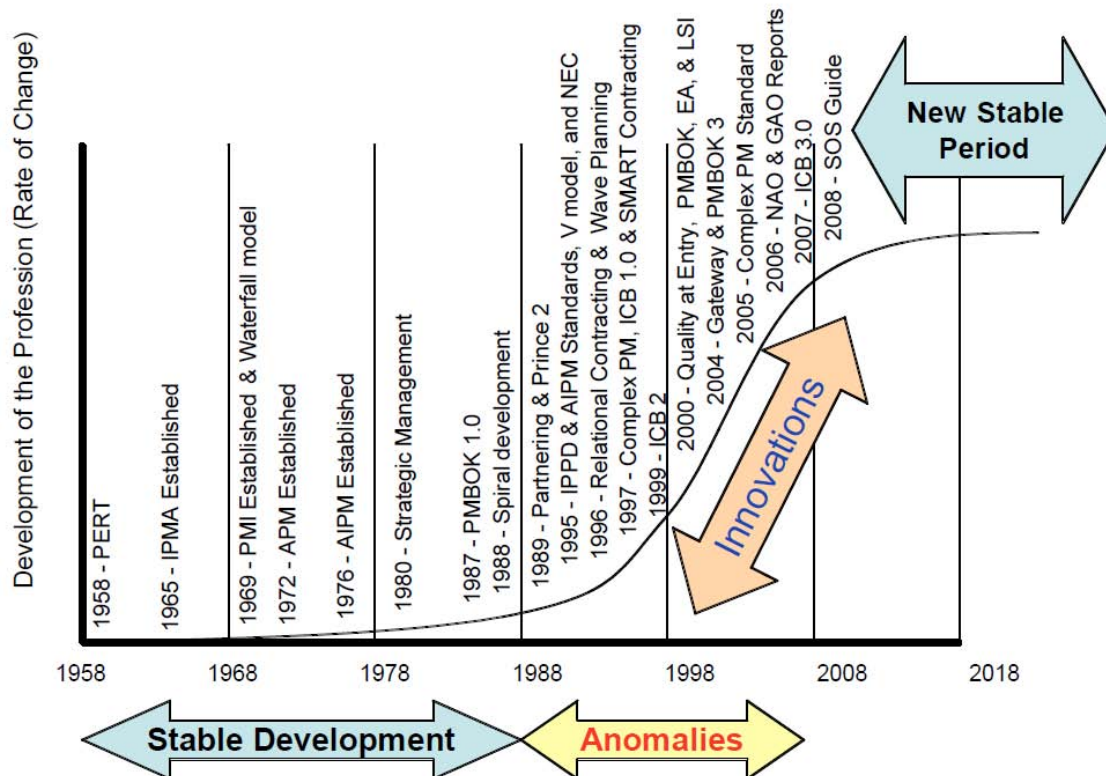


Figure 6. Chronologie relative au Management de projet (Dombkins 2008)

Les années quatre-vingts ont vu l'émergence de la gestion de projet. C'est à partir de ces années que l'on assiste au développement des techniques de conduite de projet dans le secteur des services, dans celui des industries de production de masse ou encore dans les entreprises publiques (Garel 2003). Sur la base des articles publiés dans la revue IJPM (International Journal of Project management) entre 1983 et 1992, Betts et Lansley (Betts et Lansley 1995) établissent un constat similaire faisant apparaître que, pendant cette période, la plupart des travaux ont concerné le domaine de la construction, de l'ingénierie, de l'industrie de procédés. Par ailleurs, ils notent une augmentation significative, pendant la même période, des articles relatifs au secteur de l'informatique, des services et des ouvrages et services généraux (énergie, télécommunications, transport, etc.).

Les vingt dernières années correspondent à une période de fort développement du management de projet (Garel et al. 2004), (Pinto 2002). Dombkins indique que nous vivons actuellement une période plus stable, comme il est possible de l'observer sur le haut de la Figure 6, quant au développement des techniques et des pratiques de management de projet (Dombkins 2008).

L'étude de la littérature, autant académique qu'issue du secteur industriel, fait apparaître de nombreuses productions et études sur les thèmes de l'organisation des projets, des facteurs de succès d'un projet et/ou d'une organisation projet, des compétences, des facteurs humains, de la communication au sein d'un projet, etc.

Avoine et Benghozi proposent une liste de compétences indispensables au chef de projet, ainsi que les manières d'améliorer la communication dans les équipes projet (Avoine 1998), (Benghozi 1990). Ces résultats sont utilisables dans différents domaines.

Dans ce cadre, nous pouvons mentionner ici les travaux de la FNEGE². Pendant plus de deux ans, la FNEGE a suscité une réflexion collective d'une quinzaine de chercheurs confirmés. L'aboutissement de ce travail est la publication de l'ouvrage collectif *Faire de la recherche en management de projet*. Il ressort de cette étude que des évolutions significatives semblent se dessiner dans trois directions (Garel et al. 2004) :

- de l'exécution du projet, les problématiques de management sont remontées vers l'exploration en amont pour répondre aux ambitions et aux exigences croissantes des stratégies d'innovation des entreprises,
- du mono-projet, on est passé progressivement au multi-projet, pour résoudre les problématiques multiples qui se sont développées avec le déploiement à grande échelle du concept de projet dans les entreprises,
- la gestion de projet est de plus en plus stratégique ; le pilotage de la firme étant de plus en plus indissociable du management des projets qui en définissent les frontières, les alliances et en façonnent le devenir.

1.2.2 Définition du management de projet

Le développement de ces techniques sous l'influence, tout au moins initialement, des praticiens et industriels, a conduit à la diffusion et l'usage de termes issus du langage courant pour certains. Les travaux de Betts et Lansley (Betts et Lansley 1995) nous indiquent que pendant les années 1982-1992, plus de 57 % des articles publiés dans la revue IJPM l'ont été par des auteurs n'appartenant pas à des institutions universitaires (private practice and private consultants).

Par ailleurs, le développement en parallèle dans différents secteurs d'activités, sous différentes formes d'organisation, a eu pour conséquence l'apparition de confusions et amalgames entre certains termes. Citons par exemple les termes « gestion de projet » et « management de projet », qui sont quelques fois utilisés de manière un peu confuse. L'AFNOR (X50-105 AFNOR 1991) propose de définir le management de projet comme étant composé de la fonction de direction de projet, assurée par le chef de projet (ou directeur de projet) et de la fonction de gestion de projet, assurée par un contrôleur de projet.

La direction de projet est plus qualifiée pour désigner la conduite d'un système ou d'une organisation conformément à une consigne donnée. La gestion de projet a pour objectif essentiel d'apporter à la direction de projet (et à travers elle, à la direction générale de l'ingénierie, du maître d'ouvrage ou du maître d'œuvre suivant le cas) les éléments pour décider par la mise en œuvre de fonctions instrumentales du pilotage d'un projet (coûts, délai, risques...) (Garel 2003).

² Fondation Nationale pour l'Enseignement de la Gestion des Entreprises

La notion de « management de projet » est donc considérée comme plus large que celle de « gestion de projet ». La fonction management englobe les tâches de direction, de conduite opérationnelle, ainsi que celles de gestion ou de pilotage (Avoine 1998). La définition proposée par l'AFITEP³ conforte cette acception du management de projet :

Dictionnaire, AFITEP

Le Management de projet comprendra les tâches de direction, gestion, maîtrise, pilotage, qu'elles soient assurées par une même personne ou plusieurs, appartenant à une même entreprise ou à plusieurs entités, parties prenantes du projet.

1.2.3 Les processus de management de projet

Divers travaux portés par des organisations regroupant des professionnels et des praticiens spécialisés en management de projet (PMI⁴, AFITEP) ou par des organismes de normalisation (AFNOR, ISO) ont permis d'identifier les processus de pilotage requis pour assurer le management efficace d'un projet.

Plusieurs référentiels, soit de bonnes pratiques, soit normatifs, proposent une liste de processus composant la fonction de management de projet (PMI 2008), (ISO 10006 1997), (FD X50-118). D'autres référentiels tout aussi pertinents existent, tels que ceux édités par Turner (Turner 2000) qui a explicité les relations entre ces référentiels de bonnes pratiques en management de projet.

La Figure 7 présente les processus que nous reprenons ci-dessous. Ils ont été proposés par le PMI dans son Project Management Body of Knowledge (PMBoK) (PMI 2008). Le PMBoK comporte neuf processus, qui correspondent aux dimensions que le management de projet doit considérer pour assurer le pilotage d'un projet :

- management de l'intégration,
- management du contenu,
- management des délais,
- management des coûts,
- management de la qualité,
- management des ressources humaines,
- management de la communication,
- management des risques,
- management des approvisionnements.

³ Association francophone de management de projet

⁴ PMI : Project Management Institute, organisation professionnelle américaine à vocation internationale

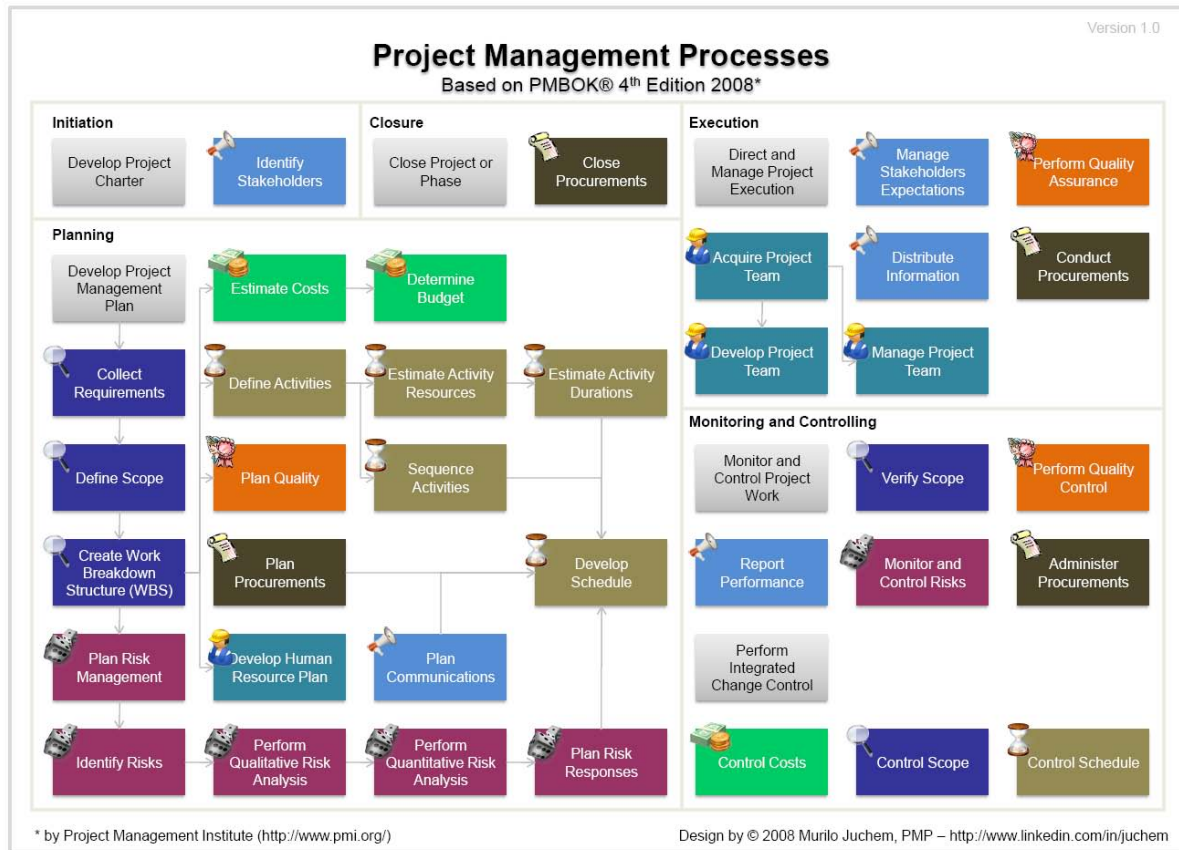


Figure 7. Processus de management de projet proposés par le PMBok, 4^e édition

1.3 Focus sur la planification de projet

La planification est un aspect important du management de projet, notamment pour les projets qui présentent un nombre important de tâches et qui se déroulent sur une longue durée. A titre d'exemple, dans le domaine du développement informatique, il existe une règle d'imputation disant que 33 % du temps total du projet (incluant les spécifications fonctionnelles et de conception) est réservé à la planification (Printz et al. 2001).

1.3.1 Définition de planification et les notions concernées

Pendant la deuxième guerre mondiale et plus précisément lorsqu'il planifiait l'opération Overlord C3 (invasion de la Normandie et du Nord-Ouest de l'Europe), le général Dwight Eisenhower a dit : « *Les plans ne sont rien. La planification est tout* ». L'analyse de sa phrase conduit à considérer que, même si les deux notions sont nécessaires, les plans ne se réfèrent uniquement qu'à des documents statiques. La planification quant à elle comporte un enchaînement d'actions réactives et dynamiques et permet de prendre en compte l'incertitude.

On retrouve cette notion de planification également dans plusieurs domaines différents comme : la planification de mouvement robotique (Lengagne 2009), la planification marketing (Bessis et al. 1993), la planification des ressources humaines (Draghici 2005)... Dans le domaine du management de projet, la planification est définie comme la « *discipline ayant pour objet de prévoir et suivre les objectifs (délais, coûts, etc.) de réalisation d'un ouvrage* » (AFNOR 1992).

Elle permet de traduire les objectifs prédéfinis en une action structurée et d'y associer l'organisation adéquate. La planification comporte deux notions relatives : « *planning* » - correspondant à l'identification des tâches et l'établissement d'une logique d'enchaînement et « *scheduling* » - correspondant à l'attribution de dates, pour chacune des tâches identifiées.

Les premières méthodes de planification de projet sont apparues pendant la guerre froide, en 1958, lorsque les Etats-Unis ont voulu lancer le système d'arme Polaris. Le temps était compté, la marine américaine devait réaliser dans les meilleurs délais le système Polaris. L'enjeu principal était de rattraper le retard en matière de balistique par rapport à l'URSS, après le choc de la « crise due au Spoutnik ». Rayburn, responsable du projet, pensait que les méthodes de management et d'organisation étaient plus importantes que les problèmes techniques. C'est l'une des raisons qui a permis la naissance de la méthode PERT (Programme Evaluation and Review Technique, traduit en français par « Technique d'évaluation et d'examen de projets » ou « Pour Eviter les Retards Traditionnels » (Avoine 1998)), avec le but de diminuer le délai. La mise en œuvre de cette méthode sur le projet Polaris a conduit à un gain de deux ans ; le projet s'est déroulé sur cinq ans au lieu de sept initialement prévus.

L'ordonnancement était limité jusqu'aux années soixante à la gestion des fabrications en ateliers. Il a été ensuite étendu à l'établissement des réseaux d'activités. Toutefois, le mot ordonnancement reste aujourd'hui plutôt employé pour une activité de programmation à court terme, alors que la planification concerne une vision à moyen ou long terme (AFNOR 1992).

Il n'est pas facile de distinguer ces deux notions. Aujourd'hui, les notions d'ordonnancement sont également utilisées dans les applications industrielles comme : la production, les services, les projets, les tâches informatiques (pour CPU)... De nombreux auteurs abordent la planification de projet par les techniques d'ordonnancement (Kone 2009), (Lopez 2003), (Artigues 1997). Ordonnancement et planification partagent ainsi des problématiques communes, que l'on peut séparer en deux familles :

- *selon le comportement : statique/dynamique* ; statique lorsque les données d'un problème d'ordonnancement sont connues à l'avance et dynamique lorsque les données apparaissent au cours de l'ordonnancement ;
- *selon la nature des informations disponibles : déterministe/stochastique* ; déterministe si à partir du moment où la donnée est connue, elle l'est avec certitude, sinon on parle de problème stochastique et l'on peut modéliser les données par les variables aléatoires ou tout autre représentation de l'incertain, comme par exemple par intervalles...

Dans le cadre de la planification de projet, la notion d'ensemble de tâches répétitives à positionner les unes par rapport aux autres n'est pas fréquente. Cette situation peut se présenter à l'intérieur d'une tâche planifiée, telle que l'ordonnancement des activités d'un atelier. La notion d'ordonnancement dans le cadre de projet ne fait alors plus référence au projet dans son ensemble, mais se place au niveau d'une tâche. Il ne s'agit plus alors de parler d'ordonnancement de projet.

1.3.2 Les méthodes de planification de délai de projet sous incertitude

En général, le but des méthodes de planification de projet est de :

- *présenter concrètement les objets planifiés* (tâches, activités, choix, intervalles...), ainsi que les contraintes de précédence, les orientations possibles aux différents points de décision...
- calculer/optimiser les paramètres de durée, coût et marges de tâches.

La théorie des graphes est utilisée comme support de la plupart des méthodes de planification de projet. Un graphe est utilisé pour représenter les tâches et les liens de précédence entre les tâches du projet. Un graphe est défini par un ensemble de points/nœuds, que l'on appelle aussi « *sommets* ». Ceux-ci sont liés par l'ensemble des branches orientées (ou non), que l'on appellera « *arcs* » (Kaufmann et Faure 1968). Un graphe G est défini comme un couple :

$$G = (N; A)$$

avec N : l'ensemble des sommets/ nœuds ; A : l'ensemble des arcs.

Dans le cas de la planification de projet, deux approches de représentation des tâches/activités sont possibles :

- l'approche potentiel-tâches : les tâches (a, b et c sur la figure 9) sont représentées par des sommets et les relations de précédence par des arcs orientés. Les arcs sont valués par la durée de la tâche à l'extrémité initiale de l'arc. Des tâches fictives de début (D) et de fin (F) de durée nulle sont placées pour matérialiser le début et la fin du projet.

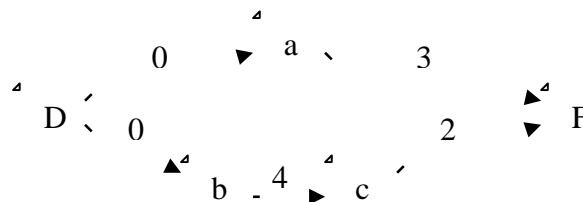


Figure 9. Exemple de graphe potentiel-tâches

- L'approche potentiel-étapes : tout comme dans le graphe potentiel-tâches, le graphe potentiel-étapes commence par une étape de début de projet et se termine par une étape de fin de projet (1 et 3 sur l'exemple de la figure 10). Chaque tâche est modélisée par deux étapes (un début et une fin) ainsi qu'un arc, entre les deux étapes, valué avec le nom et la durée de la tâche (tâche(durée)).

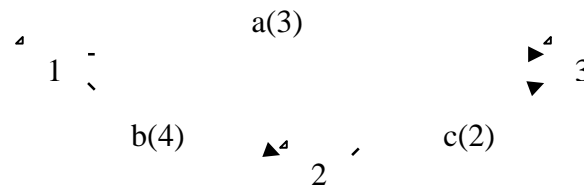


Figure 10. Exemple de graphe potentiel-étapes

(Bakir 2003) propose une analyse bibliographique des méthodes de planification de projet de 1958 (année de développement des méthodes PERT/CPM/MPM) à 2003. Cette analyse permet de distinguer deux principaux groupes d'approche :

- les réseaux d'activités déterministes : PERT, CPM, GANTT, MPM, PDM...
- Les réseaux d'activités généralisés : GAN, GERT, Q-GERT, CAAN, GAAN...

Historiquement, la grande majorité des travaux autour de la planification de projet s'est intéressée à la problématique de planification en environnement déterministe. Toutefois, dans la réalité, les activités projet sont soumises à de nombreuses incertitudes tout au long du projet, ce qu'il convient de prendre en compte (Jaafari 2001), (Herroelen et Leus 2005). Ces incertitudes peuvent être de différentes origines : indisponibilité de certaines ressources, retard de livraison de composants ou matériels, changement du périmètre du projet, échec dans la réalisation d'une étude, qui conduit à réitérer l'étude, nouvelles activités à réaliser non prévues initialement, etc.

Il est possible de distinguer les approches selon la période où l'incertitude est prise en compte pour la génération de la planification (Tableau 1) : soit en phase amont au lancement du projet, soit durant l'exécution du projet (Herroelen et Leus 2005).

Les approches applicables lors de la phase de planification opérationnelle du projet sont au nombre de trois :

- sans établissement d'un référentiel (a),
- avec établissement d'un référentiel sans anticipation de variabilité potentielle (b),
- avec anticipation d'une variabilité potentielle des données d'entrée utilisées pour l'établissement du référentiel (c).

Cette dernière approche consiste par exemple à introduire des distributions de probabilités sur l'estimation des durées de tâches. Elle peut être caractérisée de méthode proactive ou robuste.

En ce qui concerne les décisions prises durant l'exécution du projet, trois types d'approches sont également possibles :

- s'il n'existe pas de référentiel initial (d),
- si un référentiel a été généré au préalable, il est alors nécessaire de réviser et ré-optimiser le planning pour intégrer la survenue des événements (e),
- avec analyse de sensibilité (f).

Référentiel initial	Pendant l'exécution du projet
(a) Pas d'établissement du référentiel	(d) Planification dynamique
(b) Avec établissement d'un référentiel sans anticipation de variabilité potentielle	(e) Planification réactive
(c) Avec anticipation d'une variabilité potentielle	(f) Analyse de sensibilité

Tableau 1. Approches pour la génération de planning sous incertitude (Herroelen et Leus 2005)

Pour répondre à ces nouvelles problématiques, certains travaux s'intéressent aujourd'hui à l'incomplétude et l'imperfection des informations utilisées pour la planification. Les problématiques abordées sont de diverses natures. Nous proposons de les étudier selon deux axes de réflexion, suivant qu'elles portent sur la prise en compte de la variabilité de la structure projet et/ou de la variabilité des caractéristiques (notamment la durée) des tâches (Tableau 2).

La structure projet peut être :

- déterministe, cela consiste à considérer que l'organigramme des tâches et les liens de précedence entre les activités sont déterminés et fixés au début du projet et restent identiques tout au long de son exécution.
- stochastique, c'est-à-dire sujette à évolution au cours du projet, des liens peuvent être modifiés à tout moment durant l'exécution, de nouvelles tâches peuvent apparaître, alors que d'autres peuvent être supprimées.

De même au niveau de la durée des tâches, prises en compte pour les différents calculs, celles-ci peuvent être déterministes ou stochastiques.

Quatre quadrants sont ainsi formés pour représenter quatre types de problématiques (Tableau 2).

La situation (i) correspond aux méthodes historiquement développées, elles formulent l'hypothèse d'un environnement stable et déterministe tant en ce qui concerne les tâches, les liens de précedence et l'estimation de la durée des tâches. Les méthodes comme PERT, CPM, GANTT sont adaptées pour répondre à cette problématique. La méthode PERT permet tout de même de prendre en compte des durées probabilistes.

		Structure du projet	
		Déterministe	Stochastique
Durée des tâches	Déterministe	(i)	(iii)
	Stochastique	(ii)	(iv)

Tableau 2. Catégories des données d'entrée de planification de projet

En 1997, Goldratt introduit une implémentation directe de la théorie des contraintes dans le management de projet appelée « chaîne critique » (« critical chain »). Elle met l'accent sur les contraintes qui peuvent favoriser l'atteinte des objectifs. Ainsi, cette nouvelle approche de planification s'intéresse aux contraintes et incertitudes dans le projet, elle favorise la suppression des causes et événements indésirables, qui pourraient empêcher l'atteinte des objectifs (Goldratt 1997). L'objectif de la chaîne critique est de terminer le projet dans les délais, en considérant un contenu du projet et un budget prédéfini, tout en optimisant l'utilisation des ressources. Pour cela, il prend en compte, en complément de l'approche algorithmique des calculs à effectuer, l'influence de la dimension humaine pour le succès des projets, en introduisant des périodes tampons (« buffers »).

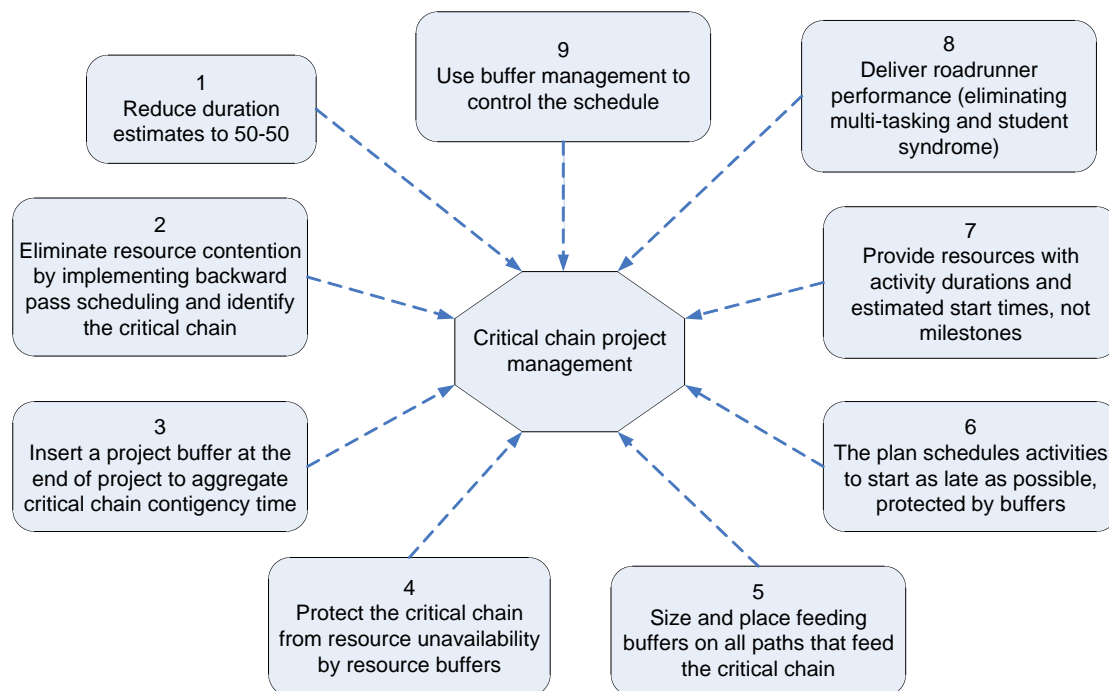


Figure 8. Apports de la méthode de la chaîne critique au management de projet (Rabbani et al. 2007)

La situation (ii) introduit la prise en compte d'un niveau d'incertitude sur l'estimation de la durée des tâches. (Ke et Liu 2005) s'intéressent à cette problématique et proposent un modèle utilisant des algorithmes génétiques destiné à minimiser le coût total sous des contraintes de date de fin limite.

La situation (iii) adresse les problématiques relatives à la variabilité des liens de précedence entre tâches pendant le déroulement du projet. Certains travaux ont porté sur l'incertitude quant à la finalisation d'une tâche avec succès ou échec. Cela conduit des opérateurs à modifier la séquence d'exécution des tâches (Ramat, Lente, et Tacquard 1997). (Luh, Liu, et Moser 1999), quant à eux, se sont intéressés à la planification des tâches avec un nombre incertain d'itérations dans des projets de conception. Les itérations peuvent survenir lorsque le résultat d'une tâche n'atteint pas les objectifs attendus ou lorsque des informations nouvelles provenant d'autres tâches sont obtenues, entraînant des changements dans la définition de la tâche (Nukala 1995).

Dans la situation (iv), on rencontre à la fois une structure de projet stochastique intégrant des tâches imbriquées présentant des durées stochastiques.

Rabbani et al. introduisent des durées stochastiques de tâche. Pour y répondre, différents points de contrôle sont établis et des décisions sont prises en tenant compte des répercussions dès l'activité suivante à réaliser, selon la disponibilité des ressources (Rabbani et al. 2007).

D'autres travaux reposant sur ces approches s'intéressent également à la relation aux ressources et visent à prendre en compte les contraintes relatives aux ressources utilisées pendant l'exécution du projet. Nombre de ces travaux s'inscrivent dans un objectif de maximisation d'un ou de plusieurs critères, tel que la valeur actuelle nette (Yang, Tay, et Sum 1995).

Nous ne ferons pas une analyse exhaustive des travaux menés dans ce cadre, car ils ne rentrent pas directement dans la problématique traitée dans ce travail de recherche.

Pour satisfaire ces deux besoins, les méthodes de planification de projet sont très multiformes : à l'une des extrémités de ce panorama des approches, il existe des outils très concrets de représentation comme le diagramme de GANTT (Voropajev et al. 2008). Cependant, celui-ci n'intègre pas de méthode de calcul. A l'autre extrémité, on retrouve des outils faits pour calculer/optimiser comme ceux proposés par ILOG. Entre ces deux extrêmes, on trouve différents outils tels que : PERT, CPM, GERT, CAAN... (Golenko-Ginzburg 1988), (Voropajev et al. 2000), (Bakir 2003)...

La Figure 9 permet de donner une autre vue des méthodes existantes en portant une attention particulière aux données d'entrée et données de sortie.

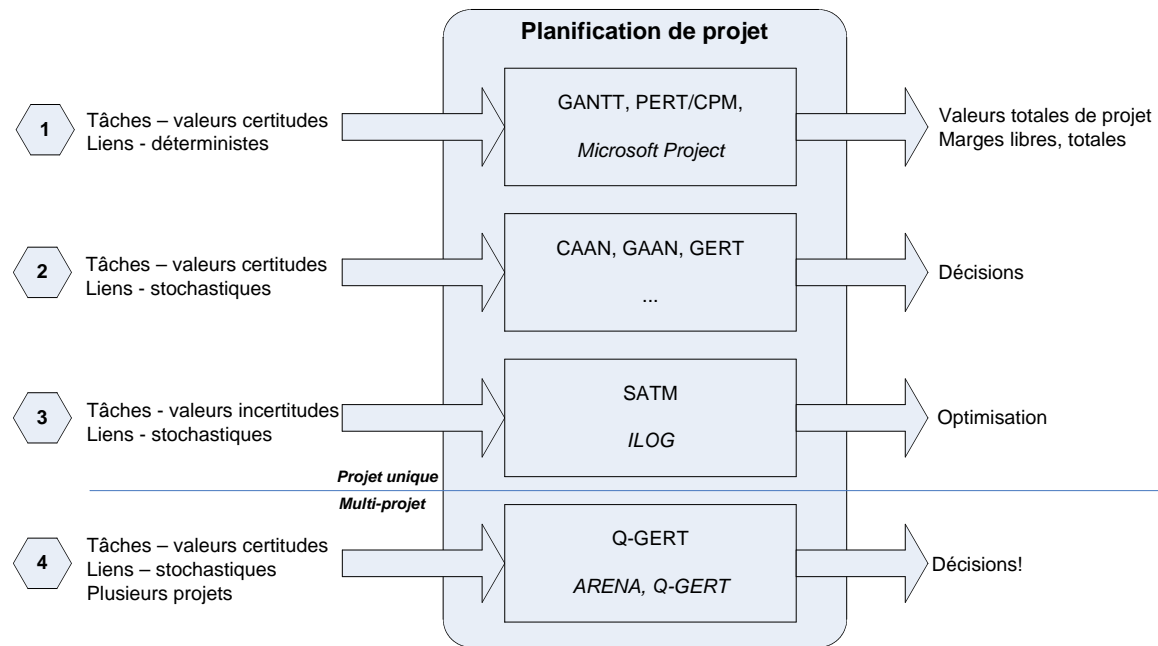


Figure 9. Une synthèse des utilisations des méthodes de planification de projet

La première flèche de la Figure 9 présente les méthodes basées sur des réseaux d'activités déterministes au sens où toutes les tâches identifiées dans l'énoncé seront proposées dans le planning. Par exemple : GANTT, PERT, CPM. Cette méthode a une fonction objectif, qui est la date d'achèvement minimale et l'algorithme de résolution est fondé sur le principe de Bellman.

La deuxième flèche présente les méthodes basées sur des réseaux d'activités alternatives, qui prennent en compte des activités dont la réalisation sur le programme est conditionnelle. Par exemple, la méthode GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) permet de représenter les réseaux des processus d'affaires (Pritsker et Happ, 1966). Depuis l'introduction de la méthode GERT, beaucoup d'articles ont été publiés pour montrer son application dans différents domaines de l'ingénierie, du management et de l'étude de système (Barjis et Dietz 2000).

Le modèle CAAN est un graphe acyclique permettant d'intégrer des branchements stochastiques et/ou déterministes (Golenko-Ginzburg et Gonik 1998). Chaque nœud ne peut être l'émetteur que d'un seul type de branchement. Cependant, pour certains nœuds les deux types de branchements peuvent être envisagés en même temps. La prise de décision doit être entreprise à chaque nœud déterministe de branchement.

Le modèle de SATM (Golenko-Ginzburg 1988), décrit par la troisième flèche, représente toutes les tâches par des nœuds simples, comme dans la méthode des antécédents, avec des informations s'y rattachant (caractère aléatoire, loi de distribution, les conditions d'antériorité avec les marges associées, la durée, l'état d'avancement, etc.). D'après les auteurs, ce modèle

possède les pouvoirs de représentation de GAAN pour ce qui est la logique et de pouvoirs étendus par des artifices au niveau des paramètres des tâches, comme par exemple la prise en compte des incertitudes d'estimation.

La quatrième flèche présente les méthodes qui utilisent uniquement les graphes potentiel-tâches ou potentiel-étapes prenant en compte les tâches du projet et les contraintes d'enchaînement. Les autres méthodes enrichissent les capacités de représentation des graphes des potentiels, afin de représenter des informations supplémentaires, en particulier les aspects conditionnels et stochastiques, en proposant graphiquement différentes solutions Q-GERT (Pritsker 1979), (Taylor et Moore 1980).

En résumé, alors qu'il existe peu d'outils informatiques supportant les méthodes basées sur les réseaux d'activités alternatives (Pritsker, 1979), (Taylor et Moore, 1980), beaucoup supportent la méthode PERT/CPM. Un des avantages de la méthode PERT est qu'elle offre la possibilité de représenter l'incertitude qui peut exister sur la durée des tâches. En effet, une durée opératoire qui est aléatoire peut être représentée par une loi de distribution (Normal, Triangulaire, Beta-Pert par exemple...), (Thiriez, 2004). Cette approche est utilisée dans de nombreux outils : @RISK, PertMaster (Bangun et Bhuta, 2003), Crystal Ball (Paquet, 2005)... qui utilisent soit la méthode Monte Carlo (Thiriez, 2004), (Kalos et Whitlock, 2004) et/ou la méthode Latin Hypercube Sampling (Sallaberry et al., 2007), (Hossain et al., 2005) pour obtenir des estimations de la durée des tâches.

1.4 Conclusion

Différents facteurs influencent le déroulement des projets. Ils peuvent impacter le projet au cours de ses phases : de l'idée de lancer un projet à la livraison du/des livrable(s). Ces facteurs sans chercher à être exhaustifs, sont relatifs aux dimensions :

- *Techniques, technologiques* : dans ce domaine, les catégories de problèmes rencontrés au cours des projets peuvent être très variables : la définition d'un cadre de recherche, la maîtrise des contraintes techniques, la gestion de l'outil de production, l'anticipation des conséquences de certains choix, la veille technologie, la conception de produits.
- *Fournisseurs, sous-traitants* : le co-développement est un nouveau challenge pour les fournisseurs.
- *Pilotage, organisationnel* : PMBoK propose neuf processus : project integration management, project scope management, project time management, project cost management, project quality management, project human resource management, project communications management, project risk management, project procurement management.

- *Marchés, clients* : dans certains cas, ce n'est pas le marché qui incite à l'idée, mais l'idée qui se cherche une place sur le marché.
- *Aspects légaux, juridiques, normes* : dans le cadre de projets, les enjeux financiers peuvent être conséquents et avoir des répercussions sur la survie des entreprises parties prenantes.
- *Décisionnels* : les facteurs relatifs à la prise de décision sont des facteurs internes de l'organisation de projet. Ils sont gérés par le directeur général et un comité de gestion (décisionnel), qui décident du lancement de tel ou tel projet, de son mode de réalisation, de son organisation.

Certains de ces facteurs, s'ils ne sont pas maîtrisés, peuvent avoir une influence néfaste sur le déroulement des projets. C'est ainsi que les démarches de management de projet sont privilégiées pour piloter et maîtriser le bon déroulement des projets face à ces éventuels aléas.

Nous avons présenté dans ce chapitre quelques référentiels qui explicitent les bonnes pratiques en matière de management de projet. Ces documents de référence présentent les processus requis pour un bon management de projet. Turner propose un examen des progrès réalisés et des connaissances développées dans le domaine de la gestion de projet (Turner 2000). Il affirme que, même si le guide du PMBoK ne répond pas toujours à tous les problèmes rencontrés, il contient les éléments de base utilisés par l'ensemble des gestionnaires de projet. Des travaux académiques existent également. Ils visent à renforcer l'applicabilité de ces processus (Themistocleous et Wearne 2000) et proposent des approches à travers différents domaines.

En complément, nous avons fait un focus sur les dimensions de planification délai dans le management de projet. Un état de l'art des méthodes de planification délai sous incertitude a été établi, afin de mettre en exergue les approches retenues tout particulièrement dans les travaux académiques.

CHAPITRE 2 : RISQUE, RISQUE PROJET ET METHODES DE MANAGEMENT DES RISQUES PROJET

« On sait à tout moment que demain, la seule certitude, c'est l'incertitude » -
Victor Hugo.

2.1 Introduction

L'année 2010 ainsi que le premier semestre de l'année 2011 ont été ponctués d'une série de catastrophes et d'accidents majeurs. Les séismes d'Haïti ou du Chili et leurs conséquences funèstes illustrent parfaitement la dimension naturelle de ces catastrophes. Le rappel de millions de véhicules à travers le monde par Toyota à la suite d'un défaut sur certains systèmes d'accélération est un autre cas de catastrophe, cette fois-ci industrielle.

Ces exemples ne font que s'ajouter à la longue liste des catastrophes et plus généralement des événements qui ont marqué l'histoire. En plus des événements naturels, le développement des activités humaines au travers de l'ère industrielle s'est accompagné de l'apparition de nouveaux dangers. Il serait assez aisé d'énumérer un grand nombre de catastrophes minières, ferroviaires, aériennes, nucléaires, chimiques, financières (Wybo 1998). Nous pouvons citer les catastrophes industrielles : l'accident nucléaire de Three Mile Islands ou celui de Tchernobyl, l'explosion de l'usine à Bhopal, la catastrophe de l'usine SEVESO... (Lagadec 1981), mais aussi des catastrophes dans différents domaines de notre société comme les scandales financiers révélés au début des années 2000, tels ceux d'Enron et de Worldcom ou plus récemment, ceux de Bear Stern ou encore de Lehman Brothers en 2008.

Adoptant une vision négative des conséquences possibles d'un événement sur un système (système naturel, entreprise, projet, groupe d'hommes...), la cindynique ou science du danger, se propose d'étudier les sources, les caractéristiques et les conséquences de ces Evénements Non Souhaités (ENS). Dans ce contexte, un certain nombre de définitions a été proposé (Wybo 1998) :

- incident : perturbation d'une composante, d'une unité ou d'un sous-système d'un système plus large.

- accident : perturbation qui affecte un système dans son ensemble comme une usine, une entreprise ou une industrie.
- risque : aléa dont la survenance prive un système d'une ressource et l'empêche d'atteindre ses objectifs.
- crise : événement surprenant les individus, qui limite ainsi le temps qui leur est accordé pour élaborer une réplique et qui menace leurs objectifs.

En plus d'un aspect négatif, la gestion des catastrophes renvoie à la nécessité d'urgence dans laquelle doit se dérouler l'intervention.

Néanmoins, tous les événements ne donnent pas lieu à des catastrophes et il appartient aux différentes parties prenantes d'appréhender leur contexte et leur environnement afin de mettre en œuvre des moyens de prévention et d'apprentissage (par l'approche de la fiabilité et la sûreté de fonctionnement des systèmes industriels).

Cette première approche du mot risque se doit d'être complétée. Dans cet objectif, ce chapitre va s'attacher à dresser un bilan sur les notions de risque, de management de risques au sens large et plus particulièrement dans le domaine du management de projet. Les approches classiques pour gérer les risques sont analysées et leurs limites sont également explicitées. Sur la base de cette étude critique, nous effectuons quelques propositions en termes d'approches de prise en compte des risques en présentons notamment l'approche, développée dans notre laboratoire, de synchronisation des processus de pilotage de projet. Enfin, une description des logiciels de gestion des risques projet est également présentée.

2.2 Le Risque – une vue globale

Latin, italien, espagnol, arabe... il est difficile d'établir avec exactitude l'origine du terme « RISQUE ». Dans la langue française, le mot « risque » tel que nous le connaissons aujourd'hui, serait apparu en 1557 dans un traité d'Henri Estienne (Estienne 1578) comme étant un mot féminin. Il est finalement devenu un mot masculin au XVII^e siècle (« *ton argent court grand risque* », dans *L'Impromptu de Versailles* de Molière (1663) (Lannoy 2008)).

2.2.1 Le concept

« *Si quelque chose doit aller mal, cela se passera ainsi* », tel est le sentiment de fatalité qui peut caractériser l'occurrence d'un événement selon la loi de Murphy (Bessis et al. 1993). Cette remarque fait clairement apparaître la variété des situations « risquées » qui s'étendent des risques majeurs chimiques, nucléaires... aux risques organisationnels dans l'entreprise, mais aussi aux risques financiers, technologiques, en passant par les risques liés à l'utilisation d'internet... Face à cette variété des sources, de la perception des conséquences ou même du domaine et des cultures,

une multitude de définitions a été proposée. En plus de la littérature académique (Chapman et Ward 1997), (Courtot 1998), (D. Gourc 2006)... des apports de la part d'organisations telles que ISO, AFNOR, DGA, CIRANO, COSO, OGC... (ISO 31000 2009), (X50-117 AFNOR 2003), (DGA 1995) ont été effectués. A ce propos, nous renvoyons aux travaux de (Sienou 2009), qui a dressé une liste plus exhaustive des définitions possibles du mot risque.

Parmi cet ensemble de définitions, le Guide 73 de ISO/IEC peut être considéré comme une référence couramment utilisée. Selon lui : « *Risk can be defined as the combination of the **probability** of an **event** and its **consequences**.* » (ISO Guide 73 2002). Donc, un risque combine une probabilité (pour la caractéristique de hasard) et ses conséquences. D'un point de vue extérieur, la Figure 10 nous illustre le modèle général cause-conséquence de risque (D. Gourc 2006), (Salvi et Debray 2006).

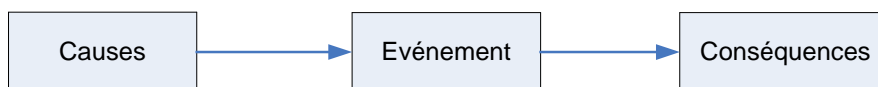


Figure 10. Modèle général cause-conséquence

Cependant, dans certains domaines particuliers, le modèle présenté par la Figure 10 peut être complété par des notions gravitant autour du risque. Par exemple, dans le domaine de la gestion de projet, les causes ainsi que les facteurs de risque peuvent être précisés. En effet, ces éléments identifiés sont une condition de l'environnement interne ou externe du projet dont l'existence est de nature à influencer la survenue d'un événement et donc de modifier la mesure des caractéristiques du risque (Ravalison 2006), (D. Gourc 2006).

D'un point de vue quantitatif, le risque est caractérisé très fréquemment par la formule : $\text{criticité}(\text{risque}) = \text{probabilité} \times \text{impact}$. Le risque peut ainsi être présenté dans une matrice du risque (voir Figure 11) à deux dimensions : probabilité et impact. Il est alors possible de mener une analyse comparative multi-risques dans un même plan.

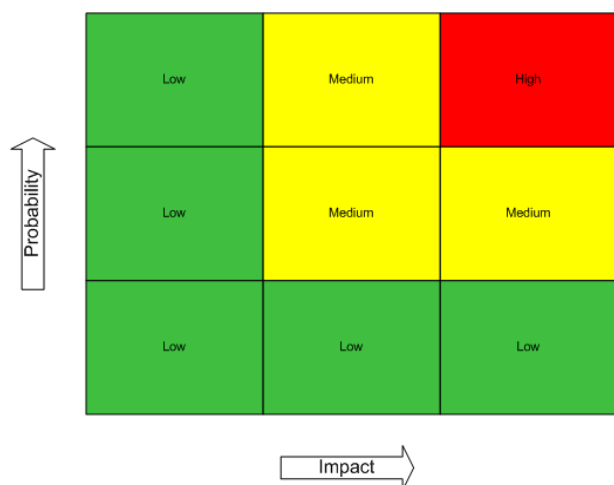


Figure 11. Matrice probabilité-impact

Les zones déterminées dans la matrice de risque peuvent nous aider non seulement à hiérarchiser les risques, mais aussi à choisir des stratégies de management telles que, par exemple :

- éviter : pour les risques situés dans la zone rouge,
- réduire ou Transférer : pour les risques situés dans la zone jaune,
- accepter : pour les risques situés dans la zone verte.

2.2.2 Les approches de gestion

De même qu'il existe une variété de définitions de la notion de risques, il existe également de nombreuses approches et méthodes pour gérer les risques (Tixier et al. 2002), (D. Gourc 2006), (Grimaldi et Rafele 2008), (Sienou 2009)... A côté des méthodes universelles telles que l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité), APR (Analyse Préliminaire des Risques), Brainstorming... il existe également des méthodes développées pour des secteurs d'activités particuliers telles que les méthodes HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) pour la sécurité dans la chaîne alimentaire, RRHI (Chemical Runaway Reaction Hazard Index) pour l'industrie chimique... (Wybo 1998), (Ozouf 2009).

Les méthodes et les outils se complètent les uns les autres pour gérer les risques dans les cas différents. Par exemple, si l'AMDEC et l'APR sont très efficaces pour hiérarchiser les risques (afin de paramétrer les études de Sûreté de Fonctionnement à mener par la suite - pour l'APR ou pour définir les défaillances qui mériteraient la mise en œuvre d'actions correctives - pour l'AMDEC produit), ce ne sont pas les outils idéaux pour rechercher les causes d'une défaillance avérée ou potentielle. L'outil le plus classique, spécifiquement conçu pour la recherche de causes, est le diagramme causes-effets aussi appelé diagramme d'ISHIKAWA (Ishikawa 1985). Il permet d'organiser le brainstorming d'un groupe de travail pour rechercher l'ensemble des causes d'un événement donné (Ozouf 2009). Pour rechercher les causes de manière exhaustive, l'outil le plus approprié est l'Arbre de Défaillances (AdD). C'est un outil qui permet d'analyser la combinatoire des causes qui amènent à un événement redouté par une série de ET et de OU.

Les méthodes/outils se distinguent selon que les approches sont qualitatives/quantitatives ou encore déterministes/stochastiques...

Très récemment, le processus de management de risque suivant a été proposé par l'International Standards for Business, (ISO 31000 2009) (Figure 12).

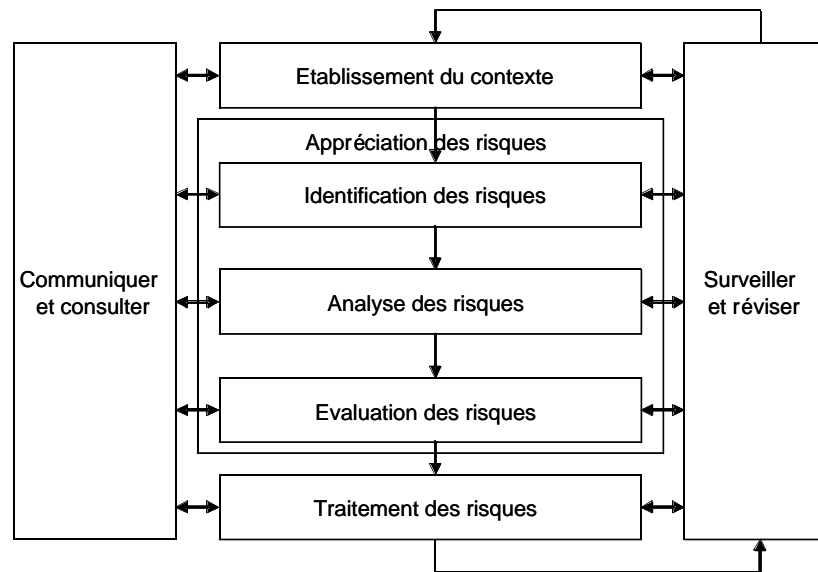


Figure 12. Processus de management des risques selon (ISO 31000 2009)

Certaines étapes décrites dans ce processus existent également dans plusieurs approches de gestion de risques, citons TRAM (Klein et Cork 1998), RISKMAN (Carter et al. 1996), PRAM (Chapman 1997)... Cependant, certaines méthodologies contribuent de manière intéressante à la réalisation de ces étapes. La définition du risque et la Figure 11 (cf 2.2.1) nous montrent que la **probabilité** et les **impacts (conséquences)** sont deux caractères prépondérants du risque. Typiquement, nous pouvons citer deux méthodologies qui sont universelles et récentes, provenant des secteurs académiques et industriels contribuant au processus de management des risques : les méthodes TRAM et ARAMIS.

Premièrement, la méthodologie TRAM, développée en 1998 par Klein et Cork (Klein et Cork 1998) vise à l'évaluation des risques qui concernent une machine ou un système dans le domaine technique. La méthodologie TRAM a pour principales étapes : la structuration du système, l'identification des risques, l'identification de la méthode d'évaluation, l'évaluation des risques, le choix de la méthode d'intégration, l'intégration des risques, l'intégration hiérarchique. Cette méthode se veut avant tout intégrative d'autres approches. Elle affiche le postulat selon lequel il est préférable d'utiliser des méthodes de mesure du risque adaptées à chaque type de risque plutôt que d'essayer de proposer une méthode de mesure universelle. TRAM propose un cadre original pour assurer l'intégration des résultats ainsi obtenus et permettre d'établir une hiérarchisation des risques. Cette originalité est développée en particulier dans la phase « identification de la méthode d'évaluation ». Ici, les auteurs proposent d'évaluer chaque risque par une méthode particulière qui dépend de ses caractéristiques. TRAM propose deux méthodes pour identifier les risques qui sont : « la décomposition » et « l'évaluation par comparaison » (Klein et Cork 1998). La contribution principale de TRAM est de nous suggérer de **normaliser les impacts** des risques (même si différentes méthodes d'identification sont utilisées). C'est la première condition pour trier les risques par rapport à leurs gravités et probabilités.

Deuxièmement, l'approche ARAMIS (Accidental Risk Analyse Methodology for IndustrieS) nous donne une vision concrète où le risque est positionné entre les causes possibles (sources pour calculer la probabilité) et les conséquences possibles. La méthodologie ARAMIS est issue d'un projet européen de recherche (2002-2004). L'objectif du projet était de développer une nouvelle méthodologie d'évaluation des risques répondant aux exigences de la directive Seveso II et constituant une solution alternative aux approches purement déterministes ou purement probabilistes de l'évaluation des risques. Cette méthodologie propose d'étudier les scénarios d'accident et de définir des barrières de protection pour juguler les scénarios identifiés. ARAMIS s'appuie sur les résultats de méthodes antérieures, qui proposaient déjà ces dimensions telle que la méthode MADS-MOSAR (Perilhon 2007). La représentation des scénarios d'accident sous forme de nœud papillon est au cœur de la méthodologie ARAMIS et constitue l'une de ses originalités. Le risque y est défini comme une combinaison de la probabilité de survenue (fréquence) d'un Phénomène Dangereux (PhD), et de l'Évènement Majeur (ME) correspondant, de son intensité et de la vulnérabilité du territoire exposé. La partie gauche du nœud papillon, appelé arbre des défaillances, identifie les causes possibles d'un Évènement Critique (EC). La combinaison d'Évènements indésirables (Ein) entraîne elle-même un « Évènement Indésirable » (EI) générant des Causes Directes (DC) qui combinées à leur tour, entraînent un Évènement Critique (EC). Celui-ci peut mener à des Évènements Critiques Secondaires (ECS) donnant lieu à des Phénomènes Dangereux et par voie de conséquence à des Évènements Majeurs (ME). Le concept de « nœud papillon » repris dans ARAMIS a été initialement développé par Shell pour représenter les différentes étapes de la gestion de risques dans une installation. Sur cette base, les auteurs d'ARAMIS présentent une version particulière du nœud papillon, qui combine un arbre de défaillance et un arbre d'événements (Salvi et Debray 2006). Les barrières de protection se décomposent en deux familles : les barrières dites de « prévention » se trouvent sur la partie gauche de l'arborescence, alors que les barrières dites de « protection » se trouvent à droite (Figure 13).

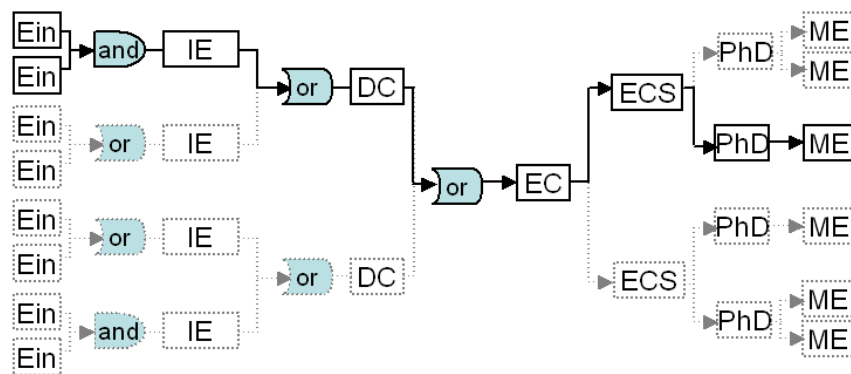


Figure 13. Un scénario (Salvi et Debray 2006)

Un chemin possible de gauche à droite dans un nœud papillon décrit un scénario (cause - événement redouté - conséquence). Dans chaque nœud papillon, un événement redouté (EC) peut être le résultat de plusieurs causes possibles... Cet outil est parfaitement adapté pour illustrer le résultat d'une analyse de risque détaillée (de type AMDEC, HAZOP).

L'une des principales contributions d'ARAMIS est ainsi liée à la **probabilité** d'occurrence des risques grâce à l'arbre de défaillance qui se trouve à gauche dans le « nœud papillon ». De plus, un « nœud papillon » (Figure 13) nous donne une vue plus précise d'un risque situé entre les causes et les conséquences que la Figure 10 (cf. 2.2.1).

2.3 Risque-projet

Dans le chapitre 1, nous avons présenté la notion de projet et également les méthodes de management et de planification de projet. Un projet est influencé tout au long de sa vie par différents types de facteurs qui peuvent perturber son déroulement. Ces facteurs, de nature endogène ou exogène, sont issus, par exemple, de l'entreprise, du marché, du monde de la technologie... Les perturbations occasionnées peuvent être de différents ordres, allant de la simple modification des plannings à la remise en cause de l'existence du projet en passant par des évolutions notables des objectifs et du périmètre du projet. La notion de risque illustre naturellement le potentiel de perturbations pouvant survenir au cours d'un projet.

2.3.1 Définition

La survenue d'événements au cours du projet peut entraîner par exemple un allongement des délais, une augmentation des coûts ou encore l'obligation de modifier la séquence d'exécution des tâches. Un travail sur l'anticipation de ces événements et la mesure de leurs conséquences devient alors nécessaire pour minimiser les impacts. C'est l'objet de la maîtrise des risques que de s'intéresser à l'anticipation des événements, à leur évaluation et à la proposition d'actions de traitement adaptées.

Dans chacune des étapes (ou phase) d'un projet, des risques peuvent être présents. Ceux-ci peuvent prendre des formes très diverses et avoir des origines internes ou externes. Plus le niveau de la complexité du projet est élevé et plus celui-ci présentera de risques (Vidal 2009).

D'une manière générale, le risque peut alors être défini comme étant « la possibilité que se produise un événement, généralement défavorable ayant des conséquences sur le coût ou le délai d'une opération et qui se traduit mathématiquement par un degré de dispersion des valeurs possibles autour de la valeur probable quantifiant l'événement et une probabilité pour que la valeur finale reste dans les limites acceptables » (AFNOR 1992).

Intéressons-nous aux définitions proposées dans le cadre des risques projet. Citons parmi les références étudiées (DGA 1995), (X50-117 AFNOR 2003), (Courtot 1998). Selon Didier Gourc,

le risque projet peut être défini comme étant : « *la possibilité que survienne un événement dont l'occurrence entraînerait des conséquences (positives ou négatives) sur le déroulement de l'activité du projet* » (D. Gourc 2006).

Nous retrouvons dans cette définition les deux notions fondamentales du risque que sont la **probabilité d'occurrence** et les **impacts**. Dans le domaine du management de projet, l'impact est une mesure qui définit l'importance des perturbations occasionnées par l'occurrence du risque. Ces deux éléments sont généralement déterminés par des experts. Le niveau de gravité de l'impact est représentatif des effets induits, notamment sur les objectifs et critères de succès du projet. Pour préciser la notion d'impact de risques projet, (D. Gourc 2006) propose trois types d'impacts majeurs directement reliés aux objectifs et critères de succès du projet :

- les impacts de type délai : dérive positive ou négative des délais du projet ;
- les impacts de type coût : économie ou surcoût par rapport au budget initial ;
- les impacts de type performance ou qualité : amélioration ou dégradation par rapport à la performance prévue.

En plus de ces deux importantes caractéristiques du risque, les risques projet peuvent être caractérisés par différents paramètres (Courtot 1998), (Bakir 2003) :

- la nature : elle se définit selon huit modalités d'ordre technique, financier, humain, organisationnel, managérial, juridique, réglementaire et commercial.
- L'origine : les risques peuvent provenir du client, du produit, des fournisseurs ou des sous-traitants, des pouvoirs publics ou des instances juridiques et réglementaires...
- La contrôlabilité : elle permet de déterminer les modes d'action possibles (choix des assurances ou de transfert de risques) .
- La détectabilité : certains risques sont détectables, d'autres ne le sont pas. La détectabilité dépend entre autres de la complexité du projet et de la connaissance du projet par l'équipe en charge de l'étude des risques.

Notre laboratoire travaille depuis plusieurs années sur ce sujet et a proposé en particulier une grille de lecture des approches de management des risques selon deux grandes classes : approches analytiques et approches symptomatiques. Les approches analytiques regroupent les méthodes d'analyses descendante et ascendante. Elles portent sur une analyse détaillée de chacun des risques pris séparément. Elles sont principalement destinées aux acteurs du projet. Les approches symptomatiques s'appuient sur une analyse globale du risque en s'intéressant aux manifestations visibles du risque sur les indicateurs du projet. Elles sont principalement destinées aux décideurs externes du projet.

2.3.2 L'approche risque-incertitude

“*Risk is measurable uncertainty, Uncertainty is unmeasurable risk*” - (Olsson 2007).

C'est à l'imprécision portée sur les estimations des phénomènes potentiels que cette classe d'approche s'intéresse. (Ward et Chapman 2003) indiquent dans ce cas que la gestion des risques projet est transformée en une gestion des incertitudes : «*transforming project risk management into project uncertainty management* ». Le risque devient alors une ou des incertitudes. Elles sont prises en compte dans les tâches sous la forme d'intervalles de délai ou de coût. Ceci se répercute ainsi sur le projet global sous la forme de distribution de délai ou encore de coût total de projet. Ces approches sont soutenues par de nombreux outils logiciels tels que @Risk®, Pertmaster®, Crystal Ball®... (ceux-ci sont décrits de manière plus précise dans la section 2.4.3). Ces logiciels utilisent la méthode de simulation de Monte Carlo (Kalos et Whitlock 1970) pour évaluer la durée, le coût... du projet sur la base des incertitudes d'estimation.

2.3.3 L'approche risque-événement

Cette deuxième classe d'approches considère le risque comme « un événement qui peut affecter la réalisation des objectifs du projet » (Carter et al. 1996), (D. Gourc 2006), (Chauveau 2006)... Les outils logiciels tel que RISKMAN, RiskProject®... supportent ce type d'approches. Le risque y est décrit comme un événement doté de caractéristiques d'occurrence (potentialité de survenue) et de conséquences sur les objectifs du projet (impacts en cas de survenue). L'occurrence d'un risque peut provoquer des modifications sur le planning. Les périodes d'occurrence sont alors les tâches ou les macro-tâches. Des actions de traitement sont possibles. Un planning initial et prévisionnel pourrait ainsi être modifié par l'occurrence de risque, mais aussi par l'ajout de tâches imposées par la mise en œuvre d'actions préventives ou correctives. (Zafra-Cabeza, Ridao, et Camacho 2008) choisissent et contrôlent les actions mises en œuvre et planifiées afin de pouvoir optimiser des critères de durée et coût d'un projet au travers d'une fonction objectif agrégée.

2.4 Management de risque projet : méthodes, processus et outils

« Science began when measurements were first made. Accurate science is meaningless without measure »

Dimitri Mendeleev.

Avec la nécessité de coordonner des tâches complexes, de gérer des problèmes d'ordonnancement, la 2^e guerre mondiale a favorisé l'apparition de la gestion de projet. Cependant, ce n'est qu'en 1984 que le Project Management Institute (PMI) propose le Project Management Body of Knowledge (PMBok), dont la première édition fut publiée en 1996. Celui-

ci a pour objectif de documenter et standardiser les informations et les pratiques de la gestion de projet.

Le risque étant inhérent à la gestion de projet, le management de risques projet n'a pas trop tardé à voir le jour après la diffusion de bonnes pratiques de management de projet (par exemple celles du PMBoK). En effet, le projet RISKMAN a développé ses propositions au début des années quatre-vingt-dix, il a proposé les premières applications de la gestion des risques projet.

Manager les risques dans un projet est maintenant reconnu comme l'une des missions du chef de projet et de son équipe. C'est l'équipe projet, sur la base des risques identifiés et de leur analyse, qui doit proposer des actions de traitement adaptées. Cela nécessite d'identifier les points suivants :

- les risques ou combinaisons de risques qui sont les plus dommageables pour le projet, (ceux qui entraînent les plus grandes perturbations).
- Les actions de traitement à retenir pour réduire le plus possible les perturbations tout en respectant des objectifs du projet. Par exemple, le coût des actions de traitement ne doit pas dépasser le gain total espéré par la mise en place des actions de traitement.

Pour cela, l'équipe projet doit être en mesure de répondre aux questions suivantes :

- quelle est la durée maximale possible du projet ?
- Quelle est la probabilité qu'un scénario fictif de risque survienne ?
- Quel est le coût d'une stratégie de traitement déterminée ? Quel est l'impact de cette stratégie en termes de réduction du risque ?

Bien qu'il soit possible d'utiliser les méthodes de management des risques au sens large pour les risques projet, il existe des méthodes propres à ce domaine. Un processus décrivant les différentes étapes à réaliser existe et est communément reconnu.

2.4.1 Méthodes/méthodologies de management des risques-projet

Dans le domaine du projet, il existe également des travaux académiques ou industriels qui ont contribué au développement de méthodes adaptées. Citons par exemple les méthodes RISKMAN, PRAM... et les références normalisées telles que AFNOR FD X50-117, DGA AQ...

Dans la littérature, les méthodes de gestion des risques font référence à un processus relativement standard (Figure 14) partagé par beaucoup d'auteurs (Courtot 1998), (X50-117 AFNOR 2003), (Tah et Carr 2001), (Smith et Merritt 2002), (Carter et al. 1996), (Chapman et Ward 1997)... Il se compose de quatre grandes phases :

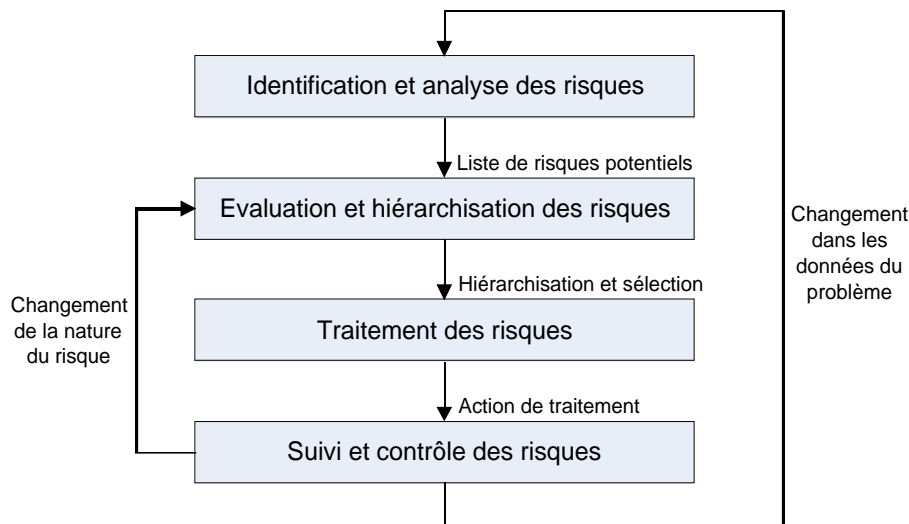


Figure 14. Processus de management de risques-projet

« Identification et analyse » : cette phase consiste à répertorier de la manière la plus exhaustive possible les aléas ou événements redoutés. Des travaux, tels ceux de Ravalison, se sont intéressés à outiller la phase d'identification des risques (Ravalison 2006). La méthode s'appuie sur une typologie des risques originale afin de réaliser des interviews d'acteurs.

« Evaluation et hiérarchisation » : cette phase permet (a) de renseigner la description des risques tant qualitativement que quantitativement (probabilité d'occurrence, impacts...), (b) de hiérarchiser les risques par ordre de criticité. Le résultat est une liste ordonnée de risques. Baccarini et Archer proposent ainsi une approche permettant de classer les risques d'un projet (Baccarini et Archer 2001). Cette approche permet ainsi d'allouer les ressources de manière adéquate au niveau de risque.

« Traitement » : cette phase consiste à déterminer les actions de traitement envisageables pour les risques. Les actions sont définies pour minimiser la probabilité d'occurrence et/ou pour minimiser les impacts. C'est le cas dans des approches telle que RISKMAN, qui propose la mise en œuvre de notion de stratégie de réduction du risque. Celles-ci permettent en effet de traiter le risque au moyen d'une action qui réduit, élimine ou évite l'impact potentiel des risques du projet (Carter et al. 1996).

« Suivi et contrôle » : pour surveiller les actions de traitement engagées et les effets de leur mise en œuvre.

(Tixier et al. 2002) proposent un classement de soixante-deux approches existantes. Ils proposent de trier les méthodes selon qu'elles manipulent des informations de type déterministe et / ou probabiliste, mais aussi qualitative ou quantitative.

A titre d'exemple d'approches déterministe et qualitative, on peut citer les approches qui se consacrent à une activité particulière, telle que la méthode HAZOP (HAZard OPerability) pour l'industrie chimique (Kennedy et Kirwan 1998), la méthode HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) pour la sécurité de la chaîne alimentaire (Motarjemi et Käferstein 1999), ou

certaines plus générales, qui couvrent plusieurs secteurs d'activités, telle que la méthode PRA (Preliminary Risk Analysis) (Nicolet-Monnier, 1996).

En ce qui concerne les approches probabilistes et quantitatives, on peut citer la méthode FTA (Fault Tree Analysis) (Nicolet-Monnier 1996), l'approche ETA (Event Tree Analysis) (Tiemessen et Van Zweedden 1998), la méthode de Monte Carlo (Kalos et Whitlock 2008), ou les deux approches principales de la gestion des risques projet : la méthode RISKMAN (Carter et al. 1996) et la méthode de la PRAM (Project Risk Analysis and Management) (CB Chapman et S. C Ward, 1997).

Parmi ces soixante-deux approches référencées et pour illustrer les approches déterministes, probabilistes et quantitatives, nous pouvons mentionner l'AMDEC (Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur Criticité) (Rogers 2000), MOSAR ou ARAMIS (Accidental Risk Analyse Methodology for Industries) (Salvi et Debray 2006). Ce dernier utilise un concept de « nœud papillon », qui peut également être utile pour gérer les risques dans les projets.

Et comme exemple d'approches déterministe, probabiliste et qualitative, la méthode SRA (Structural Reliability Analysis) (Rogers, 2000). Le Tableau 3 récapitule le positionnement des approches que nous venons de mentionner.

Approche	Déterministe	Probabiliste	Qualitative	Quantitative
HAZOP	X		X	
HACCP	X		X	
PRA	X		X	
FTA		X		X
ETA		X		X
Monte Carlo		X		X
Riskman		X		X
PRAM		X		X
FMECA	X	X		X
MOSAR	X	X		X
ARAMIS	X	X		X
SRA	X	X	X	

Tableau 3. Résumé des approches mentionnées

Sous un autre angle de vue, (Grimaldi et Rafele 2008) tendent à chercher des approches plus largement applicables au travers du cycle de vie (Figure 15) du processus de management des risques issu du PMBoK (2004) : identification, évaluation, planification et contrôle. Ils situent les méthodes pouvant outiller et être appliquées dans chacune des phases du cycle.

Les outils retenus en phase d'identification des risques sont ainsi le reporting d'incident, la checklist, l'analyse par arbre de défaillances (FTA), d'événements (ETA), l'analyse des causes-conséquences (CCA), les interviews, la méthode Delphi, le Braimstorming, le jugement d'expert, le Risk Breakdown Structure (RBS), ou Matrix (RBM), FMEA ainsi que l'analyse SWOT.

En ce qui concerne la phase d'évaluation des risques, on peut mentionner les interviews, la méthode Delphi, le Braimstorming, le jugement d'expert, FMECA, l'analyse par arbre

d'événements (ETA) ou de Décision (DTA), le Risk Breakdown Matrix (RBM), la valeur monétaire attendue, la méthode de Monte-Carlo ou encore la logique floue.

De la même façon, pour la phase de planification des mesures de réduction des risques, on retrouve les outils suivants : les interviews, le Brainstorming, le jugement d'expert, DTA, la valeur monétaire attendue, FMEA/FMECA ainsi que l'analyse SWOT.

En revanche, pour la phase de contrôle, aucun outil n'est mentionné spécifiquement pour cette phase. Les outils utilisés dans les phases précédentes sont réutilisés pour juger de l'effectivité des mesures de réduction des risques.

Des outils tels que les interviews, le Brainstorming ou encore le jugement d'expert peuvent ainsi trouver une place à l'intersection des trois groupes. Ceci est dû à l'implication de l'expert lors de l'utilisation de ces outils, qui conduit au renforcement de ses connaissances.

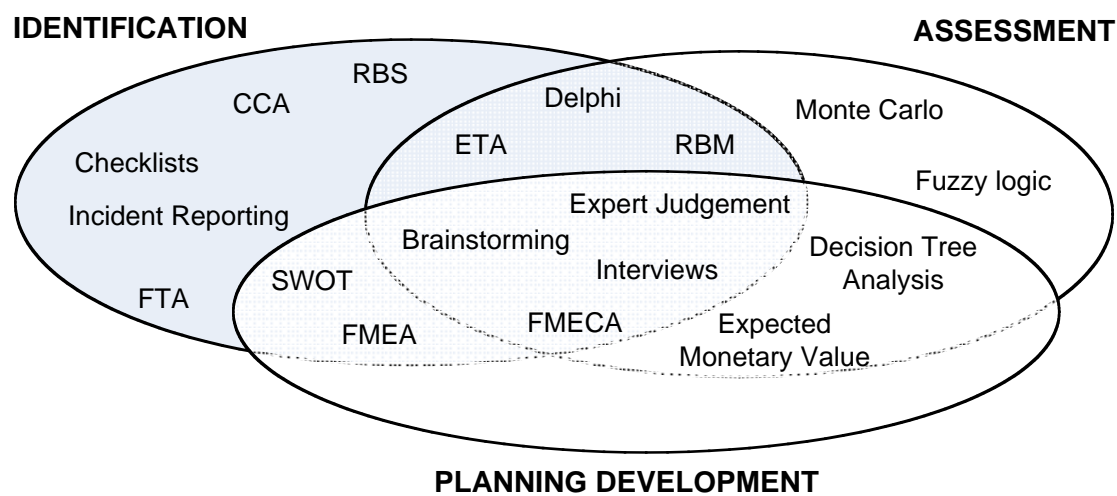


Figure 15. Les méthodes de management de risques projet (Grimaldi et Rafele 2008)

Pour couvrir l'ensemble de ces phases, la méthode RISKMAN a été développée entre 1993 et 1996 dans le cadre d'un projet EUREKA. Conformément aux référentiels existants, la méthodologie RISKMAN propose un processus de management des risques composé des phases d'identification, d'évaluation, de traitement et de suivi des risques.

La méthodologie RISKMAN préconise quelques règles intéressantes :

Un risque doit appartenir à une et une seule classe de risque. Douze classes de risques sont proposées : les risques liés à la Stratégie, au Marketing, aux Contrats, à la Finance, à la Planification de projets, à la Définition, aux Processus (WBS), aux Produits (PBS), à l'Organisation (OBS), à la Maintenance, à l'Exploitation et aux événements Externes à l'organisation.

Chaque impact de risque doit être mesuré (ou évalué) dans une et une seule unité.

Un risque peut avoir une ou plusieurs causes. Un risque peut augmenter la probabilité d'occurrence d'un ou plusieurs autres risques (corrélation entre les risques).

Chaque risque sans impact financier direct doit mener directement ou indirectement à un ou plusieurs risques ayant un impact financier.

RISKMAN propose également la notion de stratégie de réduction du risque. Une stratégie de réduction est matérialisée par une action exigée pour réduire, éliminer ou éviter l'impact potentiel des risques du projet. La planification de la réduction des risques exige d'être mise en application à chaque étape du cycle de vie d'un projet après l'accomplissement du processus d'évaluation et de quantification des risques. Selon RISKMAN, le chef de projet peut atténuer le risque par différents types actions: évitement, transfert, réduction... Enfin, RISKMAN est une méthodologie qui se veut générique et applicable à tous types de projets.

2.4.2 Processus de synchronisation de la planification de projet et du management de risques-projet

Les différents processus participant au pilotage d'un projet (pilotage délai, pilotage coût, pilotage risques...), sont généralement présentés dans les référentiels de bonnes pratiques, tels que ceux cités précédemment, de manière indépendante. Chaque processus y est décrit avec précision, mais sans montrer les interrelations qui peuvent exister. Sur la base d'analyses terrain, nous avons pu mesurer que cette hypothèse est trop largement réductrice et qu'elle pouvait conduire à prendre des décisions erronées. Dans un premier temps, les travaux de Pingaud et Gourc (Pingaud et Gourc 2003), mais aussi de Bakir (Bakir 2003) ont conduit à proposer une démarche de pilotage de projet basée sur un processus synchronisé de planification de projet de management des risques (voir Figure 16). Ce processus synchronisé permet d'illustrer :

- dans un premier temps, l'influence du planning initial d'un projet sur l'identification et l'évaluation des risques du projet,
- Et dans un deuxième temps, l'influence des actions de traitement planifiées pour réduire le risque sur le planning du projet. Nous parlons alors de planning avec risque pour indiquer que le planning tient compte de l'existence des risques dans l'évaluation de la date de fin du projet et dans le calcul des dates de début et fin de chaque tâche.

Ce processus intègre les étapes des deux processus initiaux dont il est inspiré. Au démarrage du projet, un premier planning est réalisé par le chef de projet. Celui-ci est présenté très précisément dans les références suivantes : (Pingaud et Gourc 2003), (Villarreal Lizarraga 2005), (Ravalison 2006).

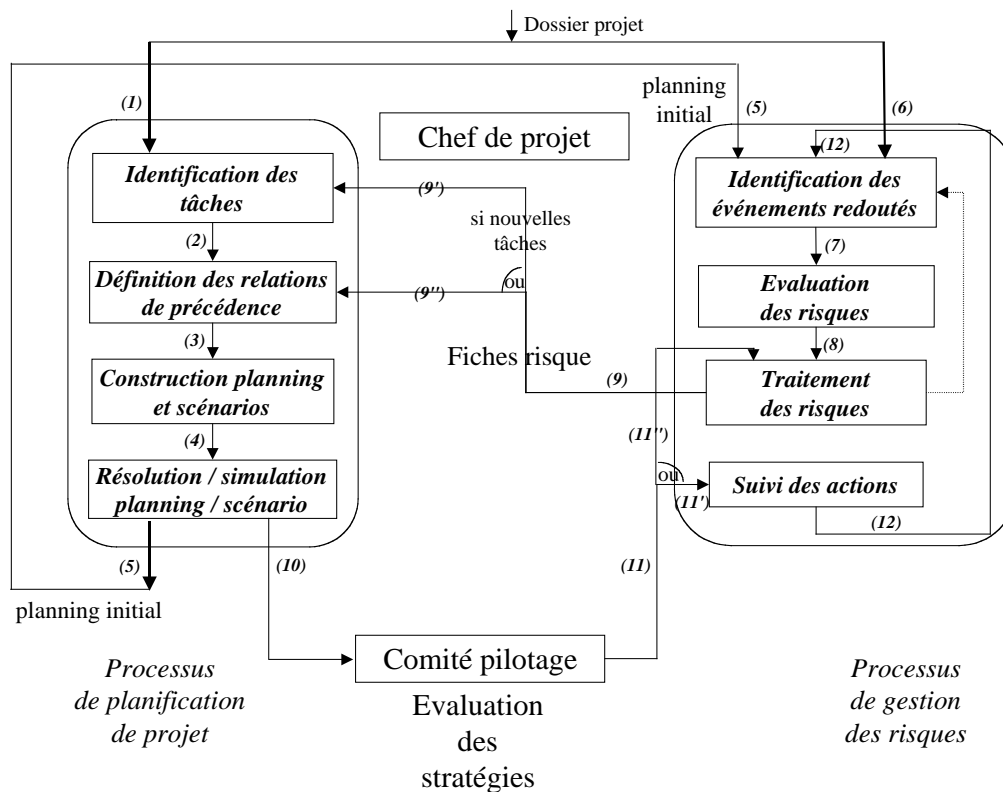


Figure 16. Synchronisation des processus (Pingaud et Gourc 2003)

(Villarreal Lizarraga 2005) a étendu ce processus au pilotage de projet dans le cadre de projets menés par un groupement de PME.

2.4.3 Les outils informatiques de management des risques-projet

Afin de supporter/accompagner l'évolution des pratiques de management des risques dans les entreprises, certains éditeurs de logiciel ont développé des applications plus ou moins dédiées. Prenons, par exemple, le monde de la finance. Suite aux nombreux scandales financiers, de nouvelles lois telles que la loi Sarbanes-Oxley aux Etats-Unis ou la Loi de Sécurité Financière en France ont été votées. Elles ont pour objectif d'améliorer la gestion des risques d'entreprise et des systèmes de contrôle interne. Les éditeurs de progiciels de modélisation de processus ont proposé des évolutions de leurs outils intégrant la capacité de modéliser les processus de contrôle interne et notamment les processus de gestion des risques. Des outils, tels que Operational Risk Management de ARIS, ont pour objectif d'apporter aux organisations tout le soutien nécessaire, depuis la définition des objectifs stratégiques jusqu'au traitement, au contrôle et à la surveillance du risque. Sur le plan académique, des travaux complémentaires, tels ceux de Sienou (Sienou et al. 2008), proposent d'étendre les capacités de représentation des langages de modélisation d'entreprise.

Dans le domaine du management de projet, à l'heure actuelle, d'autres outils logiciels aident les managers de projet à l'identification, l'évaluation et le suivi des risques et ce quel que soit le secteur d'activités (chimie, BTP...). Dans cette partie, nous allons présenter les caractéristiques

générales et les fonctionnalités particulières de quelques logiciels typiques pour la gestion des risques en projet, tels que RISKMAN, @RISK, PertMaster, Crystal BALL... Ensuite, nous proposons une classification des outils de gestion des risques en projet selon leurs fonctionnalités majeures.

2.4.3.1 Le logiciel RISKMAN issu du projet européen du même nom

RISKMAN est une méthode qui a été développée dans le cadre d'un projet européen Eureka, réalisé dans les années 90 (Carter et al. 1996).

Selon l'approche de RISKMAN, le processus de management des risques se décompose en cinq étapes :

- identification des risques (détection, classement, description des risques),
- évaluation des risques (probabilité d'occurrence et impact des risques),
- traitement des risques (plan d'actions de réduction de risques),
- suivi des risques (avancement et efficacité des actions mises en place),
- capitalisation de l'expérience.

Dans un premier temps, RISKMAN fournit un catalogue de risques, des check-lists mais aussi des fiches de risques qui permettent de préparer les réunions afin d'identifier des risques. Ces fiches permettent de décrire les risques identifiés par les caractéristiques telles que :

- l'identité du risque : la description du risque, la nature du risque, la classe du risque et les tâches liées, le responsable de risque,
- les causes : la liste des causes du risque,
- les stratégies de traitement : la liste des actions possibles face à ce risque, la description de l'action, les tâches impliquées dans l'action, le responsable de l'action,
- le suivi : l'avancement des actions de réduction des risques.

Il est possible de choisir entre deux types d'évaluation selon le niveau de maturité des équipes projet, la phase du projet et la disponibilité d'informations de caractérisation des risques : évaluation qualitative ou évaluation quantitative.

Par ailleurs, RISKMAN s'appuie sur la méthode de simulation de Monte-Carlo pour introduire une approche statistique du risque. RISKMAN prend ainsi non seulement en compte les incertitudes relatives aux risques, mais aussi aux tâches (durée).

Le projet RISKMAN a permis également de développer un logiciel support à la méthode. Celui-ci s'interface avec les logiciels de l'offre Microsoft Office (Word, Excel) pour permettre l'édition de rapports et graphiques (portefeuille des risques, graphiques présentant les durées probables du projet, les budgets avec ou sans provision de risque, etc.).

L'environnement de RISKMAN aide à suivre les risques, leurs causes, les actions de réductions, les événements et les budgets en utilisant les logiciels de la suite Microsoft Office. En effet, RISKMAN est interfacé avec Microsoft Excel pour générer les graphiques, avec Microsoft Word

pour l'édition des rapports, Microsoft Exchange pour la diffusion des rapports et avec Microsoft Project pour présenter les plannings.

Les différents points forts et les limites de RISKMAN sont les suivants :

Les points forts :

- il propose une solution complète afin de gérer les risques projet, de l'étape identification à l'étape de capitalisation,
- il permet de constituer une base commune et partagée dans un portefeuille des risques par capitalisation des risques identifiés sur chacun des projets gérés par l'environnement,
- ce logiciel permet de manipuler les deux concepts : incertitudes et risques,
- il propose des feuilles de risque, feuilles d'action permettant de suivre les risques.

Ses limites :

- le logiciel n'est pas indépendant,
- il calcule la probabilité d'occurrence des risques en se basant sur les probabilités d'occurrence des causes, les causes étant considérées comme indépendantes,
- la notion de ressource n'est pas prise en compte, il n'y a pas de fiche « ressources ». Il ne permet donc pas de gérer les ressources ni l'impact en coût qui en découle.

Bien que RISKMAN propose une offre complète de services pour la gestion des risques en projet, il n'est actuellement plus disponible sur le marché.

2.4.3.2 PertMaster

PertMaster est un logiciel développé par la compagnie PertMaster Limited permettant de gérer les risques projet. PertMaster permet de prendre en compte l'incertitude inhérente à la durée et aux coûts des tâches, mais également aux coûts des ressources. Il est possible d'ajouter des tâches, des ressources, des liens ou encore de modifier les caractéristiques de tâches. En outre, il permet de déclarer les corrélations entre les incertitudes des tâches et leurs coûts et durées, il est possible de choisir des valeurs de corrélation entre - 100% et + 100%.

PertMaster permet de faire la planification des tâches au même titre que Microsoft Project, il dispose d'un module intégré capable de réaliser l'ensemble des calculs nécessaires à la planification de projet en intégrant les dimensions durée, coût, ressources. Il utilise Microsoft Word pour l'édition des rapports et dispose de formats d'export vers des logiciels de gestion de projet tels que Primavera, Microsoft Project... PertMaster permet aussi une gestion multi-projets.

Les incertitudes d'estimations sont manipulées selon les méthodes de simulations de Monte Carlo et Latin Hypercube Sampling afin d'estimer le coût et la durée d'un projet.

Les différents points forts et les limites de PertMaster sont les suivants :

Les points forts :

- il dispose d'un module autonome de planification de projet,
- il est capable de définir des scénarios de tâches alternatives,
- il permet de gérer les ressources au moyen d'un calendrier des ressources,
- il dispose d'un module d'ordonnancement des tâches permettant de réduire l'utilisation des ressources (l'occurrence d'un risque peut prolonger la durée de tâches et donc entraîner un coût plus élevé).

Les limites :

- Il ne propose pas de fiche de risque ni de fiche d'action. Il est donc difficile, dans un grand projet, de gérer les actions de réduction.

2.4.3.3 @Risk

La gamme d'outils logiciels développée par Palisade Corp. comprend divers outils tels que @Risk for Project, @Risk for Excel, @Risk Developer's Kit, Decision Tools Suite 4.5.

@Risk est un logiciel générique, il est ainsi applicable à n'importe quel type de risque, de situation et d'entreprise. Cet outil dispose de deux versions selon qu'il est associé, tel un « add-on », soit avec un tableur (@Risk for Excel), soit avec un logiciel de gestion de projet (@Risk for Project). Pour modéliser les incertitudes d'estimations, il propose une bibliothèque de plus de trente-cinq fonctions de distribution de probabilité.

@Risk for Excel offre à l'utilisateur la possibilité de construire le modèle d'analyse des risques qui correspond à son besoin et d'y intégrer les dimensions incertaines. Cette solution peut s'appliquer à tous les secteurs d'activité : finance, recherche pétrolière, chimie, etc. Parmi les exemples identifiés, citons :

- l'évaluation économique de nouveaux projets selon un modèle de Valeur Actuelle Nette intégrant la dimension incertaine des estimations (Gourc, Bougaret, et Burtin 2005),
- l'aide à la sélection de projets dans un portefeuille, l'évaluation de la profitabilité d'un portefeuille d'actifs (Value at Risk),
- les analyses bénéfice-coût d'une décision d'investissement.

La version @RISK for Project est particulièrement adaptée pour évaluer et manipuler les incertitudes liées à la planification des tâches d'un projet (durée, coût, etc.). Il permet, par exemple, d'évaluer l'influence de ces incertitudes sur la durée du projet (analyse de sensibilité) et de présenter graphiquement les résultats associés (courbes cumulées des durées/coûts avec leur probabilité).

@Risk Developer's Kit permet d'ajouter un module de simulation de Monte Carlo ainsi que d'analyse de risque, à n'importe quelle application Windows. Il permet aux utilisateurs avancés de développer des outils spécifiques d'analyse des risques.

2.4.3.4 Crystal Ball

Crystal Ball est un programme de simulation Monte-Carlo qui permet d'analyser l'incertitude. Cet outil permet de simuler un grand nombre de scénarios pour plusieurs applications et industries. En plus des outils d'analyses de sensibilité, d'hypothèses de corrélation et de contrôle de précision, la version professionnelle permet entre autres de faire des prévisions, de l'optimisation, et des régressions linéaires multiple, séquentielle ou prévisionnelle. Celui-ci utilise le tableur Microsoft Excel.

2.4.3.5 Quelques autres logiciels

Les logiciels présentés dans cette partie présentent peu de fonctionnalités, mais permettent de prendre en compte, dans l'évaluation des risques, les incertitudes de durée et de coût afin d'évaluer la durée du projet ainsi que son budget. Il s'agit de *RiskAMP*, *RiskEase*, *Risk+*.

RiskAMP inclut plus de quarante fonctions de distribution de probabilité. Des fonctions de distributions de probabilité sont incluses, permettant d'injecter de l'incertitude et de lancer une simulation de Monte Carlo.

RiskEase est un outil permettant d'évaluer l'effet de l'incertitude liée au risque, à partir de modèles Excel. Il permet de définir des distributions de probabilité pour exprimer la variation possible autour des variables principales du modèle et emploie la technique de simulation de Monte Carlo pour calculer l'impact de l'incertitude sur les sorties principales du modèle.

A partir des mesures statistiques détaillées, RiskEase permet de générer des graphiques et des rapports customisés faisant ressortir les informations pertinentes concernant le projet. C'est un outil de prise de décision dans l'évaluation d'investissements, des affaires et des prévisions de planification stratégique, de ventes.

*Deltek Risk+*TM est un outil d'analyse de risque qui s'intègre dans Microsoft Project pour évaluer et mesurer le coût et l'incertitude de projet. La combinaison du projet de Risk+ et de Microsoft Project est accessible et facile à employer. Risk+ a des fonctions pour n'importe quelle organisation qui projette et/ou gère des projets avec Microsoft Project. Dans Risk+, nous trouvons les courbes intégrées et définies pour l'utilisateur de distribution Monte Carlo ou Latin de Hypercube Sample. Risk+.

2.4.3.6 Bilan des logiciels étudiés : proposition d'une classification des logiciels

Face à la diversité des outils logiciels qui se revendiquent dédiés à la gestion des risques en projet (Gratton, Landry, et Aubert 2003) (Courtot 2009), nous proposons, sur la Figure 17, une grille de lecture des logiciels de gestion des risques applicables dans le domaine du management de projet. Pour cette comparaison, nous distinguons deux axes d'analyse qui sont :

- la façon dont le risque est modélisé, ce qui correspond aux approches analytiques (risque au sens événement) ou aux approches symptomatiques (risque au sens incertitude),
- les fonctionnalités supportées par l'outil.

Ainsi, le premier de ces deux axes d'analyse peut être croisé avec trois catégories d'outils que nous avons identifiés suivant leur architecture.

La première de ces catégories correspond à ceux qui sont dotés de fonctionnalités de gestion des informations relatives aux risques. Bien qu'essentiellement orientés sur la gestion des informations : saisie, mémorisation, restitution des éléments de description, ils sont généralement associés à une base de données et à un petit outil de hiérarchisation des risques. Ils permettent donc d'éditer des fiches de risques (identité du risque et plan d'action) et de visualiser de manière synthétique le portefeuille des risques, ainsi qu'un tableau de suivi. Les outils appartenant à cette catégorie ne permettent pas d'assurer l'intégration des processus de management des risques et de planification de projet.

La deuxième catégorie correspond aux outils qui intègrent des fonctionnalités de gestion de projet, que ces dernières soient natives dans l'outil, le rendant indépendant d'autres logiciels ou qu'elles soient disponibles par le biais d'un interfaçage avec un logiciel dédié à la planification de projet, comme par exemple Microsoft Project.

Et enfin pour terminer, nous avons identifié des outils qui sont des « add-ins » de logiciels commerciaux qui sont soit dédiés à la planification de projet, soit plus génériques comme des tableurs (Microsoft Excel...).

	Gestion des informations relative au risque	Fonctionnalités de gestion de projet		Add-in	
		En natif	Interfacé avec un progiciel	D'un progiciel de gestion de projet	D'un tableur
Approche analytique	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">ERA</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; vertical-align: top;">Riscue Vanguard's Risk Analysis Software</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; vertical-align: top;">PRO Act</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; vertical-align: top;">RISKMAN</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; vertical-align: top;">Pert_ Master</div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; vertical-align: top;">Oracle's Primavera Risk Analysis</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; vertical-align: top;">Risk and Change Management (Genius project for Domino)</div>	
Approche symptomatique		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; vertical-align: top;">RISKTRAK RiskyProject</div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; vertical-align: top;">Risk+</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; vertical-align: top;">@Risk</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; vertical-align: top;">Crystall Ball</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; vertical-align: top;">RiskEase</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; vertical-align: top;">Studio 8</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; vertical-align: top;">RiskAMP</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; vertical-align: top;">Excel Solver</div>

Figure 17. Comparatif des logiciels

Il est ainsi possible de constater qu'il existe de nombreux outils qui traitent le risque modélisé comme une incertitude au travers de simulations Monte Carlo.

2.5 Conclusion

De l'état de l'art réalisé à travers ces premières parties, il ressort que des travaux visent à proposer des processus globaux spécifiquement pour la gestion du risque en projet (Pingaud et Gourc 2003) ou plus généraux (Courtot 1998), (X50-117 AFNOR 2003). D'autres travaux cherchent à préciser quelles approches sont applicables en fonction de l'avancement dans le processus afin de permettre à l'acteur du projet en charge de la gestion des risques de pouvoir choisir l'approche adéquate (Grimaldi et Rafele 2008). Certains travaux outillent directement les différentes phases du processus de gestion des risques et intègrent le risque sous la forme risque-événement.

Cependant, dans ces différents travaux, les impacts des risques avérés ainsi que les actions relatives aux stratégies de traitements ne sont pas positionnés dans le planning. Les impacts associés ne sont alors pas recalculés ou se focalisent sur des calculs d'optimisation avec des fonctions objectifs difficilement généralisables. Les stratégies sont alors difficilement évaluables et le choix n'est pas trivial.

Le problème consiste alors à proposer un modèle réaliste intégrant les impacts des risques sur la planification du projet. Celui-ci devra alors permettre de déterminer les impacts des risques identifiés sur le planning (durée totale de réalisation, etc.), mais aussi de déterminer les impacts de la mise en place des actions de traitement sur le planning (modification de durée totale, marges de chaque tâche du planning, etc.). Il permettra ainsi d'aider au choix de la meilleure stratégie de traitement.

Le cadre de ce travail est basé sur deux hypothèses principales. Tout d'abord, l'intégration des risques à la gestion du projet se fait au regard de critères de délais et de coût. Les impacts considérés (modification ou suppression d'une tâche existante ou insertion d'une nouvelle tâche par exemple) ont une influence sur la durée et sur le coût total du projet. Les aspects tels que la disponibilité des ressources ou encore les compétences ne sont pas considérés pour le moment dans le modèle.

Une autre hypothèse utilisée dans ce travail est que, au début du projet, la liste des tâches et la liste des risques sont connues et ne varient pas au cours du projet. Chacune des caractéristiques relatives aux risques est connue, puisqu'une approche telle que la méthode Delphi a été appliquée auparavant. Les incertitudes ne sont pas gérées dans ce travail. Par conséquent, il est possible d'appliquer le modèle sur le projet en commençant par analyser le niveau global de risque du projet, les scénarios possibles et la sélection des meilleures stratégies de traitement. Durant le projet, les mêmes questions peuvent être résolues à travers une analyse des scénarios de risque tenant compte des risques déjà avérés ou non sur les tâches terminées.

Afin de mieux aborder le problème dans sa globalité, nous allons tout d'abord proposer une modélisation des scénarios de projet. Cela permettra de mettre en évidence les différentes notions

sous-jacentes que sont les notions scénario de risque, de traitement, ainsi que de montrer l'influence des actions de traitement des risques sur un projet. L'approche de résolution que nous proposons est ainsi détaillée à travers un exemple simple qui sera déroulé tout au long du chapitre suivant.

CHAPITRE 3 : MODELISATION DE SCENARIOS EN PROJET ET CARACTERISATION : DEFINITIONS ET METHODES

3.1 Introduction

Comme nous l'avons indiqué précédemment, le déroulement d'un projet comporte différentes phases dont une phase de clôture (cf. chapitre 1). C'est au cours de cette phase qu'il est recommandé de réaliser, entre autres, un retour d'expérience (cf. « guidelines » PMBoK par exemple). Ce retour va permettre de tirer les enseignements de la réalisation effective du projet, de dresser un bilan des problèmes, mais également des situations favorables rencontrées.

A ce moment-là, il est ainsi possible de reconstituer le déroulement du projet, de lister les activités réalisées, leurs durées, leurs enchaînements, les événements survenus et les décisions prises. Tous ces éléments peuvent alors être identifiés avec certitude. On observe ainsi *a posteriori*, dans un environnement déterminé, la réalisation du projet. Celle-ci correspond à l'une des réalisations possibles du projet. Celui-ci aurait très bien pu se dérouler d'une toute autre manière.

A l'opposé, la phase d'initialisation en phase amont de projet, lors de la conception, consiste à élaborer un prévisionnel du déroulement de ce futur projet. La réalisation de tout nouveau projet est synonyme d'incertitudes et de risques. L'espace des incertitudes est grand et il est bien difficile de prédire l'avenir. La plupart du temps, les chefs de projet s'intéressent à modéliser la réalisation souhaitée (espérée) du projet, la façon dont ils voudraient que le projet se déroule, la façon dont le projet devrait se dérouler « idéalement ». On le sait bien, la réalité conduit bien souvent à des réalisations toute autre, en particulier du fait de la survenue d'aléas ou d'imprévus.

La plupart des méthodes de planification classiques ne sont pas capables de prendre en compte les changements et incertitudes liés à la nature même des projets.

Pour limiter ces imprévus, les techniques de management des risques sont utilisées pour anticiper les aléas, les réduire ou prévoir des plans de contingence.

Si l'on porte plus particulièrement notre attention sur le concept de risque, parmi les risques préalablement évalués en phase amont ou régulièrement tout au long de la réalisation, on constate que seule une partie de ces risques sont effectivement survenus. On peut parler d'une réalisation possible du projet, qui met en relation un ensemble d'événements qui sont réellement survenus, un ensemble d'actions qui ont été mises en œuvre, un ensemble de tâches exécutées caractérisées par une durée et un ordonnancement particulier (liens de précedence). Cela correspond à un scénario possible du projet.

Nous positionnons ce travail dans le cadre d'une évaluation *a priori* des risques d'un projet. Par conséquent, il est bien difficile de connaître *a priori* quel est le scénario qui va se réaliser.

Dans un film, la notion de scénario inclut le choix des acteurs, les activités réalisées dans les scènes, l'ordre dans lequel les scènes s'enchaînent. Si l'un de ces paramètres est modifié, c'est un tout autre film qui peut être tourné. Le parallèle peut être fait avec la thématique de gestion de projet, dans laquelle le scénario comprend les ressources, les tâches, l'ordonnancement entre les différentes tâches. Si nous modifions les tâches, leur ordre ou les ressources, alors nous créons un autre scénario, nous déroulons un autre projet.

L'objectif de ce chapitre est de définir ce concept de scénario et d'en donner les différentes dimensions et caractéristiques. Le chapitre comporte cinq parties majeures.

Dans une première partie, nous proposons une étude bibliographique sur la technique des scénarios principalement développée dans le domaine de la stratégie d'entreprise. Outre la description de la genèse de cette technique, nous nous intéresserons aux différents types de scénarios que l'on peut trouver dans la littérature et écoles de pensées existantes. Cela nous permettra d'identifier les éléments de la définition de scénarios, afin de développer notre propre approche. Cette dernière, contrairement à la plupart des applications de la technique des scénarios, s'intéresse à des niveaux opérationnels, voire tactiques, de décision.

Nous présentons dans la deuxième partie un exemple de projet, comme fil rouge, comportant six tâches et trois risques pour illustrer notre problématique, ainsi que les propositions effectuées dans la suite de ce mémoire.

Dans la troisième partie, nous développons notre approche de scénario appliqué au contexte opérationnel d'analyse des risques d'un projet. Pour cela, nous décrivons trois notions complémentaires, qui sont celles de scénario de risque, de scénario de traitement et finalement de scénario de projet. Cette dernière notion propose de caractériser une réalisation possible d'un projet en y incluant une réalisation possible des risques ou événements (scénario de risque), pris parmi la liste des risques identifiés et une réalisation possible des stratégies de traitement (scénario de traitement).

La quatrième partie vise à définir les notions d'impact réduit d'un risque et à proposer des modèles de calcul de ces impacts au niveau du projet. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à deux types d'impacts, qui sont les impacts sur les délais et les impacts sur les coûts.

Enfin, la cinquième et dernière partie est consacrée à la proposition de méthodes de calcul des informations qualifiantes d'un scénario de projet : la probabilité d'occurrence d'un scénario de projet, le coût d'un scénario de projet et la durée d'un scénario de projet.

3.2 Lien entre les notions de scénario et de planning

Développée initialement dans les domaines de la prospective et de la stratégie, pour accroître la compréhension de l'environnement des entreprises et plus particulièrement pour identifier les tendances futures et anticiper les changements des marchés dans un environnement incertain, la technique des scénarios vise à construire des représentations des futurs possibles, ainsi que les cheminements qui y conduisent (Roubelat 2000)(Godet et Roubelat 2000).

A vrai dire, il n'existe pas d'approche unique en matière de scénarios, mais bien une multitude d'approches et d'écoles de pensées (Bradfield et al. 2005), que nous allons analyser dans cette partie.

A scenario is a story about how the future might turn out (O'Brien 2004)

3.2.1 Son origine / contexte

Au début des années soixante, Herman Khan fonde le Hudson Institute, d'où il diffuse le concept de scénario sur la base de son ouvrage « The Year 2000 » (Kahn, Wiener, et Bell 1967). Une décennie plus tard, la technique des scénarios est entrée dans le domaine de la planification stratégique avec la diffusion de la méthodologie développée et popularisée par des groupes de consultants comme Bagatelle (Emilio Fontela), Sema (Michel Godet) et SRI (Ian Wilson et Tom Mandel) (Godet et Roubelat 2000). Au milieu des années quatre-vingts, la méthode des scénarios est devenue encore plus populaire avec la publication par Pierre Wack (Wack 1985) dans Harvard Business Review d'un article décrivant le succès de l'application de cette méthode au sein de la compagnie Shell. D'autres expériences heureuses ont également vu le jour au cours de cette même période : General Electric, Lockheed (Gausemeier, Fink, et Schlake 1998).

Ce même auteur motive l'intérêt de cette approche pour les entreprises (Figure 18) par la nécessité, face à un environnement incertain et imprévisible, de ne pas réduire l'étude de leur stratégie à un seul futur, mais bien d'imaginer plusieurs futurs possibles et de bâtir ensuite leur stratégie sur cette diversité de futurs potentiels. Il propose ainsi de définir la notion de scénario comme :

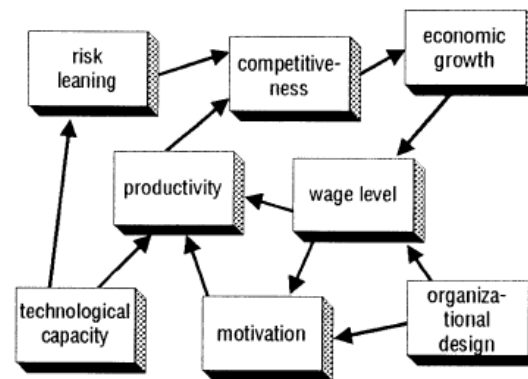
« a generally intelligible description of a possible situation in the future, based on a complex network of influence-factors » (Gausemeier, Fink, et Schlake 1998)

Soumis à un environnement incertain, des changements potentiels plus ou moins importants, plus ou moins prévisibles, les scénarios constituent, pour les managers, un éclairage indispensable

pour orienter les décisions stratégiques. La méthode des scénarios peut aider à choisir, en mettant le maximum d'atouts de son côté, la stratégie qui sera la plus à même de réaliser le projet que l'on s'est fixé. Varum et Melo présentent une revue exhaustive de la littérature sur le sujet pour la période 1945 à 2006 (Varum et Melo 2010).

Systems thinking

Enterprises must perceive their environment as a complex network of influenceable and not influenceable factors which are connected to each other.



Multiple futures

Enterprises must not reduce their strategic thinking to only one exact prognosticable future, instead, they should ensure that alternative futures are created and used in strategic management.

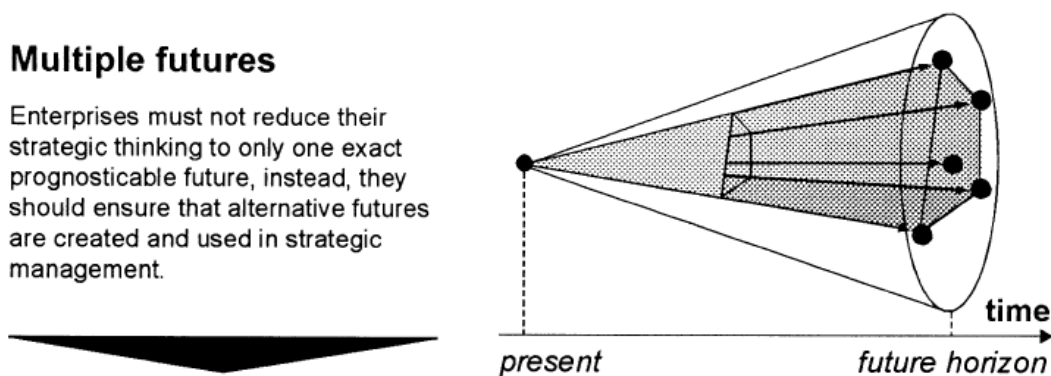


Figure 18. Motivations et principes généraux de la technique des scénarios (Gausemeier, Fink, et Schlake 1998)

3.2.2 Exposé de la méthode et de ses principes, typologie de scénarios

La méthodologie de planification des scénarios s'appuie sur l'hypothèse selon laquelle, bien que l'environnement (« business world ») reste imprévisible, certains événements peuvent être prédéterminés (Tversky et Kahneman 1992). Elle permet de construire des représentations alternatives du futur, sans pour autant établir de prédictions (Börjeson et al. 2006), (Tversky et Kahneman 1992), (Phelps, Chan, et Kapsalis 2001)...

Scenario planning is neither forecasting nor prediction, instead, it is an exploration which develops few possible descriptions of the future (Phelps, Chan, et Kapsalis 2001).

D'après (O'Brien 2004) un « scenario planning » vise trois objectifs :

- la synthèse des informations importantes pour une organisation, afin de comprendre l'incertitude,

- le développement d'un ensemble de descriptions d'un futur possible de manière consistante et plausible,
- l'évaluation de ces scénarios.

Les scénarios établis ont pour but d'aider les managers/décideurs à identifier et à réfléchir sur les incertitudes auxquelles ils ont à faire face. Dans le contexte du développement stratégique, la construction des scénarios facilite la formulation de la stratégie et son évaluation, en développant une compréhension (vision) de l'incertitude inhérente à l'environnement et en testant la robustesse des stratégies et des plans face à un ensemble de futurs possibles (O'Brien 2004). En étudiant certains scénarios, il est évident que les managers apprennent à mieux connaître et à comprendre le rôle de l'incertitude. Ils deviennent ainsi mieux armés pour prendre des décisions dans cet environnement (Bunn et Salo 1993).

Les domaines d'application sont divers et variés, comprenant le management de crises, l'élaboration de politiques publiques, l'élaboration de stratégies d'entreprise, la définition de stratégies éducatives etc. (Bradfield et al. 2005).

(Börjeson et al. 2006) indiquent qu'il est important de s'intéresser à deux aspects du système étudié :

- sa structure, qui focalise sur les connexions et relations entre les différentes parties du système étudié. Lorsqu'il est possible de construire un modèle mathématique, les équations sont une interprétation de la structure du système.
- la distinction entre les facteurs internes et externes. Les facteurs internes sont considérés comme contrôlables par l'acteur, alors que les facteurs externes sont en dehors du périmètre d'influence de l'acteur.

Il existe peu de consensus sur les typologies de scénarios. (Huss et Honton 1987) proposent une typologie en trois catégories : « intuitive logics », « trend-impact analysis », « cross-impact analysis ».

- « Intuitive logics », décrite par Pierre Wack et utilisée par le Stanford Research Institute (SRI).
- « Trend-Impact Analysis », pratiquée par The Futures Group. On s'appuie ici sur des données historiques tout en prenant en compte l'influence d'événements futurs non encore rencontrés affectés de probabilités subjectives.
- « Cross-Impact Analysis », pratiquée par le Center for Futures Research (INTERAX) et Batelle (BASICS). On s'intéresse ici aux modifications de probabilité de l'occurrence de certains événements et à leurs répercussions sur l'extrapolation des données historiques. On tient compte des probabilités conditionnelles et ceci conduit à identifier les interdépendances entre événements.

(Bradfield et al. 2005), dans la même veine, propose des compléments et des exemples illustratifs de ces trois catégories. Quant à (Coates 2000), il identifie deux types de scénarios :

- les scénarios prédictifs destinés à stimuler la réflexion sur ce qui pourra se produire,
- les scénarios proactifs, qui s'intéressent aux changements souhaitables et/ou aux politiques à appliquer pour atteindre un certain objectif.

Toutefois, plusieurs typologies mettent en avant le fait que l'application des scénarios permet d'explorer les futurs possibles, probables et/ou préférables (Börjeson et al. 2006). Ce même auteur propose une typologie complète (Figure 19), composée de trois types de scénarios (prédictif, exploratoire et normatif), eux-mêmes décomposés en deux types chacun, permettant ainsi d'identifier six catégories de scénarios. Cette typologie est basée sur les besoins des utilisateurs pour connaître ce qui pourra survenir, ce qui peut survenir, et/ou comment un objectif prédéfini peut être atteint (« What will happen? » « What can happen? » « How can a specific target be reached? »).

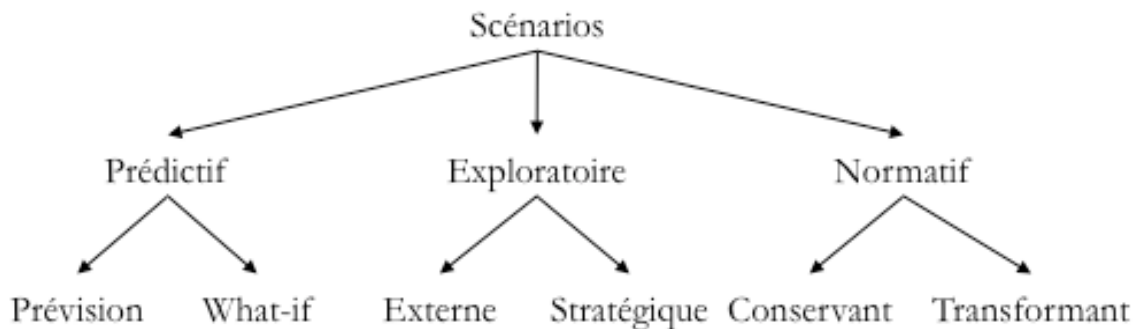


Figure 19. Typologie de scénarios proposée par (Börjeson et al. 2006)

Les scénarios de type prédictif visent à répondre à la question « What will happen? ». Ils se décomposent en deux catégories selon qu'ils :

- s'intéressent à décrire le scénario souhaité, préféré (scénario prévisionnel) sur la base de l'étude des facteurs externes (événements économiques, phénomènes naturels, etc.). Ils s'appliquent majoritairement à des phénomènes à court terme, où le niveau d'incertitude n'est pas trop élevé.
- S'intéressent à la survenue d'événements potentiels et à l'étude des conséquences associées (What-if). Les événements étudiés peuvent être des événements externes ou des décisions internes, qui influencent le déroulement du développement. Ils introduisent des bifurcations ou alternatives dans les scénarios. Aucun des scénarios ainsi identifié n'est considéré comme scénario préférable (ce qui les distingue des scénarios de type « prévision »). Il existe également une catégorie de scénario « What-if », appelé scénario probabilisé, dans lequel certains événements peuvent être probabilisés.

Les scénarios de type « exploratoire » visent à répondre à la question « What can happen? ». Ils permettent d'explorer les situations qui sont considérées comme pouvant survenir. En cela, ils peuvent ressembler aux scénarios « What-if », mais contrairement à ces derniers qui portent sur

un horizon court terme, les scénarios exploratoires portent sur des horizons beaucoup plus longs. Ils se décomposent en deux catégories :

- les scénarios externes s'intéressent à étudier le déroulement du scénario face à l'occurrence de facteurs externes (par exemple les scénarios climatiques : étude de la façon dont la mer et l'atmosphère absorbent les gaz à effet de serre),
- les scénarios stratégiques s'intéressent à étudier le déroulement du scénario selon que l'acteur choisit telle ou telle voie de développement. Ils permettent de décrire l'ensemble des conséquences possibles d'une décision stratégique. Ils se concentrent sur des facteurs internes sur lesquels l'acteur peut agir et prennent en compte l'influence de facteurs externes pour décrire comment les conséquences d'une décision peuvent être influencées par l'évolution de l'environnement.

Les scénarios de type « normatif » visent à répondre à la question « How can a specific target be reached? ». Ils se décomposent en deux catégories, distinguées par la manière dont la structure du système étudié est traitée :

- si les objectifs semblent pouvoir être atteints sans modifier la structure du système, alors on parlera de scénario de catégorie « preserving ». Par exemple, l'élaboration de stratégies de stabilisation du niveau de CO₂ à un taux prédéterminé,
- *a contrario*, s'il est nécessaire de transformer structurellement le système, on parlera de scénario de la catégorie « transforming ».

Le Tableau 4 résume les différentes caractéristiques des types/catégories de scénarios listées selon :

- la nature des informations manipulées (qualitatif/quantitatif),
- l'horizon étudié (court, long et très long termes),
- La nature des facteurs qui peuvent influencer le déroulement des scénarios (interne / externe).

Type de scénario	Quantitatif/qualitatif	Horizon	Facteurs interne/externe
PREDICTIF			
Prévision	Quantitatif, quelques fois qualitatif	Court terme	externe
What-if	Quantitatif, quelques fois qualitatif	Court terme	Externe et possiblement interne
EXPLORATOIRE			
Externe	Qualitatif, possible quantitatif	Long terme	Externe
Stratégique	Qualitatif et quantitatif	Long terme	Interne sous influence de facteurs externes
NORMATIF			
Preserving	Quantitatif	Long terme	Externe et interne
Transforming	Qualitatif avec des éléments quantitatifs	Très long terme	Non applicable

Tableau 4. Résumé des caractéristiques des types de scénarios (inspiré de (Börjeson et al. 2006))

Cette typologie n'a pour objectif que de distinguer les grandes catégories d'approches en décrivant les caractéristiques fondamentales. Dans la réalité, la mise en œuvre de la technique des scénarios peut conduire à développer des scénarios qui portent des caractéristiques d'une, voire deux ou plusieurs des catégories précédemment présentées.

3.2.3 Les atouts des techniques de scénarios

Généralement, ces méthodes, appliquées à des niveaux de stratégie d'entreprise, visent à développer deux à quatre scénarios. Pour cela, les techniques de travail de groupe sont particulièrement adaptées et utilisées. La méthode Delphi a par exemple été développée pour cette finalité. (Roubelat 2000) met d'ailleurs en avant l'intérêt d'une construction collective des scénarios en faisant participer à cette démarche des acteurs de cultures et de niveaux hiérarchiques divers (experts, stratégies et tacticiens, dirigeants, etc.).

En outre, bien que de nombreuses approches restent qualitatives, il est possible de développer également des modèles quantitatifs.

Par exemple, il est possible de développer des modèles analytiques, qui peuvent être exécutés en mode simulation pour identifier les effets de changements de certaines variables (Phelps, Chan, et Kapsalis 2001). Les notions de probabilité et de quantification des scénarios peuvent être introduites pour évaluer les combinaisons d'événements qui peuvent survenir ((Honton, Stacey, et Millett 1984) (Powell 1997)). Les interrelations entre les incertitudes (événements) peuvent être modélisées par diverses techniques, dont celle des probabilités conditionnelles (Phelps, Chan, et Kapsalis 2001), (Huss et Honton 1987).

Dans cette logique, nous inscrivons notre approche dans la continuité de certains travaux menés au sein de notre laboratoire (Bougaret 2002) (Bakir 2003) (Villarreal Lizarraga 2005) (Ravalison 2006) (Marques 2010).

3.3 Exemple fil rouge illustrant la problématique et les propositions

Afin de mieux illustrer à la fois notre problématique, mais également les propositions successives que nous présenterons dans les prochains chapitres, nous proposons un exemple simple de projet comportant trois risques. Le projet consiste en la réalisation d'une station météorologique et son planning est composé de trois phases (Figure 20) : préparation, construction et tests.

La phase de préparation comprend deux tâches : le sondage du sous-sol pour en vérifier la stabilité et la réalisation des voies d'accès au site. La phase de construction est composée de trois tâches : le montage de la clôture, l'édification de l'antenne et des différents capteurs de mesures, ainsi que la construction des locaux et des installations de travail. La phase de tests, quant à elle, a pour objectif de valider l'état opérationnel du site.

Les durées des tâches sont présentées en unités de temps (UT) et leurs coûts en unités monétaires (UM).

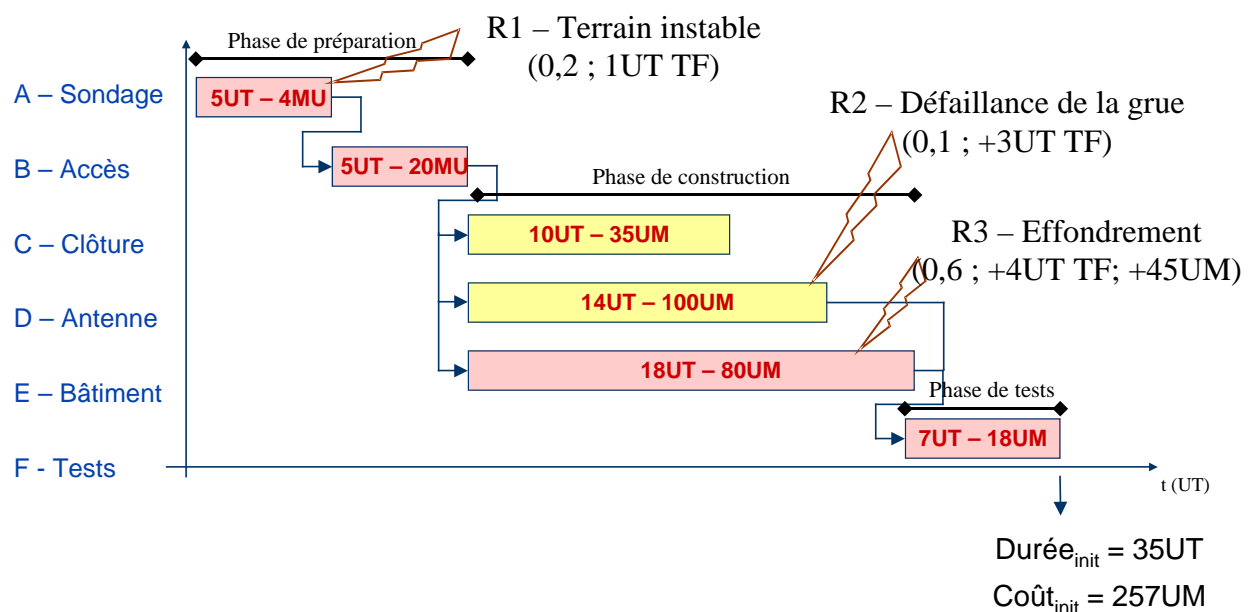


Figure 20. Planning du projet de réalisation d'une station météorologique

Trois risques ont été identifiés et leur probabilité, ainsi que leurs impacts sur les coûts et les délais du projet, ont été caractérisés et sont précisés dans le Tableau 5. Les stratégies de traitement envisagées sont présentées dans le Tableau 6.

Le premier risque correspond à l'identification d'un état instable du terrain. Sa période d'occurrence est bien évidemment la tâche de sondage du terrain. Il est caractérisé par une

probabilité de 0,2 et un impact sur le délai de 1 UT pour réaliser des tests supplémentaires. Cette augmentation de durée s'effectue à taux fixe et l'impact coût se répercute ainsi sur le coût de la tâche. Il n'y a pas de stratégie de traitement particulière contre ce risque.

Le deuxième risque correspond à la défaillance de la grue lors du montage de l'antenne. Ce risque a une probabilité de 0,1 et un impact délai de 3 UT à taux fixe si la tâche se poursuit en mode dégradé. Une stratégie de traitement corrective existe (StT₂₁). Elle consiste à remplacer la pièce défectueuse. La réparation a un coût de 8 UM et une durée de 0,1 UT. Elle permet d'annuler l'impact délai initial.

Le troisième risque correspond à l'effondrement du bâtiment au cours de sa construction. Ce risque a une probabilité élevée de 0,6, un impact délai de 4 UT à taux fixe sur la durée de reconstruction, ainsi qu'un impact coût fixe de 45 UM pour l'achat des matériaux de construction. Pour pallier ce risque, trois stratégies de traitement préventives sont possibles. La première consiste à réaliser des fondations supplémentaires (StT₃₁). Cette tâche supplémentaire durerait deux UT et coûterait 15 UM. La probabilité d'occurrence du risque est alors réduite à 0,1. L'impact délai serait réduit à 2 UT et le coût à 15 UM en cas d'occurrence. La deuxième (StT₃₂) consiste à modifier les fondations initialement prévues en conservant le tracé prévu. Cette modification augmente la durée d'une UT et induit un surcoût de 23 UM. La probabilité d'occurrence du risque est alors réduite à 0,05. L'impact délai serait réduit à 1 UT et le coût à 10 UM en cas d'occurrence. La troisième (StT₃₃) consiste à modifier les matériaux choisis. Cette modification n'augmente pas la durée, mais induit un surcoût de 58 UM. La probabilité d'occurrence du risque est alors réduite à 0,02. L'impact délai serait réduit à 1 UT et le coût à 5 UM en cas d'occurrence.

Risque	Probabilité	Période d'occurrence	Impact délai initial	Impact coût initial	StT
R ₁	20%	A	Ajouter 1 UT à A à taux fixe		
R ₂	10%	D	Ajouter 3 UT à D à taux fixe		StT ₂₁
				Coût fixe de 45 UM	StT ₃₁
R ₃	60%	E	Ajouter 4 UT à E à taux fixe		StT ₃₂
					StT ₃₃

Tableau 5. Les risques identifiés et leurs caractéristiques

StT	Type	Prédécesseurs ou tâche modifiée	Successeurs	Durée	Coût	Prob. réduite	Impact délai réduit	Coût réduit
StT ₂₁ (c)	Ajout	T ₄ jusqu'à R ₂	Partie restante de T ₄	0,1 UT	8 UM	-	0 UT pour T ₃	-
StT ₃₁ (p)	Ajout	B	E	2 UT	15 UM	10 %	2 UT pour E	15 UM
StT ₃₂ (p)	Modification	B	/	1 UT	23 UM	5 %	1 UT pour E	10 UM
StT ₃₃ (p)	Modification	T _E	/	-	58 UM	2 %	1 UT pour E	5 UM

Tableau 6. Stratégies de traitement (p: préventive, c: corrective)

De manière intuitive, nous pouvons considérer que lors de la réalisation d'un projet, il est bien rare d'être confronté à un seul événement à risque. Si les approches classiques de management des risques considèrent chaque risque isolément, nous souhaitons dans ce travail de recherche étudier et prouver l'intérêt de raisonner autrement.

Reprenons notre exemple proposé ci-dessus. Selon une approche classique de hiérarchisation basée dans un premier temps uniquement sur la probabilité d'occurrence, on aurait classé les risques comme suit : R3 le plus probable, ensuite R1 puis R2.

Si l'on envisage la possibilité qu'au cours d'un projet plusieurs risques puissent survenir, le classement est tout autre (voir Tableau 7) : la situation la plus probable reste la survenue de R3, vient ensuite la situation où aucun risque ne survient, puis la situation où le projet voit l'occurrence des risques R1 et R3.

Rang	Selon une approche classique	Selon notre approche
1	R3	R3
2	R1	Aucun événement ne survient
3	R2	R1 & R3
4		R1
5		R2 & R3
6		R2
7		R1 & R2 & R3
8		R1 & R2

Tableau 7. Comparaison de hiérarchisation des risques selon l'approche retenue sur le seul critère de probabilité

On peut bien évidemment dresser le même raisonnement avec d'autres critères de hiérarchisation, comme par exemple celui de la criticité. On appliquera alors ce critère non plus au niveau de chaque risque, mais on calculera la criticité de chaque situation.

3.4 La notion de scénario de projet

Un projet est décrit par ses tâches T_i ($i=1\dots T$), T étant le nombre de tâches du projet. Le processus de planification permet d'obtenir un planning initial P_i qui n'intègre pas de risque. Un

projet est aussi décrit par son ensemble E_R de risques identifiés R_i ($i=0\dots n$), n étant le nombre de risques identifiés dans le cadre du projet. Chaque R_i est caractérisé au cours du processus de gestion des risques. Un risque a ainsi une probabilité et un impact. La notion d'impact initial permet de considérer le fait qu'une tâche puisse se dérouler en mode dégradé. Un risque R_i se caractérise aussi par une période d'occurrence, qui peut correspondre, par exemple, à une tâche au cours de laquelle le risque peut aboutir.

3.4.1 Définition de scénario

Dans le domaine audiovisuel, la réalisation d'une œuvre cinématographique ne peut se concevoir sans établir au préalable un scénario, racontant l'histoire sortie de l'imaginaire d'un ou plusieurs scénaristes. Ce document sert à décrire les événements, faits, actes et leurs enchaînements qui constituent le déroulé de l'histoire, ce que l'on souhaite filmer. (Coates 2000) rappelle que le terme scénario a été introduit dans le langage courant pour transcrire l'action de « movie setting ». L'auteur s'appuyant sur le « Webster's Ninth New Collegiate Dictionary » indique plusieurs définitions associées au terme scénario, dont la suivante :

« *An imagined sequence of events, esp. any of several detailed plans or possibilities* »

Cette définition met en avant à la fois l'aspect prospectif, imaginatif, ainsi que la notion d'événement.

Plus proche de nos domaines de recherche, le domaine de la modélisation d'entreprise et de processus, inspiré tout particulièrement par celui des Systèmes d'Information (SI), a fait émerger la nécessité de parler de scénario. Ainsi, dans (Morley et al. 2005), les auteurs définissent un scénario comme « la description de la simulation d'une occurrence de processus [...] ». En complément, (Von Reibnitz 1989) nous indique que le scénario décrit les états futurs d'un système et qu'une démarche de planification, dite par la « technique des scénarios », permet de décrire un cheminement qui fait passer d'une situation initiale vers un de ces états futurs. L'auteur compare d'ailleurs cette approche à diverses autres techniques de planification (méthodes de prévision traditionnelles, modèles de simulation).

Pour notre part, dans une approche *a priori* (*ex ante*), nous définissons un scénario comme la description (modélisation) d'une réalisation (occurrence) possible d'un ensemble d'éléments. Ces éléments peuvent être soit des événements, soit des actes, comme par exemple les tâches d'un planning, les actions de traitement des risques.

Ainsi, nous spécialiserons la notion de scénario pour définir trois types de scénarios différents :

- scénario de risque (§ 3.4.2), qui va permettre de modéliser les événements possibles dans une réalisation possible du projet,
- scénario de traitement (§ 3.4.3), où l'on va s'intéresser aux actions de traitement retenues dans une réalisation possible du projet,
- scénario de projet (§ 3.4.5), qui permet de décrire le scénario de traitement choisi couplé avec un scénario de risque possible.

3.4.2 Scénario de risque : définition et modélisation

Le processus de management des risques conduit à identifier un portefeuille de risques susceptibles de survenir au cours du projet. Certains vont survenir, les autres ne se manifesteront pas. La réalisation du projet ne voit généralement que la concrétisation ou l'occurrence d'un sous-ensemble des risques. Un projet présentant un ensemble E_R de n risques peut conduire à un *Ensemble de Scénarios de Risque* E_{ScR} comptant 2^n scénarios de risques. Ainsi, un *Scénario de Risques* ScR_s ($s=1\dots 2^n$) est alors défini comme un sous-ensemble du portefeuille des risques possibles. Dans un projet avec k risques ($0 \leq k \leq n$), le nombre total de scénarios de risques, présentant k risques parmi les n risques identifiés, est égal à $\frac{n!}{k!(n-k)!}$.

Analysé de manière *ex ante*, un *Scénario de Risque* ScR_s correspondra à l'ensemble des risques que l'on considère occurrent lors d'une analyse du projet (une réalisation possible du projet).

Nota bene: nous utilisons l'expression « occurrence d'un risque » pour indiquer que c'est l'événement, caractéristique ou porteur du risque défini, qui survient.

Le projet de réalisation d'une station météorologique présenté dans la partie précédente propose un ensemble de trois risques identifiés : $E_R = \{R_1, R_2, R_3\}$.

L'exemple de scénario auquel nous nous intéressons tout particulièrement est celui présentant l'aboutissement de deux risques $ScR_8 = \{R_1, R_2\}$. Il correspond à un scénario de risque comportant deux risques, ce scénario prévisionnel projette l'occurrence des événements relatifs aux risques R_1 et R_2 , le risque R_3 est considéré comme évité. D'autres scénarios de risque avec 0, 1, 2 ou 3 risques, tel que par exemple $\{R_1, R_2, R_3\}$, $\{R_2, R_3\}$, etc. auraient aussi pu être étudiés.

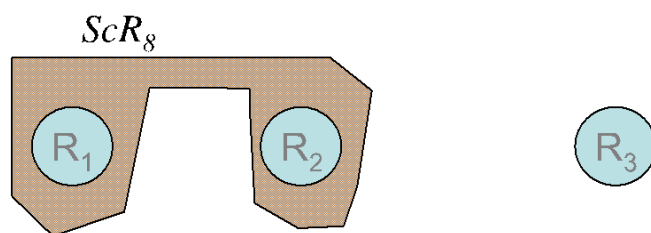


Figure 21. Exemple de scénario de risque : ScR_8

3.4.3 Scénario de traitement : définition et modélisation

Sur cette base et de manière complémentaire à la notion de scénario de risque, nous proposons d'introduire la notion de scénario de traitement.

Un *Scénario de Traitement* ScT_d ($d=1\dots D$) regroupe un ensemble de Stratégies de Traitement retenues pour réduire les risques listés dans le portefeuille des risques du projet, D étant le nombre de scénarios de traitement identifiés.

$$ScT_d = \{StT_{21}, StT_{31}\}$$

Dans cet exemple, ScT_d comporte des stratégies de traitement visant à réduire les risques R_2 et R_3 .

Un risque R_i pourra disposer d'une ou plusieurs Stratégies de Traitement StT_{ij} ($j=1\dots m$), avec m le nombre de stratégies identifiées pour traiter le risque R_i . Celles-ci pourront être soit préventives, soit correctives. Pour réduire un risque donné, plusieurs stratégies de traitement « concurrentes » peuvent ainsi être identifiées. La mise en œuvre d'une seule pourra s'avérer nécessaire. Sur la base d'une analyse de l'efficacité de chaque stratégie de traitement, ce sera au directeur de projet de choisir une stratégie parmi cet ensemble identifié. L'ensemble des stratégies de traitement identifiées sur le risque R_i sera désigné par StR_i . Une stratégie particulière consiste à ne pas mener d'action, elle est désignée par \emptyset (ensemble vide).

$$StR_i = \{\emptyset, StT_{i1}, \dots, StT_{ij}, \dots, StT_{im}\}, \text{ Card}(StR_i) = m + 1$$

Une Stratégie de Traitement StT_{ij} regroupe un ensemble d'Actions de traitement $A_{j\alpha}$ ($\alpha=1\dots a$) destinées à réduire le risque R_i . Ces actions de traitement sont des actions unitaires, qui peuvent être matérialisées par des tâches à réaliser. Chacune des actions identifiées dans une stratégie de traitement est nécessaire pour atteindre l'objectif de réduction du risque. Traiter un risque peut ainsi nécessiter de mettre en œuvre plusieurs actions complémentaires de manière plus ou moins concomitante. Il est à noter qu'une même action peut appartenir à plusieurs stratégies différentes de traitement du même risque, ou bien appartenir à des stratégies de traitement de risques différents.

En réponse aux risques identifiés et considérés comme majeurs dans le cadre d'un projet, le risk manager est amené à proposer un plan d'actions composé d'actions de traitement. Ces actions de traitement peuvent être de type préventif ou correctif (Figure 22, Tableau 8).

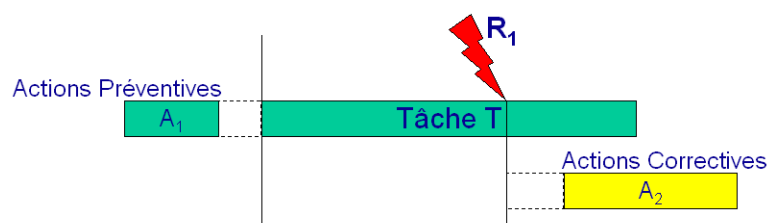


Figure 22. Actions de traitement préventives *versus* correctives

Les actions préventives sont décidées et réalisées avant l'occurrence du risque (la période d'occurrence du risque). Elles peuvent réduire la probabilité d'occurrence et/ou les impacts. Les actions correctives sont réalisées après l'occurrence du risque, elles ne peuvent que réduire les impacts. Les effets des actions de traitement sont présentés dans le Tableau 8.

	Effets		
Action de Traitement		Probabilité d'occurrence	Impact
Préventive		→	→
Corrective		→	→

Tableau 8. Les effets des actions de traitement sur les risques

La typologie des stratégies découle donc de la nature des actions de traitement qu'elles comprennent :

- stratégie sans action de traitement pour les risques acceptables, $StT_{i_0} = \{\emptyset\}$,
- stratégie préventive : si toutes les actions de traitement $A_{ij\alpha}$ sont préventives,
- stratégie corrective : si au moins une action de traitement est corrective,

Toujours basé sur l'exemple introduit précédemment, le risque R_3 détaillé dans la Figure 23, présente un ensemble de stratégies possibles : $StR_3 = \{\emptyset, StT_{31}, StT_{32}, StT_{33}\}$.

Il est possible d'observer que les stratégies StT_{32} et StT_{33} comportent une action qui est identique, respectivement A_{322} et A_{331} .

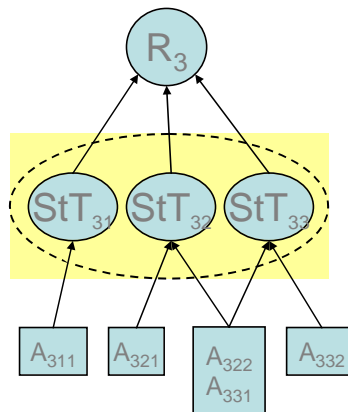


Figure 23. Ensemble des stratégies de traitement possibles pour le risque R_3

Dans un scénario de traitement, deux configurations différentes peuvent être observées :

- toutes les actions de traitement (stratégies) sont en relation avec un risque du scénario de risque étudié. Dans ce premier cas, les actions listées pourront être préventives comme correctives, toutes les stratégies retenues dans le scénario de traitement $ScT_d = \{StT_{12}, StT_{31}, StT_{42}\}$ sont en relation avec un risque de ScR_r .
- Certaines actions de traitement (stratégies) NE SONT PAS en relation avec un risque du scénario de risque étudié. Dans ce deuxième cas, les actions qui ne sont pas en relation avec un risque du scénario de risque étudié sont obligatoirement préventives. Ce cas est illustré dans la Figure 24 dans laquelle le scénario de risque et de traitement illustrés sont respectivement $ScR_8 = \{R_1, R_2\}$ et $ScT_d = \{StT_{21}, StT_{31}\}$, $d \in \{1...D\}$. Dans ce cas, le risque R_3 n'est pas occurant et la stratégie A_{311} est préventive.

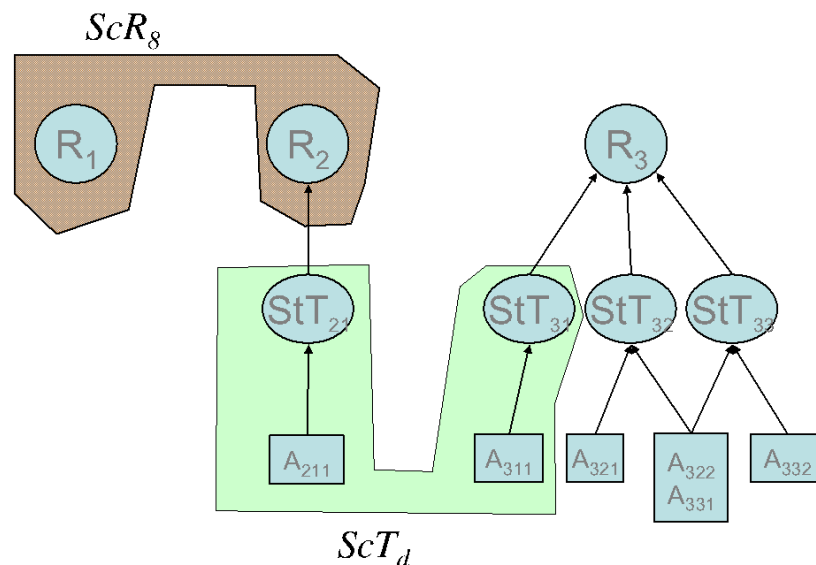


Figure 24. Exemple de scénario intégrant une stratégie préventive

3.4.4 Influence des actions de traitement sur le projet

La mise en œuvre d'une stratégie de traitement décidée dans un scénario de traitement du projet peut conduire à des modifications du projet de nature diverse.

Deux types d'actions sont identifiés, selon qu'elles correspondent :

- à des tâches du planning, c'est-à-dire qu'elles apparaissent dans le planning du projet. C'est le cas de la StT_{31} de l'exemple fil rouge.
- à des tâches hors planning (Carter et al. 1996) : ce sont des tâches à réaliser, mais qui ne sont pas matérialisées dans le planning. Leur influence délai n'est pas à considérer. Par

contre, leur influence sur le coût total du projet est à considérer. C'est le cas de la StT_{33} de l'exemple fil rouge pour laquelle il est possible d'imaginer qu'il a fallu, en hors projet, passer par une tâche de sélection des matériaux.

Dans le cas des tâches planning, les modifications induites (voir figure 7) par leur mise en œuvre dans des actions de traitement du risque peuvent porter sur :

- le WBS. Les actions de traitement décidées par le chef de projet conduisent à modifier la structure du WBS du projet. Il s'agit d'actions qui :
 - n'existaient pas dans le WBS, nécessitant leur ajout,
 - existaient, mais ne sont plus nécessaires dans cette configuration, il faut les supprimer du WBS,
 - existaient, mais doivent être modifiées (au moins des caractéristiques de la tâche doivent être modifiées : durée, coût),
- le réseau logique. Il s'agit ici de modifications dans les liens de précédences, qui relient les tâches du planning du projet. Cela peut avoir comme seule conséquence de modifier la durée totale du projet.

Dans les deux premiers cas de modifications appliquées au WBS (ajout, suppression de tâches) et dans le cas d'une modification du réseau logique, il est nécessaire de spécifier les liens prédécesseurs-successeurs après la modification (Bakir 2003). Par exemple, lorsqu'une action conduit à insérer une nouvelle tâche dans le planning, les prédécesseurs et successeurs de cette tâche sont nécessaires pour la situer dans le planning et permettre de calculer la durée du projet. Cette nouvelle tâche peut être distante de la tâche sur laquelle porte le risque associé.

L'influence de nature délai est bien évidemment dépendante du chemin critique du projet. Les modifications apportées pouvant changer le chemin critique du projet, c'est bien le « recalcul du PERT » qui permettra de déterminer l'influence globale au niveau de la durée totale du projet.

Une action de traitement est caractérisée par deux dimensions : sa durée (y compris ses liens prédécesseur/successeur) et son coût.

Le coût d'une action de traitement $C(A_{ij\alpha})$ possède deux composantes :

- un coût direct $C_{ij\alpha}^{direct}$, indépendant des ressources affectées et de la durée de la tâche,
- un coût indirect $C_{ij\alpha}^{indirect}$, dépendant des ressources affectées et de la durée de l'action.

$$C(A_{ij\alpha}) = C_{ij\alpha}^{direct} + C_{ij\alpha}^{indirect}, \forall i \in \{1 \dots n\}, \forall j \in \{1 \dots m\}, \forall \alpha \in \{1 \dots a\}$$

Lorsque l'action correspond à une tâche à réaliser hors planning, son coût correspond au montant engendré par l'action ou coût direct. C'est le cas dans la stratégie StT_{33} qui possède un coût direct engendré par le coût du nouveau béton utilisé pour remplacer celui qui semblait de

qualité insuffisante. La durée de l'action est considérée comme nulle, alors qu'il existe un surcoût de 58 UM.

Lorsque l'action A_{ija} est matérialisée dans le planning, son coût $C(A_{ija})$ et sa durée ($D(A_{ija})$) dépendent de la nature des modifications appliquées au planning du projet. Le détail des situations analysées est synthétisé dans le Tableau 9. Le tableau ci-dessous fait état du coût direct de l'action de traitement.

Selon la nature de l'action, pilotée par le taux (taux fixé) ou bien pilotée par la charge (charge fixée), le coût indirect de l'action peut être corrélé à la durée de cette dernière. L'action peut donc être perçue comme une prolongation d'une tâche T_i puisque les ressources qui la traiteront seront les mêmes.

$$C_{ija}^{indirect} = D(A_{ija}) \times V_i \text{ avec } V_i = \frac{C(T_i)}{\text{durée_initiale}(T_i)}$$

Cela s'applique particulièrement au cas des modifications des caractéristiques d'une tâche, et en particulier des modifications de la durée d'une tâche, le coût de l'action de traitement est dépendant du type de la tâche.

Action de traitement			
Type	Modification		$C(A_{ija})$
	porte sur	type	
Tâche hors planning	WBS	ajout tâche	C_{ija}^{direct} engendré par l'action
Tâche planning	WBS	ajout tâche T_i	$C_{ija}^{direct} + C(T_i)$
		suppression tâche T_i	$C_{ija}^{direct} - C(T_i)$
		modification tâche	taux fixé
	charge fixée		C_{ija}^{direct}
	Liens de précedence	modification des liens (ajout, suppression, remplacement)	

Tableau 9. Détermination des caractéristiques coût et durée d'une action de traitement

Différentes configurations sont illustrées par les exemples ci-dessous (voir Tableau 10). Dans le cadre de la tâche C de notre exemple fil rouge (réalisation de la clôture du site de la station météo) un risque R_4 peut être rencontré lors de la fixation des palissades. Certains composants utilisés ne permettent en effet pas de les fixer correctement et celles-ci peuvent se détacher.

Trois stratégies de traitement différentes contenant chacune une action sont possibles :

- l'action 1 nécessite de rajouter une tâche nouvelle de vérification des composants dans le WBS, tâche qui s'exécute en parallèle de la tâche T_1 , avec une durée de 1 s. Elle n'entraîne pas de coût direct, seul un coût indirect sera considéré.

- L'action 2, qui consiste à utiliser des fixation plus robustes. Cela n'entraîne qu'une modification de la tâche existante T_2 . La modification porte seulement sur le coût direct, le montage coûtera 2 K€ de plus du fait de l'utilisation de matériels complémentaires, mais il n'y aura pas de modification de la durée du montage.
- Enfin, l'action 3, qui consiste à effectuer un montage différent, entraînera une augmentation de la durée de la tâche de montage de 1 s, mais également un coût direct de 1 K€. Le coût total de l'action comportera un coût direct de 1 K€ ainsi qu'un coût indirect lié à l'utilisation pendant une semaine supplémentaire des ressources pour effectuer cette tâche.

A_{411}	Qualification de lots de composants
$D(A_{411})$	1 s
C_{411}^{direct}	0 k€
A_{421}	Utilisation de fixations plus robustes
$D(A_{421})$	0 s
C_{421}^{direct}	2 k€
A_{431}	Effectuer le montage différemment
$D(A_{431})$	$D(T_2) + 1$ s
C_{431}^{direct}	1 k€

Tableau 10. Exemples d'actions de traitement

Le coût d'une stratégie de traitement StT_{ij} est désigné par :

$$C(StT_{ij}) = \sum_{\alpha=1}^a C(A_{ij\alpha}), \forall i \in \{1 \dots n\}, \forall j \in \{1 \dots m\}$$

3.4.5 Scénario de projet : définition et modélisation

Soit P un projet décrit par :

- ses T tâches T_i ($i=1 \dots T$) caractérisées par le processus de planification,
- l'ensemble des risques E_R identifiés et caractérisés grâce au processus de management des risques,
- l'ensemble des stratégies de traitement identifiées pour réduire les risques de E_R .

Un scénario de projet ScP_p ($p=1 \dots P$) est alors défini par :

$$ScP_p = \langle Pi, ScR_s, ScT_d \rangle$$

Avec :

- P_i : le planning initial du projet,
- ScR_s ($s=1\dots 2^n$) : un scénario de risque,
- ScT_d ($d=1\dots D$) : un scénario de traitement.

Différents types de scénarios de projet peuvent alors être envisagés :

- ScP_p avec un planning initial de projet, sans la prise en compte des risques.
 $ScP_p = \langle P_i, \emptyset, \emptyset \rangle$.

Dans ce cas, nous avons un scénario unique conforme au planning initial. Les risques identifiés et leurs impacts éventuels sur la durée et le coût du projet ne sont pas pris en compte. Ce planning permet de déterminer une durée prévisionnelle et un coût prévisionnel du projet sans risque, appelés respectivement *durée initiale* et *coût initial*. Ces deux valeurs sont déterminées et uniques.

- ScP_p qui, sur la base du planning initial du projet, intègre les impacts des risques, mais sans mettre en place d'action de traitement $ScP_p = \langle P_i, ScR_s, \emptyset \rangle$. Les différents risques peuvent apporter des modifications au P_i . Les stratégies de traitement n'étant pas prises en compte, les impacts des risques correspondront toujours aux impacts initiaux.
- ScP_p avec risques et stratégies de traitement $ScP_p = \langle P_i, ScR_s, ScT_d \rangle$.

Le scénario de risque ScR_s indique les risques retenus pour l'analyse, l'ensemble des risques que l'on considère comme occurrents dans ce scénario ou réalisation possible du projet. Un scénario de traitement ScT_d associé propose les actions de traitement envisagées. Pour un même ScR_s déterminé, plusieurs ScT_d sont ainsi possibles, entraînant plusieurs ScP_p . Le choix d'une ScT_d et d'un ScR_s parmi l'ensemble des solutions possibles est dépendant de sa performance intrinsèque, sa capacité à réduire les impacts des risques.

Un scénario de projet indique les risques qui vont aboutir et les stratégies de traitement pour chaque risque. Cette configuration du projet, ce scénario, est caractérisée par une durée, un coût et une probabilité d'occurrence de ce scénario. La durée et le coût sont déterminés à partir des informations relatives aux tâches du projet et aux risques occurrents, en particulier sur la base des impacts délai et coût de ceux-ci.

Les impacts délai sont utilisés pour recalculer le réseau PERT du scénario de projet considéré.

3.5 Impact initial et impact réduit d'un risque

L'impact initial est l'expression de l'impact du risque sans mise en place de stratégie de traitement. L'impact réduit, quant à lui caractérise le niveau de l'impact du risque après mise en œuvre d'une stratégie de traitement. Il exprime le niveau résiduel de l'impact si le risque survenait malgré la

mise en place de la stratégie de traitement. A chaque stratégie de traitement sont associés un impact réduit délai, un impact réduit coût et une probabilité réduite de survenue du risque.

A chaque risque, il peut être associé un ou plusieurs impacts, selon les tâches qui sont concernées par le risque. Nous avons considéré dans ce travail deux dimensions, qui sont pour un risque R_i les impacts de type délai DI_i et les impacts de type coût CI_i . L'impact réduit de type délai et de type coût sont alors désignés respectivement par $DI_i^{réduit}$ et $CI_i^{réduit}$.

Reprenons un exemple pour illustrer ces deux concepts. Soit un risque R_1 , qui survient pendant la tâche T_1 , ses caractéristiques sont listées ci-dessous.

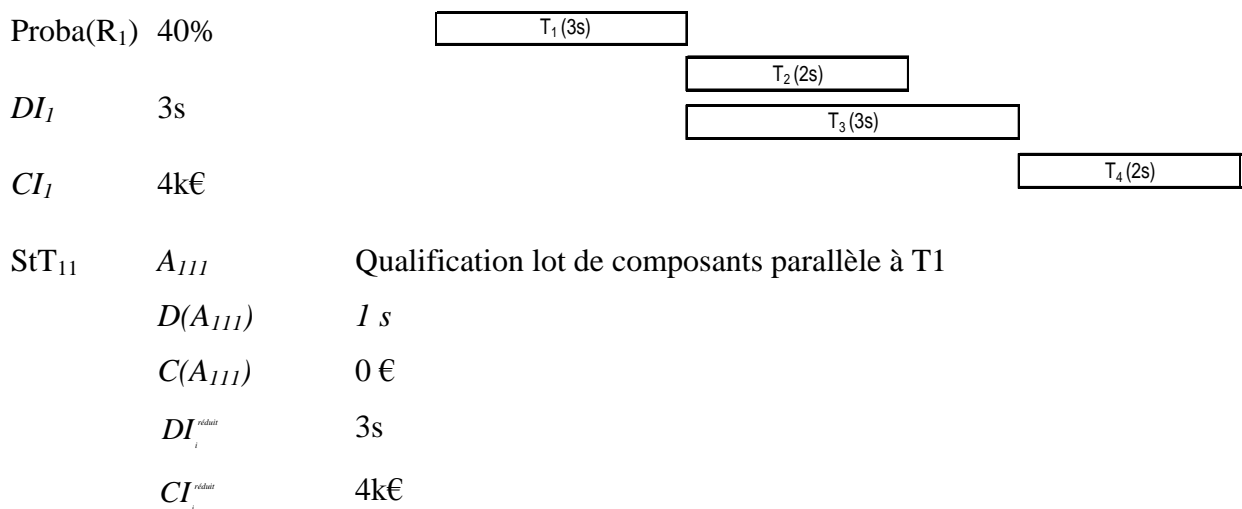


Tableau 11. Illustration sur un exemple des concepts d'impact initial et d'impact réduit

DI_i et CI_i définissent respectivement l'impact délai et coût initial. Dans ce cas, sans aucune action, l'occurrence du risque conduit à une augmentation de la durée de la tâche T_2 de deux semaines (remplacement des pièces défectueuses) et à une augmentation du coût de la tâche T_2 de 4 K€ (coût des fixations utilisées pour remplacer celles défectueuses). La probabilité de rencontrer cette situation est fixée à 40 % (probabilité initiale).

L'impact réduit de ce risque, après mise en œuvre de la stratégie de traitement StT₁₁, fait état d'une augmentation de trois semaines de la durée de la tâche T_2 ($DI_i^{réduit}$) et d'une augmentation de 4 K€ du coût direct de la tâche T_2 ($CI_i^{réduit}$).

3.6 Caractérisation des scénarios de projet

En sus des caractéristiques données ci-dessus, chaque scénario est caractérisé par diverses informations, qui sont :

- la probabilité, qui est qualifiée :

- d'initiale, lorsqu'aucun ScT_{ij} n'est appliqué $ScP_p = \langle Pi, ScR_s, \emptyset \rangle$,
- de réduite, lorsqu'un ScT_{ij} est appliqué $ScP_p = \langle Pi, ScR_s, ScT_d \rangle$.
- L'impact global, qui est qualifié :
 - d'initial, lorsqu'aucun ScT_{ij} n'est appliqué $ScP_p = \langle Pi, ScR_s, \emptyset \rangle$,
 - de réduit, lorsqu'un ScT_{ij} est appliqué $ScP_p = \langle Pi, ScR_s, ScT_d \rangle$.
- La durée du projet, qui est qualifiée :
 - de sans risque, lorsqu'aucun risque ni aucune action de traitement ne sont pris en compte $ScP_p = \langle Pi, \emptyset, \emptyset \rangle$,
 - de prévisionnelle, lorsqu'un ScT_{ij} est appliqué $ScP_p = \langle Pi, ScR_s, ScT_d \rangle$.
- Le coût du projet, qui est qualifié :
 - de sans risque, lorsqu'aucun risque ni aucune action de traitement ne sont pris en compte $ScP_p = \langle Pi, \emptyset, \emptyset \rangle$,
 - initial, lorsqu'aucune action de traitement n'est mise en œuvre malgré l'occurrence de certains risques $ScP_p = \langle Pi, ScR_s, \emptyset \rangle$,
 - de prévisionnel, lorsqu'un ScT_{ij} est appliqué $ScP_p = \langle Pi, ScR_s, ScT_d \rangle$

L'impact global est exprimé selon les dimensions délai et coût.

La mise en place d'une stratégie de traitement a pour objectif de réduire la probabilité d'occurrence du risque associé et/ou son impact. Par conséquent, chaque ScT_{ij} est caractérisée par un ensemble d'actions projetées, une probabilité réduite et/ou par des impacts réduits, qui sont respectivement la nouvelle probabilité et les nouveaux impacts du risque, après la mise en place de la ScT_{ij} .

3.6.1 Calcul de la probabilité d'un scénario de projet

Le calcul de la probabilité de chaque scénario de projet se décompose en deux parties relatives :

- (1) aux scénarios de projet sans aucune stratégie de traitement (paramètres initiaux),
- (2) et aux scénarios de projet dotés de stratégies de traitement (paramètres réduits).

Désignons par :

- $proba(R_i)$ la probabilité de survenue du risque R_i ou *probabilité initiale*, et
- $proba(R_i | StT_{ij})$, la probabilité de survenue du risque R_i sachant que l'on a décidé la mise en œuvre de la stratégie de traitement StT_{ij} qui s'applique au risque R_i . On la désigne par le terme *probabilité réduite* du risque.

Dans le premier cas, le calcul s'appuie uniquement sur les probabilités initiales d'occurrence des risques composant le scénario de risque.

La probabilité d'occurrence $proba(\langle ScR_s; \emptyset \rangle)$ du scénario de projet caractérisé par le scénario de risque ScR_s et aucune action de traitement est obtenue par la formule ci-dessous.

$$proba(\langle ScR_s; \emptyset \rangle) = \prod_{i=1}^n \begin{cases} proba(R_i) & si(R_i \in ScR_s) \\ 1 - proba(R_i) & si(R_i \notin ScR_s) \end{cases}$$

Le calcul de la probabilité du scénario tient compte de la probabilité initiale d'occurrence $proba(R_i)$ des risques appartenant au ScR_s étudié et de la probabilité de non-occurrence $1 - proba(R_i)$ des risques n'appartenant pas au ScR_s étudié.

Le deuxième cas illustre un scénario de projet dans lequel un scénario de traitement est mis en œuvre. Selon que les stratégies appliquées à chacun des risques sont des stratégies préventives ou correctives, les probabilités utilisées sont respectivement la probabilité réduite ou la probabilité initiale d'occurrence du risque. La formule ci-dessous donne les règles à appliquer pour calculer cette probabilité $proba(\langle ScR_s; ScT_d \rangle)$.

$$proba(\langle ScR_s; ScT_d \rangle) = \prod_{i,j}^{R_i \in E_R, StT_{ij} \in ScT_d} \begin{cases} proba(R_i) & (a) \\ 1 - proba(R_i) & (b) \\ proba(R_i | StT_{ij}) & (c) \\ 1 - proba(R_i | StT_{ij}) & (d) \end{cases}$$

(a) si $(R_i \in ScR_s)$ et $\left(\left(\text{sans } StT_{ij} \right) \text{ ou } \left(proba(R_i) = proba(R_i | StT_{ij}) \right) \right)$

(b) si $(R_i \notin ScR_s)$ et $\left(\left(\text{sans } StT_{ij} \right) \text{ ou } \left(proba(R_i) = proba(R_i | StT_{ij}) \right) \right)$

(c) si $(R_i \in ScR_s)$ et $(StT_{ij} \text{ est préventive})$ et $\left(proba(R_i) \neq proba(R_i | StT_{ij}) \right)$

(d) si $(R_i \notin ScR_s)$ et $(StT_{ij} \text{ est préventive})$ et $\left(proba(R_i) \neq proba(R_i | StT_{ij}) \right)$

Quatre situations sont à considérer pour calculer la probabilité de ce scénario de projet :

- Cas (a) : le risque R_i est courant et :
 - ou bien aucune stratégie n'a été retenue,

- ou bien la stratégie retenue StT_{ij} (qu'elle soit corrective ou préventive) est sans influence sur la probabilité d'occurrence du risque ; elle agit seulement en protection pour limiter l'importance des impacts.
- Cas (b) : le risque R_i n'est pas occurred et :
 - soit aucune stratégie n'a été retenue,
 - soit la stratégie retenue StT_{ij} est préventive, mais sans influence sur la probabilité d'occurrence du risque ; elle agit seulement en protection pour limiter l'importance des impacts éventuels.
- Cas (c) : le risque R_i est occurred et la stratégie retenue StT_{ij} est préventive. Elle permet de modifier la probabilité d'occurrence du risque. La probabilité réduite est différente de la probabilité initiale d'occurrence du risque R_i .
- Cas (d) : le risque R_i n'est pas occurred et la stratégie retenue StT_{ij} est préventive. Elle permet de modifier la probabilité d'occurrence du risque. La probabilité réduite est différente de la probabilité initiale d'occurrence du risque R_i . Cette stratégie a permis d'éviter la survenue du risque.

3.6.2 Calcul du coût d'un scénario de projet

Plus généralement, chaque risque peut entraîner plusieurs impacts, qu'ils soient de type délai et/ou de type coût. Par conséquent, nous proposons les formules suivantes pour calculer l'impact coût global au niveau d'un risque.

Tout d'abord, le calcul de l'impact coût global initial pour le risque R_i ($GC_i^{initial}$) :

$$GC^{initial}(R_i) = \sum_{i=1}^n CI_i^{direct} + \sum_{i=1}^n CI_i^{indirect}$$

$$\text{avec } CI_i^{indirect} = \sum_{t=1}^T (DI_i \times V_t) \text{ et } V_t = \frac{C(T_t)}{\text{durée_initiale}(T_t)}$$

L'impact coût global réduit ($GC^{reduit}(R_i)$) pour le risque R_i , auquel on applique la stratégie de traitement StT_{ij} , est obtenu par la formule ci-dessous :

$$GC^{reduit}(R_i) = \sum_{i=1}^n CI_i^{direct_reduit} + \sum_{i=1}^n CI_i^{indirect_reduit}$$

Le coût d'un scénario de projet sans prise en compte des risques $C_R(SCP_p)$ est obtenu par le coût seul des T tâches constituant le planning initial du projet.

$$\text{Avec } \forall p, C_{-R}(ScP_p) = \sum_{t=1}^T C(T_t)$$

Le coût initial d'un scénario de projet $ScP_p = \langle Pi, ScR_s, \emptyset \rangle$ est déterminé comme suit :

$$C_R^{initial}(ScP_p) = C_{-R}(ScP_p) + \sum_{R_i \in ScR_s} GC^{initial}(R_i), \forall p \in \{1 \dots P\}$$

Le coût prévisionnel d'un scénario de projet $ScP_p = \langle Pi, ScR_s, ScT_d \rangle$ est déterminé comme suit :

$$C(ScP_p) = C_{-R}(ScP_p) + \sum_{R_i \in ScR_s} GC^{reduit}(R_i) + \sum_{R_i \in ScR_s} \sum_{St_{ij} \in StR_i} C(St_{ij}), \forall p \in \{1 \dots P\}$$

3.6.3 Calcul de la durée d'un scénario de projet

Pour la détermination de la durée d'un scénario de projet, nous utilisons la méthode PERT. Les impacts délais de chaque risque, les actions de traitement nécessitant la mise en œuvre d'une tâche dans le planning sont prises en compte pour effectuer le calcul de la durée du scénario de projet associé.

Pour chaque scénario de projet ainsi généré, un calcul de la durée du $ScP_p = \langle Pi, ScR_s, ScT_d \rangle$ est réalisé en tenant compte des éventuelles modifications induites au niveau du planning par la mise en place des stratégies de traitement. La méthode PERT est alors utilisée, après avoir adapté le planning initial conformément au scénario étudié. Lorsque plusieurs risques impactent la même tâche et que ces risques se retrouvent dans le même scénario de risque, il est nécessaire de préciser la façon dont ces deux impacts vont être gérés. Nous avons retenu pour cela deux modes, que l'utilisateur pourra choisir selon son besoin.

Il s'agit de considérer soit le maximum des deux impacts, soit de faire la somme des deux impacts pour indiquer que les impacts se cumulent sur cette tâche.

3.7 Conclusion

A l'instar de la fin d'un projet, où l'un des déroulements potentiel du projet a été achevé et qu'il est possible de l'analyser *a posteriori*, au lancement de celui-ci, c'est un ensemble d'exécutions qui sont possibles. Chacun de ces déroulements peut mettre en scène, à la manière d'un film, différentes ressources, pour effectuer différentes tâches. Dans chacune de ces réalisations de projet, différents événements associés à des risques pourront survenir et des actions pourront être mises en œuvre de manière préventive et/ou corrective. Etant donné que le nombre de possibilités de réalisation de projets différents peut être très important, la problématique à laquelle nous nous sommes intéressés dans ce chapitre consiste à définir le concept de scénario dans la thématique de la gestion de projet.

Nous avons ainsi défini, à travers ce chapitre, la notion de scénario comme étant une modélisation d'une réalisation d'un ensemble d'éléments. Il est ainsi possible de décomposer et de clarifier un déroulement de projet et de faciliter la prise en compte des risques projets. Ces éléments peuvent être des événements, des actes ou encore des actions. Nous pouvons donc spécialiser cette notion de scénario à travers les scénarios de risque, qui permettent ainsi de modéliser les événements possibles dans une réalisation particulière du projet, mais aussi à travers les scénarios de traitement recensant les actions de traitement mises en place dans une réalisation possible du projet. Finalement, un scénario de projet peut, quant à lui, être décrit par le couplage d'un scénario de risque et d'un scénario de traitement.

Un scénario de projet présente ainsi un scénario de risque, qui peut entraîner des modifications dans la planification prévisionnelle d'un projet (ou dans le déroulement du projet dans un cas idéal, donc sans perturbation). Pour atténuer ou faire disparaître les effets de ces risques, le responsable de projet peut mettre en place un ensemble d'actions (préventive ou corrective) ou scénarios d'action. Ainsi, l'impact des événements (dans notre étude, cela correspond à une modification du coût, ainsi que du délai) sera différent de l'impact qui aurait pu être subi si aucune action n'avait été mise en œuvre. La probabilité de survenue d'un événement, contrairement aux impacts, ne peut être modifiée que par une action préventive. On parle alors d'impact réduit et de probabilité réduite. En intégrant l'ensemble des impacts réduits et des probabilités réduites, il est ainsi possible de déterminer, pour un scénario de projet donné (et par conséquent pour l'ensemble des scénarios possibles d'un projet), la probabilité, le coût et la durée. Ces informations permettent de mesurer les conséquences que peut avoir le choix d'un scénario de traitement et donc de prendre des décisions stratégiques quant au choix et à la mise en œuvre d'un scénario de traitement en particulier.

L'application de cette méthodologie est flexible. Elle peut être mise en œuvre avant le début du projet, mais aussi chaque fois que nécessaire au cours du projet dans la boucle de pilotage. Il

suffit alors de modifier la liste initiale des risques à utiliser pour les calculs pour tenir compte uniquement des risques qui ont une période d'occurrence postérieure à la date d'évaluation.

Cependant, lorsqu'un événement associé à un risque survient, il est possible que la structure du projet soit modifiée : certaines tâches peuvent voir leurs durées allongées ou réduites impliquant implicitement des modifications des activités réalisées. Si une tâche est ainsi modifiée, les caractéristiques des risques qui lui sont liés peuvent en toute légitimité être modifiées. De plus, de nouveaux risques peuvent apparaître, comme certains risques existants peuvent disparaître. La survenue de l'événement associé à ce risque, dont la période d'occurrence est modifiée, peut ainsi devenir plus ou moins probable ou encore avoir un impact différent de celui initialement imaginé. Il est alors possible de parler de dépendance d'un risque au regard d'un autre. Ainsi, si un risque aboutit, un autre risque, dépendant par rapport à l'occurrence de l'événement associé à ce premier, peut voir ses caractéristiques modifiées, il peut disparaître ou un autre risque peut surgir. Nous proposons donc, dans le chapitre suivant, d'étendre le modèle proposé et d'intégrer cette notion de dépendance entre risques sous ses différentes formes.

CHAPITRE 4 : INFLUENCE DES DEPENDANCES ENTRE RISQUES POUR L'ANALYSE DES SCENARIOS DE PROJET

4.1 Introduction

Dans les trente dernières années, de nombreux travaux académiques comme à caractère industriel ont été menés pour apporter une réponse au besoin d'anticiper/de gérer le caractère aléatoire ou stochastique de nombreux phénomènes : défaillance d'une machine ou d'un système, explosion d'une usine chimique, phénomènes météorologiques, instabilité des marchés boursiers, versatilité des clients, etc.

La plupart des travaux produits jusqu'à ce jour dans le domaine du management des risques formulent une hypothèse très forte d'indépendance entre les risques. Cette hypothèse, intéressante pour les simplifications qu'elle engendre, notamment en ce qui concerne l'application des théories des probabilités, n'en est pas moins lourde de conséquences quant à la modélisation de la réalité des phénomènes réels. Les phénomènes observés sont bien souvent loin de respecter cette hypothèse d'indépendance.

L'objectif de ce chapitre est de proposer des mécanismes de modélisation de la dépendance entre plusieurs risques appliqués au domaine particulier du management de projet. L'application de ce mécanisme, en complément de celui de génération des scénarios de projet présentés dans le chapitre précédent, a pour intérêt de modéliser de manière plus réaliste le comportement réel des phénomènes existants. Ainsi, les risques d'instabilité du terrain et d'effondrement du bâtiment relatifs à la construction de notre station météorologique sont fortement liés. En effet, si l'on construit ce bâtiment sur un tel terrain, la probabilité d'un effondrement augmente. Il existe manifestement un lien de dépendance entre ces deux risques. Dans d'autres cas, on a pu constater par retour d'expérience, voire même démontrer scientifiquement, que deux événements pouvaient être systématiquement associés, la survenue de l'un conditionne nécessairement la survenue de l'autre. Dans une telle situation, il est inutile d'étudier un scénario dans lequel il n'existerait qu'un seul des deux risques !

Après cette introduction, nous débiterons par un bref état de l'art de la notion de dépendance et tout particulièrement des outils/approches permettant de modéliser et manipuler les dépendances. Nous aborderons trois types d'approches :

- celles issues du domaine des statistiques avec en particulier les lois de probabilités conditionnelles ou théorème de Bayes,
- celles reposant sur l'utilisation de graphes, comme par exemple les arbres de défaillance, les chaînes de dépendance (Carr et Tah 2001), les graphes de dépendance (Chauveau 2006), les réseaux bayésiens,
- celles reposant sur l'utilisation de matrices, comme par exemple les matrices DSM (Design Structure Matrix) (Steward 1981) ou les matrices de corrélation d'incertitude dans la méthode Monte Carlo.

Ensuite, après avoir posé notre propre définition de la notion de dépendance appliquée au contexte du management des risques en projet, nous proposons une typologie des dépendances permettant de statuer sur les incohérences possibles et la manière de les gérer. Enfin, nous terminerons par une conclusion.

4.2 Quelques outils de description et manipulation des dépendances

Le terme dépendance peut recouvrir des sens différents selon le contexte dans lequel il est utilisé. Ainsi, dans la vie courante la dépendance décrit une relation de subordination, de sujétion à quelqu'un. Par exemple, la dépendance du nourrisson ou du bébé à l'égard de sa mère, la personne âgée a besoin de quelqu'un pour l'aider dans la vie quotidienne ; elle est dépendante. Dans le cadre médical, il existe également une dépendance à un médicament (somnifère, antidépresseur, anxiolytique) ou plus généralement à un produit quelconque (alcool, drogue), on parle alors d'addictologie... En économie, la dépendance économique indique un lien de subordination financière entre, par exemple, un enfant et ses parents pour subvenir à ses besoins, entre un donneur d'ordre et un sous-traitant. En architecture, il s'agira de bâtiments ou de constructions qui sont liées à un bâtiment secondaire qui est une dépendance d'un autre bâtiment dit principal... En statistique, la dépendance correspond à une loi existante entre deux variables aléatoires.

Nous pourrions citer de nombreux autres domaines où ce terme est utilisé, ils ont en commun la définition d'une dépendance comme une relation R entre deux éléments a et b du (ou des) monde(s) analysé(s) A (et B)

$$R : A \rightarrow B$$

La relation qui lie ces éléments est caractérisée par une **sémantique**, un **sens** et éventuellement une **cardinalité**. La sémantique est souvent fonction du domaine dans lequel est employée cette notion.

La dépendance est une relation qui peut être unidirectionnelle ou bidirectionnelle selon que la même sémantique puisse être appliquée ou non des éléments du monde A vers les éléments du monde B et des éléments du monde B vers les éléments du monde A. Lorsque pour deux éléments **a** et **b** appartenant respectivement aux mondes A et B, la relation qui les lie est symétrique, on pourra parler d'interdépendance entre les éléments : **a** dépend de **b** et **b** dépend de **a**.

4.2.1 Dans le domaine des espaces de probabilité, le théorème de Bayes

Pour illustrer la notion de dépendance dans la théorie des probabilités, utilisons l'exemple d'un jeu de dé. Prenons un dé à six faces, le jet de ce dé donne une valeur comprise entre 1 et 6 :

- A est événement où le jet donne une valeur supérieure à 3 (c'est-à-dire 4 ou 5 ou 6), alors la probabilité de A : $P(A) = 50,00 \%$
- B est événement où le jet donne une valeur impaire (c'est-à-dire 1 ou 3 ou 5), alors la probabilité de B : $P(B) = 50,00 \%$

	A	B
4	4	1
6	5	3

Figure 25. Exemple de deux événements

(A et B) est un événement où le jet donne une valeur supérieure à 3 et impaire. La seule valeur possible est 5. La probabilité de l'événement (A et B) est $P(A \cap B) = 1/6 = 16,67 \%$

Le théorème de Bayes permet de déterminer la probabilité de A sachant B ; $P(A|B)$ est appelée la probabilité *a posteriori* de A sachant B (Zellner 2007), si l'on connaît les probabilités :

- de A : $P(A)$ est la probabilité *a priori* de A. Elle est « antérieure » au sens qu'elle précède toute information sur B. $P(A)$ est aussi appelée la probabilité marginale de A,
- de B : $P(B)$ est appelé la probabilité marginale ou *a priori* de B,
- de B sachant A : $P(B|A)$, pour un B connu, est appelé la fonction de vraisemblance de A.

Pour aboutir au théorème de Bayes, on part d'une des définitions de la probabilité conditionnelle : (Zellner, 2007)

en notant $P(A \cap B)$ la probabilité que A et B aient tous les deux lieu.

On obtient l'expression du théorème de Bayes en divisant de part et d'autre par $P(B)$:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

Dans la théorie des probabilités, un événement A n'est pas indépendant à un événement B si $P(A) \neq P(A|B)$. La relation entre deux événements « non indépendants » est symétrique, c'est-à-dire :

Si A n'est pas indépendant de B alors B n'est pas indépendant de A , ce qui peut s'écrire :

si $P(A|B) \neq P(A)$ alors $P(B|A) \neq P(B)$.

S'il existe une dépendance entre deux variables aléatoires dans la statistique, la dépendance est symétrique, parce qu'ils ont la même zone déterminée (même espace de probabilité).

Si l'on applique cela à notre exemple de jeu de dé, intuitivement nous pouvons déterminer :

$P(A|B) = 1/3 = 33,33\%$ et $P(B|A) = 33,33\%$.

Dans cet exemple, nous vérifions que $P(A|B) \neq P(A)$ et que $P(B|A) \neq P(B)$.

Les événements A et B ne sont donc pas indépendants !

4.2.2 Les graphes : avantages et limites

Selon la théorie des graphes (Fulkerson et Gross 1965), (Nukala 1995)... un graphe peut être défini par un couple $G = (V, E)$, où V est l'ensemble des sommets et E est un ensemble de paires d'éléments de V .

Le contenu sémantique des ensembles V, E est différent selon les domaines d'application. Par exemple, dans le domaine de la gestion de projet et plus particulièrement de la planification de projet, V représente l'ensemble des tâches et E est l'ensemble des liens de précédence entre les tâches. Le graphe ainsi constitué décrit l'enchaînement des tâches. Les méthodes de planification, telles que PERT, GANTT, CPM, etc. utilisent la théorie des graphes.

D'autres outils s'appuient sur la théorie des graphes, citons par exemple : les arbres de défaillances (composés de portes logiques), les réseaux de Petri (composés de jetons), les arbres de décision...

Intéressons-nous à quelques approches utilisées en particulier dans le domaine du risque qui sur la base de graphes permettent de décrire des dépendances entre risques/événements :

- l'arbre de défaillance,
- les réseaux bayésiens,
- les chaînes de dépendance (Carr et Tah 2001),
- le graphe de dépendance (Chauveau 2006).

4.2.2.1 L'arbre de défaillance

L'arbre de défaillance est un outil de recensement de toutes les causes et défauts entraînant l'apparition d'un événement indésirable (Mittnik et Starobinskaya 2007), (Haasl 1965), (Vesely et al. 1981). Il détermine les différentes combinaisons possibles d'événements qui entraînent la réalisation de cet événement indésirable unique, c'est une représentation graphique de type arbre généalogique.

L'approche utilisée est déductive, elle permet de rechercher l'ensemble des événements élémentaires, ou les combinaisons d'événements, qui conduisent à l'événement indésirable nommé événement redouté. La démarche permet de recenser de manière exhaustive l'ensemble de ses causes jusqu'aux plus élémentaires.

La méthode de l'arbre des défaillances (AdD) est encore actuellement l'une des plus fréquemment utilisées dans les études de sûreté de fonctionnement (Villemeur 1988) (Niel et Craye 2002). Elle est destinée à l'évaluation de la sécurité, de la disponibilité ou de la fiabilité des systèmes industriels. Par analyse quantitative, l'AdD peut évaluer également la probabilité d'apparition de l'événement redouté.

Il représente une démarche d'analyse d'événement. L'AdD est construit en recherchant l'ensemble des événements élémentaires, ou les combinaisons d'événements, qui conduisent à un Evénement Redouté. Un AdD comporte les événements (événement sommet, événement intermédiaire, événement élémentaire) représentés par des boîtes et les portes logiques (porte ET, OU, OU exclusif, Combinaison k/n, Non-ET, Non-OU) pour présenter les liaisons entre les différents événements (voir Figure 26).

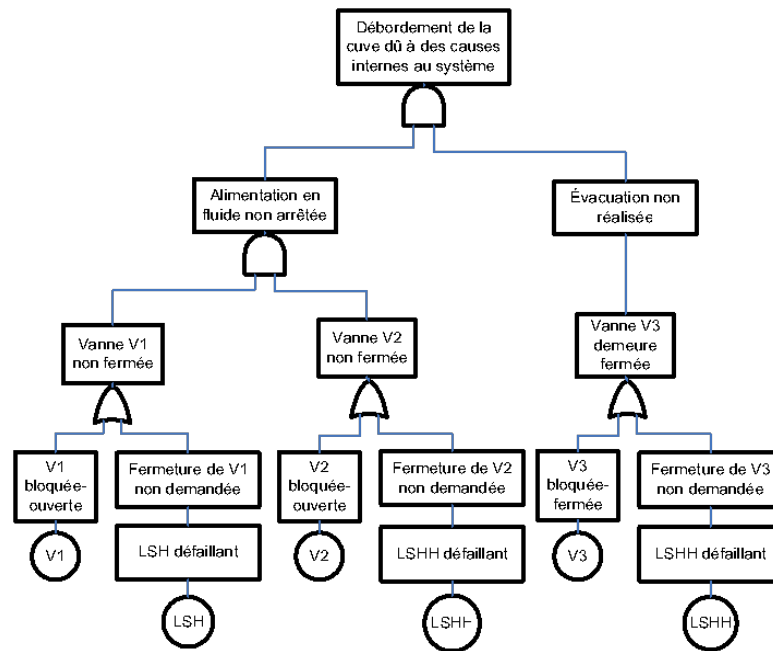


Figure 26. Exemple d'AdD

L'AdD est particulièrement utile pour répondre à des questions telles que « Quel est le risque que l'événement X se produise ? », « selon quels scénarios l'événement X risque-t-il de se produire ? », « quelles combinaisons d'événements suffisent à produire l'événement X ? »... L'AdD permet donc de représenter les faits. Cette méthode ne permet pas de représenter les influences entre les événements sommets - les événements non-souhaités pour le système.

4.2.2.2 Les réseaux bayésiens

Un réseau bayésien est un modèle graphique dans lequel les connaissances sont représentées sous forme de variables et de relations entre ces variables (Naïm et al. 1999), (Godichaud 2009). Il est entièrement défini par deux composantes principales :

- la structure, qui est un graphe orienté acyclique caractérisant des relations (causalité, influence...) entre les variables ou domaines.
- les paramètres, qui définissent des fonctions densité de probabilité conditionnelle (ou tables) pour chaque nœud du graphe en fonction de ses antécédents (nœuds à l'origine d'un arc).

Par exemple, le réseau bayésien sur la Figure 27 montre qu'il y a des relations entre les nœuds *a* et *c* ; *b* et *c*.

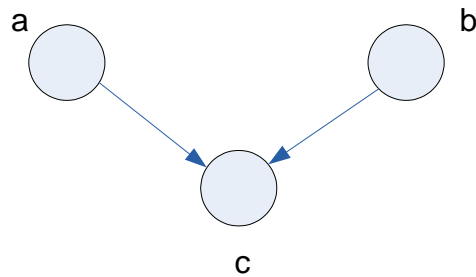


Figure 27. Un exemple de réseau bayésien entre les variables a , b et c

Pour caractériser cette relation, il faut définir une table de probabilité conditionnelle. Cette table est renseignée par les statistiques relatives au problème à résoudre, elles peuvent aussi être déterminées par jugement d'experts. Chacune des variables dispose d'une table de probabilités conditionnelles relatives aux variables causales dont elle dépend. Dans le Tableau 12, la probabilité $P(c|a,b)$ représente la probabilité de c sachant a et b (dans cet exemple, 0 et 1 sont deux valeurs possibles des variables a , b et c).

Observations	a b	0		1	
		0	1	0	1
Estimation de $P(c a,b)$	$c = 0$	0,7	0,1	0,99	0,1
	$c = 1$	0,3	0,9	0,01	0,9

Tableau 12. Exemple de table de probabilité conditionnelle pour c sachant a et b

La probabilité que c soit vérifiée sachant que a a été vérifié et que b n'a pas été vérifié est égale à 0,01.

Les réseaux bayésiens ont été développés au début des années quatre-vingts, ils s'appuient sur le théorème de Bayes (cf 4.2.1). Il y a beaucoup de domaines qui sont intéressés par ce type de représentation : diagnostic, analyse de risques. Les réseaux bayésiens sont utilisés pour représenter les connaissances, mais aussi pour calculer les probabilités conditionnelles.

Les réseaux bayésiens sont utilisés largement dans plusieurs domaines avec leurs extensions. Par exemple, les réseaux bayésiens dynamiques sont une extension des réseaux bayésiens qui permettent de représenter l'évolution temporelle des variables. La dimension temporelle est décrite sous forme de pas de temps ou périodes. La structure des réseaux bayésiens dynamiques est constituée de deux graphes orientés acycliques : un graphe intra-période et un graphe inter-périodes. Le graphe intra-période modélise les relations on temporelles entre les nœuds et le graphe inter-périodes modélise l'évolution dynamique des nœuds (Godichaud 2009). De plus, afin de modéliser des problèmes de décision en milieu incertain, des nœuds de décision et d'utilité peuvent être introduits dans le modèle, ce qui conduit à la notion de diagrammes d'influence. La vue graphique des diagrammes d'influence permet notamment de faciliter l'implication de tous les acteurs du problème de décision dans sa modélisation. Les nœuds de chance représentent les

variables du problème, les nœuds de décision les choix possibles pour le décideur et les nœuds d'utilité permettent d'évaluer les différentes décisions (Jensen et Nielsen 2001).

4.2.2.3 Les chaînes de dépendance

Cette approche est née dans le domaine du management des projets de construction. Selon les auteurs (Carr et Tah 2001), c'est un domaine qui peut présenter fréquemment des risques et de faibles performances. Les auteurs proposent la notion de chaîne de dépendance pour modéliser les liens entre les éléments de projet (les tâches, les risques, les facteurs de risques) afin de compléter le calcul flou des caractéristiques des tâches.

Pour établir une chaîne de dépendance sous la forme d'un diagramme de cause-effet, les auteurs identifient trois catégories d'objets : les tâches (T_x), les risques (R_x) et les facteurs de risques (RF_x). La notion de facteur de risque permet d'exprimer la cause d'un risque (par exemple : le temps, la formulation du contrat). Il peut exister plusieurs facteurs de risque associés à un risque, ils sont alors associés selon une porte logique « ET ».

Une chaîne de dépendance permet de modéliser les risques et les facteurs de risques qui peuvent influencer sur la réalisation d'une tâche. La tâche est toujours l'élément final de la chaîne de dépendance. Au moyen d'un tableau de règles, depuis les caractéristiques de risques et facteurs de risques, il est possible de déterminer le changement des caractéristiques des tâches comme : le délai, le coût, la qualité, la sécurité...

Le risque peut influencer directement une tâche, mais aussi un autre risque. Un exemple d'une chaîne dépendance des risques est illustré dans la Figure 28. Dans cet exemple,

- les facteurs de risque RF_1 , RF_2 et RF_3 affectent le risque R_1 ,
- les facteurs de risque RF_4 , RF_5 affectent le risque R_2 ,
- les facteurs de risque RF_6 , RF_7 , RF_8 affectent le risque R_3 .

La tâche T_1 est affectée :

- par les risques R_1 et R_2 ;
- R_2 est lui-même affecté par le risque R_3 .

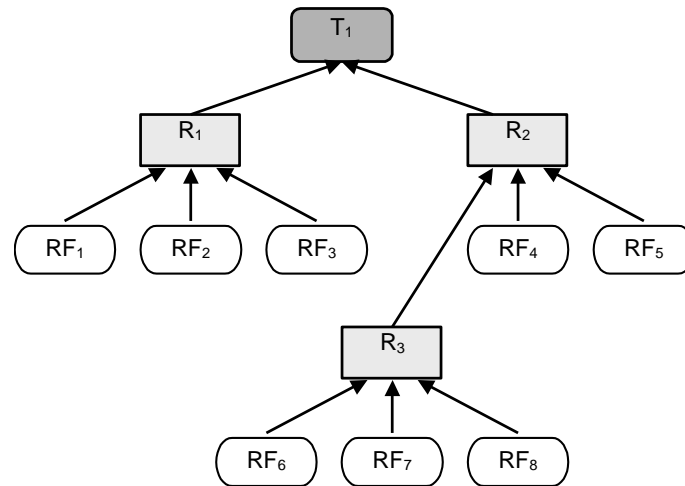


Figure 28. Exemple de l'approche de Carr et Tah (Carr et Tah 2001)

4.2.2.4 Graphe de dépendance

Dans un contexte de gestion de projet dans le domaine du logiciel, Chauveau propose une définition de la notion de dépendance. Il précise en particulier les conditions d'activation d'une dépendance à l'occurrence en disant qu'« *une dépendance n'est effective qu'au moment où le risque qui induit la dépendance se produit* » (Chauveau 2006).

Il propose également trois autres catégories de dépendances :

- les dépendances destructrices : ce type de dépendance implique que lorsque un risque se produit, un ou plusieurs autres risques n'ont plus de raison d'être et disparaissent donc.
- Les dépendances créatrices : ce type de dépendance implique que l'occurrence d'un risque entraîne l'apparition d'un nouveau risque.
- Les dépendances modificatrices : ce sont les dépendances les plus courantes. L'occurrence d'un risque va modifier la probabilité d'apparition ou l'impact d'un autre risque.

Il propose un formalisme à base de graphes orientés pour représenter les dépendances qu'il désigne sous le nom de « graphe de dépendances » (voir exemple dans la Figure 29). Dans ce graphe, les sommets représentent les risques et les arcs représentent les dépendances entre les risques. Un formalisme spécifique à chaque catégorie de dépendance (destructive, créatrice, modificatrice) est adopté pour distinguer le type d'arcs.

Par exemple sur la Figure 29, l'occurrence du risque R_4 va entraîner la disparition du risque R_2 : la survenue du risque R_1 va augmenter la probabilité du risque R_3 et augmenter l'impact des risques R_3 et R_4 .

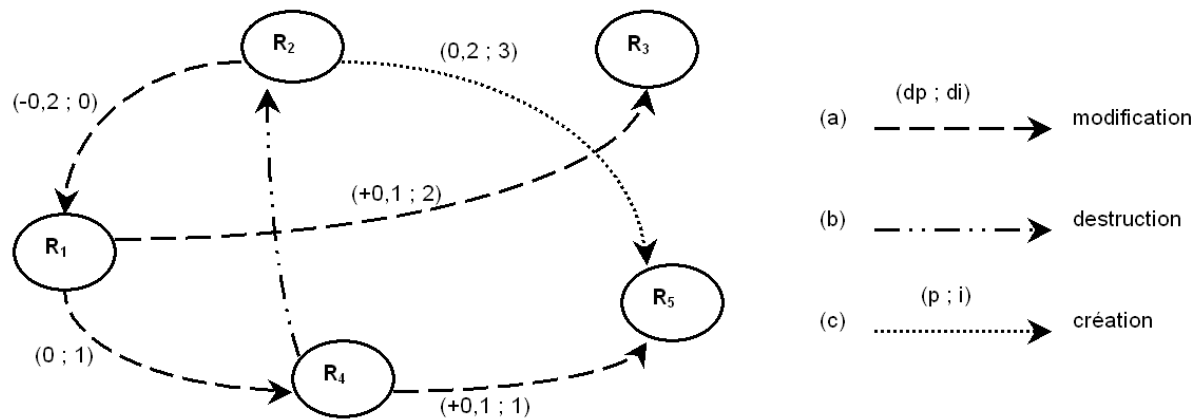


Figure 29. Exemple de dépendance selon (Chauveau 2006)

Les avantages de cette méthode sont :

- la facilité pour représenter les liens entre les événements,
- la possibilité d'exprimer plusieurs types de dépendance,
- la propagation de dépendance est présentée comme un chemin dans le graphe.

Les limites de la méthode de graphe de dépendance sont alors :

- difficulté pour exprimer les dépendances complexes, comme par exemple entre trois événements/ éléments ou plus : l'occurrence de deux risques induit un autre risque.
- Difficulté pour représenter des dépendances dans le cas de nombreux risques et nombreuses dépendances
- Impossible de représenter graphiquement les dépendances de type $n : 1$.

4.2.3 Les matrices : avantages et limites

La matrice est un outil mathématique représenté par un tableau rectangulaire composé de n lignes et p colonnes, n et p pouvant être égaux (c'est le cas des matrices carrées). La matrice peut être utilisée pour représenter un graphe et permettre d'automatiser l'application des calculs plus complexes. Une matrice est alors utilisée comme un outil pour illustrer les dépendances.

4.2.3.1 La méthode Design Structure Matrix (DSM)

La méthode développée par Steward (Steward 1981), sous l'appellation - Design Structure Matrix - permet de lever certaines des limites des graphes.

DSM est un outil intéressant pour présenter les dépendances entre éléments. Il est utilisé pour la modélisation des systèmes dans le but de les décomposer ou de les intégrer. Cette approche préconise de décrire les liens dans une matrice carrée avec les mêmes éléments, présentés dans le

même ordre, dans les lignes et les colonnes. La relation entre les éléments est représentée par une marque « X », ou une valeur qui représente l'intensité de la dépendance. DSM est utilisé très souvent par les techniques « clustering », « partitioning », « tearing ». DSM est utilisé également comme un outil matriciel de représentation d'une architecture pour la conception modulaire, (Ulrich et Eppinger 1995), (Browning, Lockheed, et Worth 2001), (Vidal 2009).

Des travaux existent également dans le domaine de l'analyse des risques projet. (Vidal 2009) propose d'utiliser les techniques DSM pour modéliser les relations de causes à effets entre les risques, dans l'objectif de regrouper les risques en fonction de leur niveau d'interaction potentielle, afin de faciliter la coordination et le traitement des risques.

La Figure 30 illustre la construction de la forme matricielle pour trois configurations possibles de dépendance entre éléments.

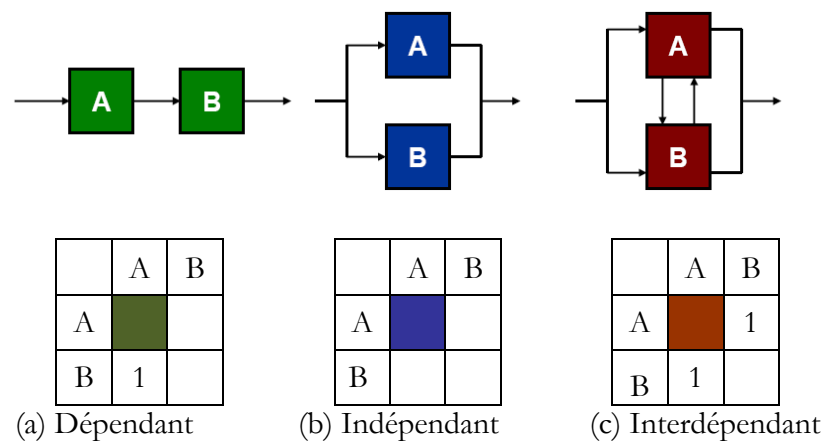


Figure 30. Les types de dépendance entre deux éléments

Le passage à la forme matricielle permet de résoudre les problèmes permanents des méthodes de modélisation graphique, notamment en relation avec la complexité engendrée lorsqu'il existe un grand nombre d'éléments. Les approches matricielles sont quant à elles particulièrement adaptées pour un traitement informatique (manipulation, mémorisation, calculs), même dans des cas comportant un grand nombre d'éléments.

Les avantages de la méthode DSM sont donc :

- un outil compact et pratique facile à implémenter dans un programme de calcul.
- Capacité de présenter les dépendances complexes par les matrices 2 dimensions, 3 dimensions, ..., n dimensions.

Une des limites majeures de la méthode DSM est la difficulté de représentation des dépendances flexibles apportant des modifications sur une ou plusieurs caractéristiques des événements/éléments.

4.2.3.2 Les matrices de corrélation d'incertitude – Simulation Monte Carlo

La méthode de simulation Monte Carlo organise des tirages aléatoires de variables représentatives de phénomènes réels. De nombreuses applications de la méthode Monte Carlo existent, que ce soit dans le domaine de prospection pétrolière, de l'énergie, du projet pour par exemple l'évaluation de la rentabilité de projets de développement de nouveau produit (Gourc, Bougaret, et Burtin 2005).

Cette approche est principalement utilisée dans le domaine de risque-incertitude (cf. chapitre 2).

De nombreux travaux, comme par exemple ceux déjà anciens de (Woolery et Crandall 1983), utilisent la méthode Monte Carlo pour manipuler l'incertitude qui pèse sur des variables d'entrée d'un modèle quantitatif. Dans le modèle de Woolery, les variables aléatoires T_{ij} représentent la durée de réalisation d'une tâche d'un projet. L'incertitude, exprimée selon une loi de probabilité, porte sur la distribution possible de durées de réalisation (Woolery & Crandall, 1983) en fonction de facteurs variés, facteurs que l'on ne cherche pas à lister.

La simulation aura pour objet, en s'appuyant sur la méthode de calcul PERT, de déterminer l'incertitude sur une variable de sortie du modèle, comme par exemple la date de fin du projet ou la durée totale de réalisation du projet. A chaque itération du processus de simulation, une valeur unique de chaque variable d'entrée sera générée.

La même approche peut être utilisée sur des estimations de taille de marché, de prix de vente d'un nouveau produit, etc.

Le cas général conduit à considérer les variables comme indépendantes, dans ce cas les variables sont tirées de manière totalement aléatoire. Lorsqu'il existe des dépendances entre ces variables, par exemple, une durée importante de réalisation d'une tâche A_{ij} peut entraîner une durée importante de la durée de la tâche A_{ik} : du fait la présence de conditions météorologiques désastreuses, les durées pour réaliser la construction du bâtiment et l'élévation de l'antenne de notre station météorologique seront toutes deux plus importantes et devront être considérées dans une estimation haute de l'incertitude.

Dans ces cas, un facteur de corrélation entre les variables aléatoires est considéré sous la forme d'un paramètre k ($-1 \leq k \leq 1$). Un facteur de corrélation positif indique que les variables évoluent dans le même sens, alors qu'un facteur négatif indique que si une valeur de la variable est élevée l'autre sera proportionnellement plus faible.

Ce mécanisme permet de rendre plus réaliste le comportement d'un modèle et d'éviter d'étudier des situations non pertinentes (Papadopoulos et Yeung 2001).

4.3 Modélisation des dépendances entre les risques-projet

Nous avons montré au préalable la nécessité et les enjeux associés à l'identification et la formalisation des relations de dépendances entre risques, que ce soit dans le cadre général du management des risques, comme plus spécifiquement pour les risques-projets.

4.3.1 Définition : dépendance entre risques-projet

L'analyse des relations possibles entre risques permet d'identifier plusieurs types de dépendances, selon que l'on s'intéresse aux propriétés structurelles des risques, à la relation au temps, aux éléments calendaires...

La relation de dépendance **D** de l'ensemble des risques identifiés **E_R** vers lui-même porte sur l'existence d'un lien entre un ensemble d'événements **RisquesSource** et un événement particulier désigné par **RisqueCible**.

RisquesSource et RisqueCible sont des sous-ensembles particuliers de l'ensemble des événements associés aux risques identifiés E_R . $RisquesSource \subset E_R$. et $RisqueCible \subset E_R$.

La sémantique portée par la relation **D** exprime la dépendance entre les événements RisquesSource et l'événement RisqueCible .

Dire que RisqueCible est dépendant des éléments RisquesSource indique que la valeur d'une ou plusieurs des caractéristiques de RisqueCible est (sont) influencée(s) par l'état ou certaines caractéristiques, comme la probabilité ou les impacts, des éléments de RisquesSource pris conjointement.

La relation de dépendance sera exprimée par une flèche mettant en relation les éléments de RisquesSource avec l'élément de RisqueCible (Figure 31).

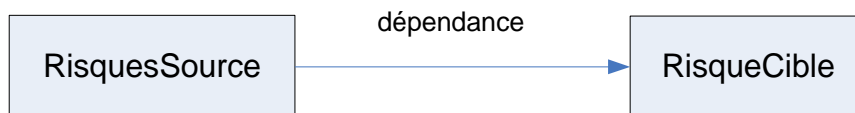


Figure 31. Une dépendance entre risques-projet

Nous détaillons tout d'abord la notion de dépendance unitaire entre risques-projet.

4.3.2 Cas de la dépendance unitaire et ses composants

Une dépendance unitaire est caractérisée par une situation dans laquelle **RisqueCible** est composé d'un seul élément. En d'autres termes, la relation de dépendance unitaire **D** que nous étudions est une relation de type n :1.

L'exemple proposé Figure 32 permet d'illustrer que le risque R3 est dépendant des risques R1, R2 et R5. Dans ce cas, c'est bien la conjonction des risques R1, R2 et R5 qui implique une modification de l'état et/ou des caractéristiques du risque R3.

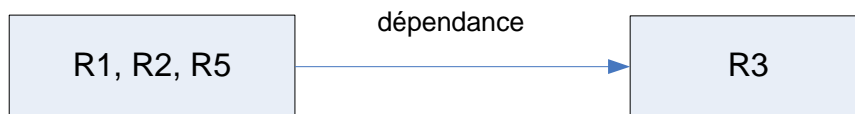


Figure 32. Exemple de dépendance unitaire

Une dépendance unitaire entre RisquesSource et RisqueCible est caractérisée par :

- les éléments source (RisquesSource) qui sont à l'origine de l'activation de la dépendance,
- l'élément cible (RisqueCible), qui est influencé par la dépendance,
- le type de dépendance, qui exprime la nature de la dépendance.

Il en découle alors plusieurs variantes qui diffèrent par :

- Les conditions d'activation de la dépendance : sous quelles conditions la dépendance est activée ou mise en œuvre ;
- L'influence de la dépendance sur RisqueCible : quelle(s) caractéristique(s) de RisqueCible est (sont) modifiée(s) par la dépendance.

4.3.2.1 Conditions d'activation d'une dépendance unitaire

Une dépendance peut être activée par :

- l'occurrence de RisquesSource, cela implique que tous les événements identifiés dans RisquesSource surviennent au cours du scénario étudié,
- la non-occurrence de RisquesSource, c'est le cas où aucun des éléments présents dans RisquesSource ne survient,
- la modification de la probabilité de RisquesSource, c'est le changement de la valeur de probabilité de l'ensemble RisqueSource qui entraîne l'activation de la dépendance. Il suffit pour cela qu'au moins un des éléments composant RisqueSource voit sa probabilité évoluer. La probabilité de RisqueSource peut évoluer car certains risques de

RisquesSource peuvent être eux-mêmes cible d'autres risques. Des seuils de modification peuvent alors être définis comme condition d'activation.

4.3.2.2 Conséquences de l'activation d'une dépendance unitaire sur RisqueCible

L'activation d'une dépendance a pour objectif de représenter la modification de certaines caractéristiques de RisqueCible. Les caractéristiques impactées sont de deux types, elles concernent :

- la probabilité, on parle alors de probabilité modifiée de RisqueCible ($PM_{\text{RisqueCible}}$) avec $0\% \leq PM_{\text{RisqueCible}} \leq 100\%$, un facteur multiplicatif F_p peut être appliqué à la probabilité initiale du RisqueCible ($PI_{\text{RisqueCible}}$). $PM_{\text{RisqueCible}} = F_p * PI_{\text{RisqueCible}}$
- les impacts en cas de survenue, on parle alors d'impacts modifiés. Il existe deux sortes d'impacts modifiés : Impact Délai Modifié ($IDM_{\text{RisqueCible}}$) et Impact Coût Modifié ($ICM_{\text{RisqueCible}}$). Les valeurs associées aux impacts modifiés ($IDM_{\text{RisqueCible}}$ et $ICM_{\text{RisqueCible}}$) sont fournies par l'expert et saisies dans le modèle lors de son paramétrage.

Deux cas particuliers de modification de la probabilité de RisqueCible correspondent aux situations où l'activation d'une dépendance entraîne :

- une certitude sur l'occurrence de RisqueCible ($PM_{\text{RisqueCible}} = 100\%$), RisquesSource et RisqueCible seront tous deux occurents dans un même scénario,
- une certitude sur la non-occurrence de RisqueCible ($PM_{\text{RisqueCible}} = 0\%$), RisquesSource et RisqueCible ne peuvent pas être occurents conjointement dans un même scénario. Dans un scénario donné, on pourra rencontrer de manière exclusive soit les éléments de RisquesSource, soit les éléments de RisqueCible, soit aucun de ces deux éléments.
- Dans ce dernier cas, l'identification et la caractérisation des impacts modifiés est inutile.

4.3.2.3 Synthèse des types de dépendance élémentaire

Une dépendance élémentaire **D** est donc définie par :

- son type, désigné dans le tableau ci-dessous par D1 à D9,
- les éléments RisquesSource,
- l'élément RisqueCible,
- les paramètres caractérisant la relation ($PM_{\text{RisqueCible}}$, $IDM_{\text{RisqueCible}}$, $ICM_{\text{RisqueCible}}$, valeur et type de seuil, F_p) devant être précisés au moment du renseignement du modèle.

Le Tableau 13 présente une synthèse des dépendances élémentaires étudiées, ainsi que les paramètres caractéristiques.

Condition d'activation de la dépendance	Situations possibles pour RisqueCible		
	Occurrence	Non occurrence	Modification de la probabilité $0% < PM_{\text{RisqueCible}} < 100\%$
Occurrence de RisquesSource	<i>D1.</i> $PM_{\text{RisqueCible}} = 100\%$ IDM _{RisqueCible} , ICM _{RisqueCible} (à préciser)	<i>D2.</i> $PM_{\text{RisqueCible}} = 0\%$ IDM _{RisqueCible} , ICM _{RisqueCible} (Non applicable)	<i>D3.</i> $PM_{\text{RisqueCible}} = F_p * PI_{\text{RisqueCible}}$ (F_p à préciser) IDM _{RisqueCible} , ICM _{RisqueCible} (à préciser)
Non-occurrence de RisquesSource	<i>D4.</i> $PM_{\text{RisqueCible}} = 100\%$ IDM _{RisqueCible} , ICM _{RisqueCible} (à préciser)	<i>D5.</i> $PM_{\text{RisqueCible}} = 0\%$ IDM _{RisqueCible} , ICM _{RisqueCible} (Non applicable)	<i>D6.</i> $PM_{\text{RisqueCible}} = F_p * PI_{\text{RisqueCible}}$ (F_p à préciser) IDM _{RisqueCible} , ICM _{RisqueCible} (à préciser)
Modification de probabilité de RisquesSource (Seuil de probabilité de RisquesSource (« > » ou « < ») ou pourcentage de changement)	<i>D7.</i> Valeur et type de seuil (à préciser) $PM_{\text{RisqueCible}} = 100\%$ IDM _{RisqueCible} , ICM _{RisqueCible} (à préciser)	<i>D8.</i> Valeur et type de seuil (à préciser) $PM_{\text{RisqueCible}} = 0\%$ IDM _{RisqueCible} , ICM _{RisqueCible} (Non applicable)	<i>D9.</i> Valeur et type de seuil (à préciser) $PM_{\text{RisqueCible}} = F_p * PI_{\text{RisqueCible}}$ (F_p à préciser) IDM _{RisqueCible} , ICM _{RisqueCible} (à préciser)

Tableau 13. Tableau récapitulatif des dépendances élémentaires entre risques

4.3.3 Description des cas particuliers de dépendance élémentaire

A partir des dépendances élémentaires que nous venons de présenter, il est possible de définir des dépendances particulières issues de situations particulières observées dans la réalité. Nous proposons ainsi l'expression de cinq dépendances :

- dépendance d'exclusion : les éléments de RisquesSource et de RisqueCible ne peuvent être co-occurents les deux à la fois dans un même scénario de projet, mais l'un au moins des deux ensembles doit être co-occurent. La dépendance d'exclusion permet d'exprimer que les RisquesSource et RisqueCible ne peuvent jamais aboutir dans un même scénario de réalisation d'un projet. Cette dépendance composée repose sur les dépendances unitaires D2 et D4. Seuls les paramètres d'impacts modifiés sont à renseigner pour le cas lié à la non occurrence de RisquesSource.
- Dépendance dite d'iso-implication : les éléments de RisquesSource et RisqueCible ne peuvent pas être présents séparément dans un même scénario de projet. Dans le cas de la dépendance d'iso-implications, si les éléments de RisquesSource aboutissent, alors RisqueCible doit aboutir. De même, si RisquesSource n'existe pas alors RisqueCible ne peut exister. Cette dépendance composée est exprimée par les dépendances unitaires D1 et D5.
- Dépendance de disparition : l'occurrence des éléments de RisquesSource entraîne l'impossibilité d'occurrence de RisqueCible, alors que leur non occurrence laisse une certaine liberté d'occurrence de RisqueCible, la probabilité de l'occurrence de RisqueCible peut être ajustée ou non par rapport à sa probabilité initiale. La dépendance disparition

permet de représenter les situations où l'occurrence de RisquesSource est incompatible avec l'occurrence de RisqueCible, alors que la non occurrence de RisquesSource n'implique pas de contrainte forte sur la présence ou non de RisqueCible. Cette dépendance est modélisée grâce aux dépendances élémentaires D2 et D6. Les paramètres d'impacts modifiés et le facteur de changement de probabilité d'occurrence de RisqueCible sont à renseigner pour définir cette dépendance composée dans le cas lié à la non occurrence de RisquesSource.

- Dépendance d'implication : l'occurrence des éléments de RisquesSource entraîne l'occurrence de RisqueCible, alors que leur non occurrence laisse une certaine liberté d'occurrence de RisqueCible, la probabilité de l'occurrence de RisqueCible peut être ajustée ou non par rapport à sa probabilité initiale.
- Dépendance flexible : entraîne une modification de la probabilité de RisqueCible en cas d'occurrence de Risque Source.

Dépendance composée	Dépendances unitaires	Paramètres à préciser
Exclusion	D2 & D4	$IDM_{\text{RisqueCible}}$, $ICM_{\text{RisqueCible}}$ (dépendance D4)
Disparition	D2 & D6	F_p (dépendance D6) $IDM_{\text{RisqueCible}}$, $ICM_{\text{RisqueCible}}$ (dépendance D6)
Implication	D1	$IDM_{\text{RisqueCible}}$, $ICM_{\text{RisqueCible}}$ (dépendance D1)
Iso-implication	D1 & D5	$IDM_{\text{RisqueCible}}$, $ICM_{\text{RisqueCible}}$ (dépendance D1)
Flexible	D3	F_p (dépendance D3) $IDM_{\text{RisqueCible}}$, $ICM_{\text{RisqueCible}}$ (dépendance D3)

Tableau 14. Expression de dépendances particulières et paramètres associés

4.3.4 Applicabilité d'une dépendance

Outre les conditions d'activation à respecter, décrites précédemment, la prise en compte de l'effet d'une dépendance dans un scénario de projet doit vérifier et respecter quelques conditions. Notamment, les périodes d'occurrence des éléments **RisquesSource** doivent présenter une antériorité temporelle par rapport à la période d'occurrence de **RisqueCible**.

Dans ce travail, nous considérons chaque tâche de manière élémentaire, sans chercher à décomposer le temps entre le début et la fin de la réalisation de la tâche.

Soit un risque R_p , dont la période d'occurrence est décrite par les tâches T_p , ($t=1\dots T$). Chaque tâche T_t est caractérisée par une date de début t_{dt} et une date de fin t_{ft} .

Nous proposons de caractériser la période d'occurrence du risque R_i par l'espace temporel E_i borné par une date de début de période E_{di} et par une date de fin de période E_{fi} .

$$E_{di} = \min(t_{dt}), (t=1\dots T)$$

$$E_{fi} = \max(t_{fi}), (t=1 \dots T)$$

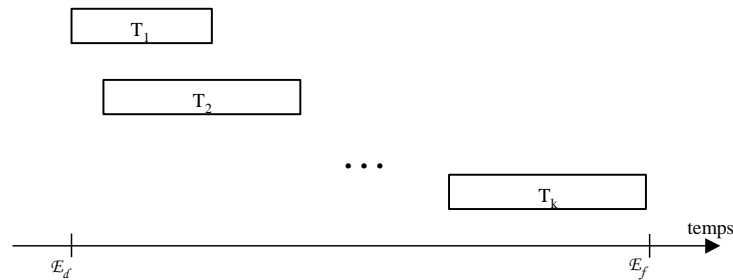


Figure 33. Espace temporel d'occurrence potentielle d'un risque

La période d'occurrence d'un ensemble de risques E_R est caractérisée par un espace temporel \mathcal{E} borné par une date de début de période \mathcal{E}_d et une date de fin de période \mathcal{E}_f .

$$E_d = \min(t_{d1})$$

$$E_f = \max(t_{f1})$$

Nous désignerons donc par \mathcal{E} la période d'occurrence potentielle de l'ensemble RisquesSource.

Désignons par \mathcal{E}_{cible} l'espace temporel relatif à la période d'occurrence de RisqueCible bornée par \mathcal{E}_{dcible} et \mathcal{E}_{fcible} .

Pour un scénario donné, les espaces \mathcal{E} et \mathcal{E}_{cible} doivent respecter un certain nombre de conditions afin que les effets de la dépendance puissent être applicables :

$$E_{dcible} \leq E_f$$



Pour illustrer cela, plusieurs configurations sont illustrées dans la Figure 34.

Figure 34. Espaces temporels d'une dépendance

4.3.5 Incohérences entre les dépendances

Nous avons formulé précédemment l'hypothèse d'une relation de dépendance qui peut mettre en relation plusieurs éléments RisquesSource vers un seul élément RisqueCible. Pour autant, l'expression des relations de dépendance peut conduire à décrire plusieurs relations différentes pointant vers le même élément RisqueCible.

Sur une période de temps donnée, correspondant à la période d'occurrence de plusieurs risques, il est possible que tout ou partie de ces risques ait une relation de dépendance vers un même « autre » risque (RisqueCible). Etant donné que la discrétisation à laquelle nous nous intéressons n'est pas plus fine que la période considérée, l'ordre d'aboutissement de cet ensemble de RisquesSources n'est ici pas pris en compte.

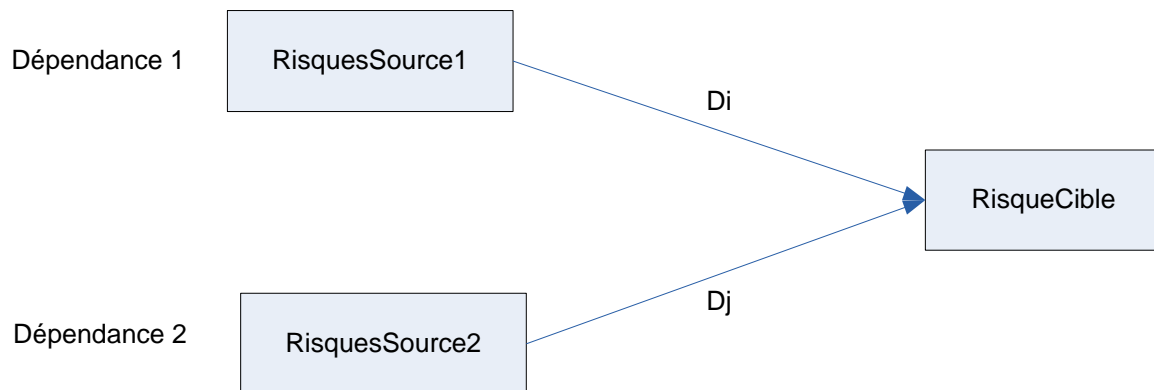


Figure 35. Exemple de deux dépendances avec un même RisqueCible

S'il existe deux dépendances, sur une même période, pour un même risque-cible, il est alors différents cas sont alors possibles. Pour un exemple simple de deux Risques source :

Relation entre Sources	Type de dépendance	Relation entre Dépendances
RisquesSource1 est un sous-ensemble de RisquesSource2 ou inverse	Prend le type de la dépendance de RisquesSource2 qui englobe RisquesSource1	Dépendance activée vers RisqueCible est la dépendance qui a RisquesSource le plus englobant
RisquesSource1 n'est pas un sous-ensemble de RisquesSource2 et réciproquement	Indifférents	Nécessité de définir des règles pour lever les ambiguïtés

Tableau 15. Relation entre les dépendances même Risque-Cible

4.4 Conclusion

La réalité de la gestion du risque-projet montre que les risques évoluent au cours d'un projet. Certains événements peuvent avoir des conséquences modifiant le projet et modifiant les risques à venir dans le projet. Des risques induisent donc des modifications sur d'autres risques : ils peuvent donc être dépendants les uns des autres.

Il est alors possible de définir que des ensembles de risques dit « RisqueSources » peuvent ainsi en cas d'occurrence apporter des modifications sur des ensembles de risques dit « RisqueCible ».

Un risque ne peut cependant pas modifier les caractéristiques d'un autre risque si la période d'occurrence de celui-ci est déjà passée. La période d'occurrence est donc une condition de validité des dépendances.

De même que si la composition des ensembles cibles et sources est importante, l'occurrence de plusieurs risques sources impactant un même risque cible peut présenter un ensemble de combinaisons dont certaines seront difficilement modélisables.

Ce chapitre a donc consisté à proposer une modélisation de certains mécanismes de dépendance élémentaire. Nous avons mis en avant certaines conditions d'applicabilité des dépendances et relevé certaines des possibles incohérences.

CHAPITRE 5 : APPLICATION DE L'APPROCHE PRORISK A LA PLANIFICATION D'UNE ETUDE CLINIQUE

5.1 Introduction du chapitre

Dans la première partie de ce chapitre, nous présentons la plateforme ProRisk, conçue et développée pour valider les propositions effectuées dans les chapitres précédents. Nous présentons les fonctionnalités majeures de ProRisk, ainsi que le cadre dans lequel cette plateforme peut être utilisée. Aujourd'hui, il n'existe pas dans ProRisk de module capable d'analyser automatiquement les résultats produits par le module de calcul, toutefois nous proposons un processus standard pour mener l'analyse des données.

Ensuite, nous présentons un cas d'étude issu du secteur du développement pharmaceutique, il s'agit d'un projet relatif à la réalisation d'une étude clinique d'un projet de développement de nouveau médicament. Nous décrivons les tâches de ce projet avec leurs caractéristiques, ainsi que les risques et stratégies de traitement identifiés

L'application de ProRisk sur ce cas d'étude permet d'illustrer les informations obtenues et fournies au décideur. Dans cette partie, nous proposons également un processus d'analyse des résultats pour aider au choix du scénario de traitement des risques le plus pertinent.

5.2 Plateforme ProRisk

Afin de valider une partie de nos propositions, présentées dans les chapitres précédents, nous avons conçu et développé un démonstrateur logiciel désigné sous le nom ProRisk. Cet outil permet de décrire un projet, ses tâches avec leurs caractéristiques (durée, coût, liens de précedence) et les risques possibles avec leurs caractéristiques (probabilité d'occurrence, impacts initiaux et dépendances). A partir de ces données, ProRisk propose d'identifier l'ensemble des scénarios de projets possibles et d'en calculer les caractéristiques principales afin d'en permettre leur comparaison.

5.2.1 Cadre et objectif

La plateforme proposée s'appuie sur des données issues du processus de planification délai (par l'équipe de management) et du processus de management des risques (par l'équipe de management des risques projet). Elle a pour objectif de fournir au décideur (chef de projet, gestionnaire des risques) les informations nécessaires pour décider de la stratégie de traitement à appliquer à un projet dans le but :

- d'augmenter les chances de respecter les engagements de délai ou de coût dans une relation contractuelle,
- d'optimiser l'utilisation des moyens pour réduire le niveau de risque d'un projet et de réduire les impacts de la survenue des risques.

Nous proposons Figure 36 une description du contexte dans lequel s'inscrit l'utilisation de notre plateforme.

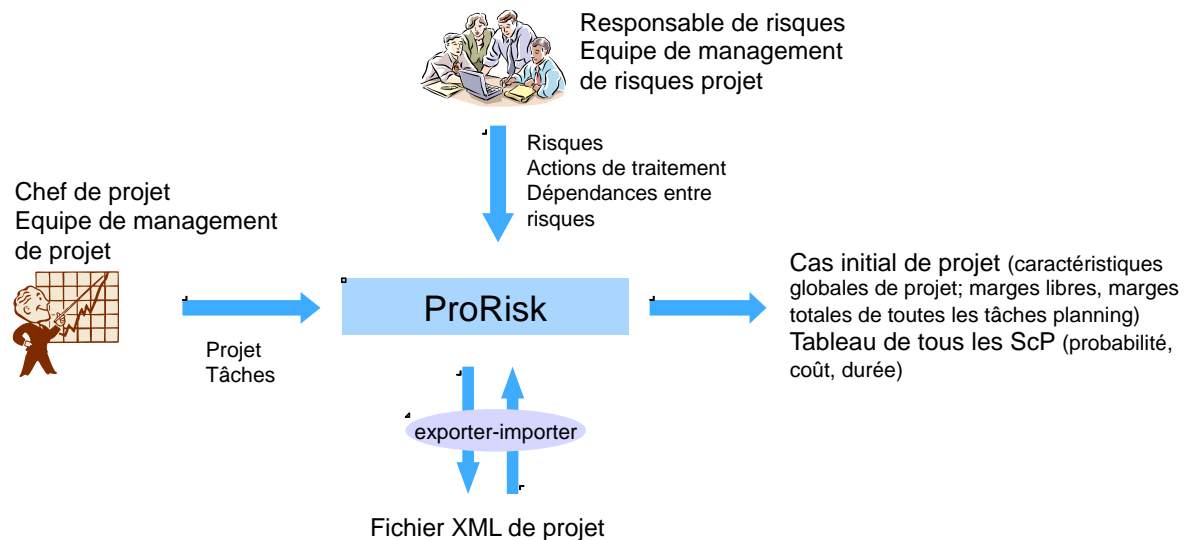


Figure 36. Contexte d'utilisation de ProRisk

La figure précédente fait ressortir le fait que la description du projet et des risques constituent les données d'entrée de ProRisk. Le projet est décrit par un ensemble d'informations qui sont :

- le nom du projet,
- les tâches qui le composent en intégrant leur durée, leur coût et les relations de précédence.

La description des risques du projet comprend diverses informations, dont:

- le nom du risque,
- la tâche pendant laquelle il peut survenir,
- la probabilité d'occurrence initiale / réduite / modifiée,

- les impacts initial / réduit/ modifié de type délai et coût,
- les dépendances possibles entre risques,
- les scénarios de traitement applicables.

Sur la base de ces informations, ProRisk calcule les paramètres globaux d'évaluation du projet sans prise en compte des risques. Ces paramètres sont :

- la durée totale,
- les marges (libres et totales) de chaque tâche,
- le coût total.

Ensuite, ProRisk génère l'ensemble des scénarios de projet possibles dans les configurations suivantes :

- avec prise en compte des risques sans appliquer de stratégie de traitement,
- avec prise en compte des risques en appliquant les stratégies de traitement,
- avec ou sans prise en compte des dépendances.

Pour chacun des scénarios générés, les paramètres descriptifs listés ci-dessus sont complétés par la probabilité d'occurrence de projet.

Les données principales générées par ProRisk sont présentées sous la forme de tableau comportant les informations citées précédemment. La mise en forme est faite à partir de logiciel externe (diagramme, courbe...), telle qu'elle peut être observée dans ce chapitre.

Pour sauvegarder/échanger les données d'un projet ou pour créer un nouveau projet depuis un projet existant, ProRisk permet d'exporter/importer les projets sous forme de fichiers XML. La Figure 37 montre un exemple de génération de fichier XML à partir d'un projet concret. Nous pouvons constater que chaque élément de projet correspond à une balise XML dans le fichier XML généré (<projet>...</projet>,<tâche>...</tâche>, etc.). Chaque balise contient des informations sur l'élément (nom, description, durée, coût, etc.).

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
=<project name="ProjetExemple" startDate="01/01/09"
  daysInWeek="5" daysInMonth="20">
  <description>is a project</description>
  =<tasks>
  =<task name="T1" id="ProjetExemple/T1" length="0/5/0.0"
    type="INITIAL">
    =<previous>
      <idRef>ProjetExemple/TacheTraitement1</idRef>
    </previous>
  </task>
```

Figure 37. Un exemple de fichier XML de description d'un projet

5.2.2 Architecture technique générale

La figure suivante (Figure 38) illustre l'architecture technique générale de notre démonstrateur. Il est basé sur un IDE (Integrated Development Environment ou Environnement de développement intégré) **Eclipse** ©.

L'architecture a été conçue de manière à permettre aux différents utilisateurs, par exemple chef de projet et gestionnaire des risques, d'accéder à la plateforme indépendamment du lieu de travail, sans contrainte d'installation d'un applicatif, en local sur le poste de travail utilisé, et indépendamment du système d'exploitation utilisé. Une architecture accessible à partir d'une connexion Internet a donc été retenue.

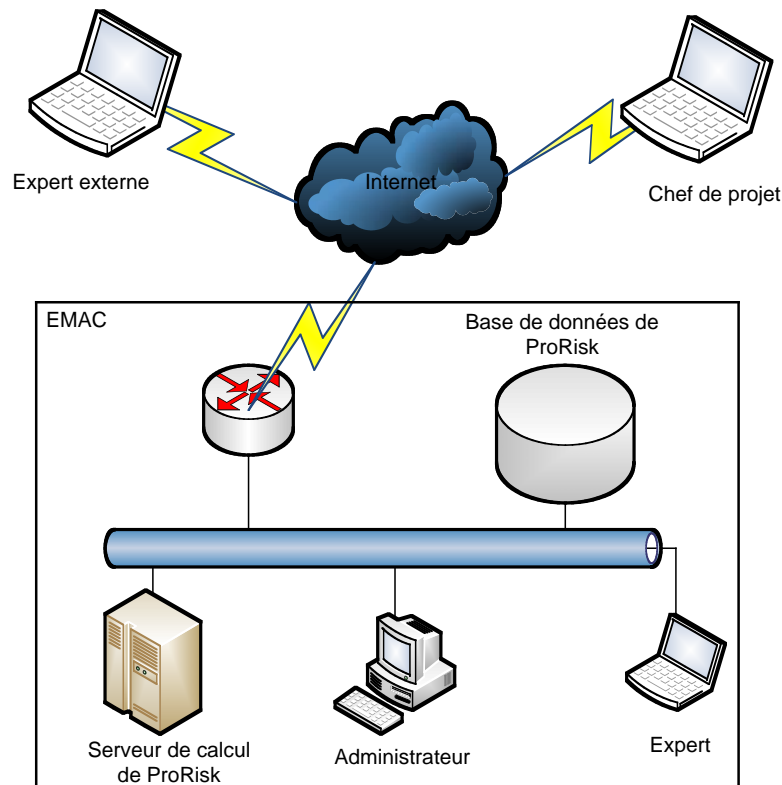


Figure 38. Architecture technique générale de ProRisk

Le noyau de calcul de ProRisk est développé en langage Java. Les données manipulées sont stockées et mémorisées dans une structure de fichier XML sur le serveur de l'application.

Une instance de notre plateforme est installée sur le serveur de l'Ecole des Mines d'Albi-Carmaux (Figure 38) accessible tant en interne sur le réseau local que par une connexion distante via Internet. L'accès à l'application se fait par un navigateur Internet à l'adresse suivante : <http://prorisk.mines-albi.fr>

Le module de génération des scénarios de projet s'appuie sur la technique de la programmation dynamique pour construire petit à petit les scénarios de risques mais aussi les scénarios de projet (l'approche *Bottom-up*), des scénarios les plus simples aux scénarios les plus complexes.

Les caractéristiques des ScP sont calculés et mémorisés dans toutes les étapes (Nguyen et Gourc 2009) et ces données sont utilisées pour calculer les ScP dans les étapes suivantes. Nous utilisons en particulier cette approche pour calculer la probabilité et le coût (Nguyen et Gourc 2008) des scénarios. Nous ne pouvons pas utiliser cette technique pour déterminer les durées des SCP à partir de sous-ScP.

5.2.3 Fonctionnalités de ProRisk

Pour présenter les fonctionnalités principales de ProRisk, nous proposons d'utiliser un diagramme de cas d'utilisation qui permet de représenter les interactions entre l'environnement, les utilisateurs et le système au travers des fonctions mises à disposition.

5.2.3.1 Diagramme de cas d'utilisation

Dans un diagramme de cas d'utilisation, un acteur est un rôle que l'utilisateur joue à l'égard du système. Deux rôles particuliers sont proposés : chef de projet et responsable des risques. Les fonctions associées à ces deux rôles sont présentées dans deux diagrammes de cas d'utilisation, respectivement Figure 39 et Figure 40.

ProRisk est un système multi-utilisateurs, l'accès aux fonctions s'effectue par une connexion avec un identifiant permettant d'identifier le rôle attribué à l'utilisateur et de protéger l'accès aux données manipulées par chaque utilisateur.

Le chef de projet peut créer un nouveau projet, supprimer un projet ou manipuler un projet avec tous ses composants (caractéristiques globales, lot de tâches, tâches, risques...) (Figure 39). Le rôle de responsable de risques permet seulement de consulter le projet, mais il peut déclarer/modifier les risques, les stratégies de traitement ainsi que les dépendances entre risques (Figure 40).

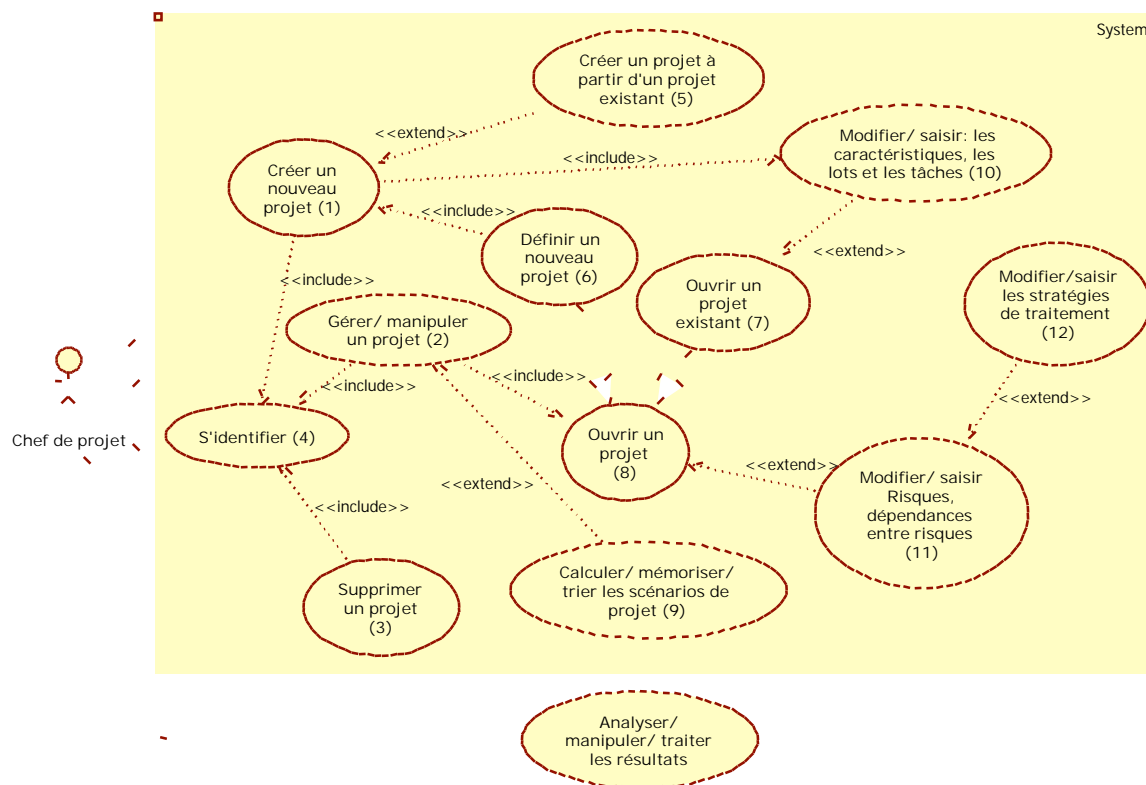


Figure 39. Cas d'utilisation du système ProRisk avec le rôle de Chef de projet

Le responsable des risques contrôle le processus de management des risques. Avec ce rôle, il peut établir les caractéristiques de risques, des stratégies de risques, ainsi que les dépendances entre risques. Il peut également lancer des calculs de scénarios de projet. Enfin, il participe à l'analyse des résultats avec le chef de projet (ou l'équipe de management).

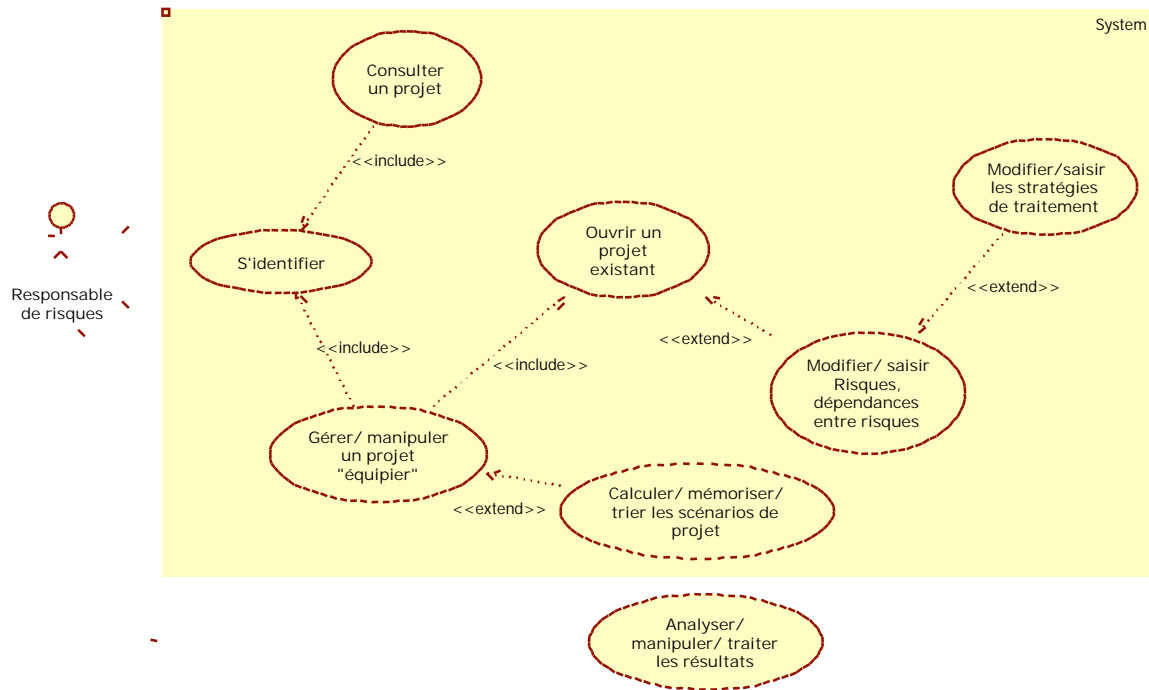


Figure 40. Cas d'utilisation du système ProRisk avec le rôle de responsable de risques

Les différentes fonctions disponibles peuvent être classées dans cinq catégories :

- les fonctions de manipulation de projet,
- les fonctions de description des tâches initiales de projet,
- les fonctions de description des risques, des stratégies de traitement et des dépendances entre risques,
- les fonctions de génération et calcul des scénarios de projet,

Ces différentes fonctions sont décrites dans les parties ci-dessous.

5.2.3.2 Les fonctions de manipulation d'un projet

Ces fonctions permettent de créer un nouveau projet (1), de créer un nouveau projet à partir d'un fichier existant (5), de gérer /manipuler un projet existant (2) ou de supprimer un projet existant (3).

Lorsqu'un projet est ouvert, le chef de projet peut modifier ou saisir les caractéristiques du projet (10), modifier / saisir les risques et dépendances (11) et modifier /saisir les stratégies de traitement (12).

5.2.3.3 Les fonctions de description des tâches initiales de projet

Les fonctions décrites ont pour objet de créer/modifier la structure du projet en lots et tâches (nom, durée, coût), ainsi que les liens de précedence associés.

La Figure 41 présente un exemple de description d'une tâche issu d'une copie d'écran de ProRisk. Ces informations sont modifiables à tout moment par les commandes situées en bas de l'écran (modifier, déplacer, supprimer). Seul le chef de projet a accès à ces fonctions.

chemin de navigation : [home](#) / [NouveauMedicament](#) / [RedactionProtocole](#) /

Détail de la tâche planning NouveauMedicament/RedactionProtocole

RedactionProtocole est une tâche planning

Description Redaction du protocole et du Case Report Form

Durée prévue 120.0 jour(s)

Coût prévu (k€) 100.0

Type de tache: Initial

Categorie de tache: Taux fixe

Liste des tâches précédentes

Actions possibles

Éditer

[Modifier ou déplacer](#)

[Supprimer](#) la tâche planning NouveauMedicament/RedactionProtocole.

Figure 41. Détail d'une tâche planning (copie d'écran de ProRisk)

5.2.3.4 Les fonctions de description des risques, des stratégies de traitement et des dépendances entre risques

Les fonctions de saisie/modification des risques sont accessibles par le chef de projet et par le responsable des risques. Ces deux rôles peuvent accéder à ces fonctions pour faire la modification ou la saisie des risques, des stratégies de traitement et des dépendances entre les risques. La Figure 42 présente l'interface qui permet de créer un nouveau risque avec ses caractéristiques (probabilité initiale, impact coût fixe initial) et d'indiquer la (ou les) période(s) d'occurrence de celui-ci. La saisie de la période d'occurrence se fait par sélection des tâches pendant lesquelles le risque peut survenir.

chemin de navigation : [home](#) / [NouveauMedicament](#) /

Ajouter un risque

(Une fois le risque créé, il est possible de spécifier les impacts initiaux et les stratégies de traitement liés via le lien Éditer)

<input type="text"/>	Nom court (caractères interdits : "/", espace et caractères accentués)
<input type="text"/>	Nom long / Description
<input type="text" value="0"/>	Probabilité initiale [0,1]
<input type="text" value="0"/>	Impact cout fixe de ce risque

Période d'occurrence :

- RedactionProtocole (NouveauMedicament/RedactionProtocole)
- Autorisation (NouveauMedicament/Autorisation)
- CentreP1 (NouveauMedicament/CentreP1)
- CentreP2 (NouveauMedicament/CentreP2)
- CentreP3 (NouveauMedicament/CentreP3)
- RecrutementP1 (NouveauMedicament/RecrutementP1)
- RecrutementP2 (NouveauMedicament/RecrutementP2)
- RecrutementP3 (NouveauMedicament/RecrutementP3)

Figure 42. Ajout d'un risque (copie d'écran de ProRisk)

La Figure 43, ci-dessous, illustre deux exemples de dépendances entre risques, décrites dans les chapitres précédents :

- dépendance D1 du risque R3 vers le risque R4,
- dépendance D2 du risque R3 vers le risque R5.

▣ **Dépendances entre risques** ([version plus détaillée](#)) (+dépendance)

+D1 - dépendance ([détail](#) - [éditer](#) - [supprimer](#))

+R3 - risque source ([détail](#))

+R4 - risque cible ([détail](#)) ([+impact modifié](#) / [+stratégie](#))

+D2 - dépendance ([détail](#) - [éditer](#) - [supprimer](#))

+R3 - risque source ([détail](#))

+R5 - risque cible ([détail](#)) ([+impact modifié](#) / [+stratégie](#))

Figure 43. Exemple de dépendances entre risques

Le responsable de risques peut consulter les tâches pour connaître la période d'occurrence de risque, les impacts délais, les impacts coûts sur les tâches. Mais il ne peut changer les caractéristiques des tâches.

5.2.3.5 La génération des scénarios

A partir des informations fournies (projet, tâches, risques, dépendances), ProRisk génère les scénarios de risque, scénarios de traitement et scénarios de projet possibles.

La Figure 44 présente la structure en modules permettant cette génération et les calculs associés.

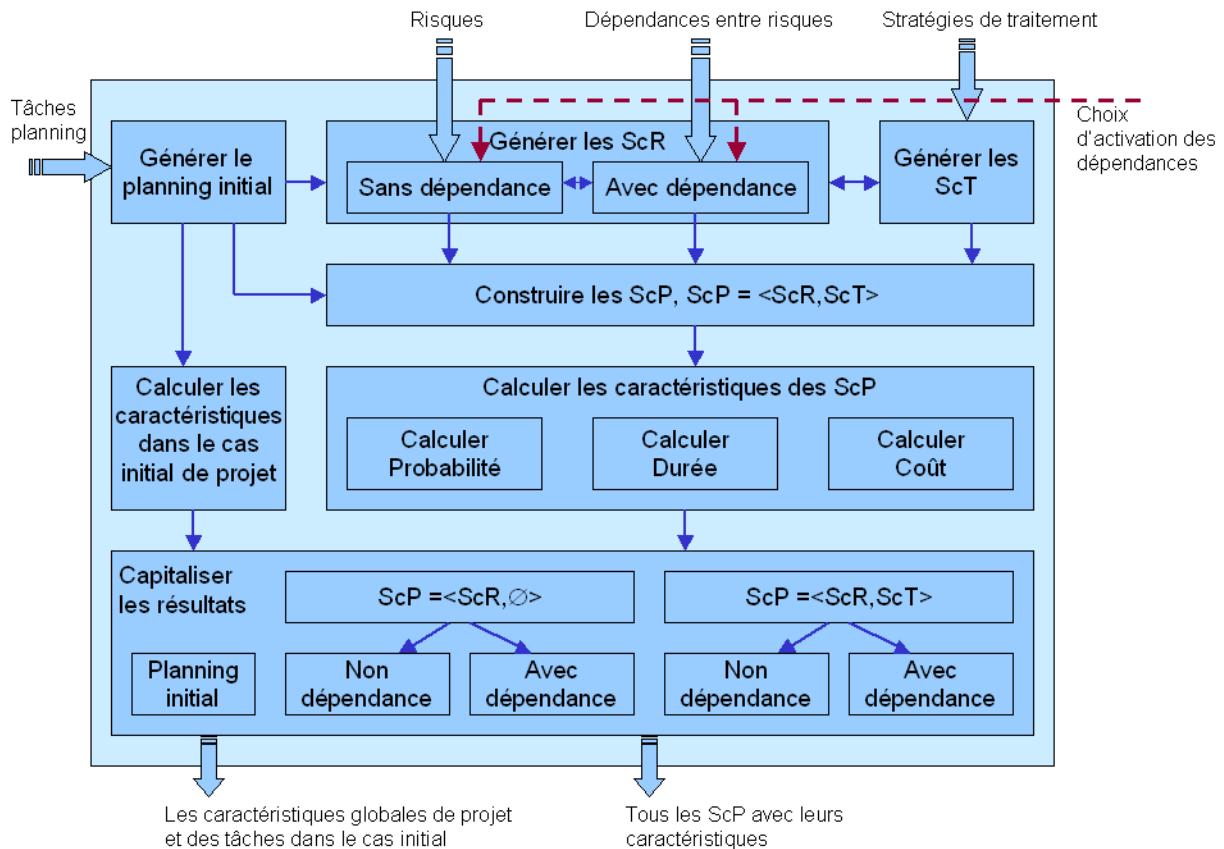


Figure 44. La fonction de génération des scénarios de projet

Cette fonction permet de traiter les données d'entrée permettant d'obtenir les résultats – le cas initial du projet et tous les ScP possibles de projet. Cette fonction est composée des modules :

- de génération du planning initial de projet,
- de calcul de projet dans le cas initial,
- de génération des ScR possibles,
- de génération des ScT possibles,
- de construction des ScP,
- de calcul des caractéristiques (probabilité, coût, durée) des ScP,
- de capitalisation des résultats.

A partir des tâches initiales de projet et leurs caractéristiques, la génération du planning initial de projet permet de déterminer la structure du projet et sa durée initiale. Les marges libre et totale de chaque tâche sont également calculées.

La génération des ScR est effectuée en utilisant les informations des risques identifiés et saisis dans le portefeuille des risques de ce projet. Deux ensembles de ScR sont constitués : l'ensemble des ScR générés sans prendre en compte les dépendances identifiées et l'ensemble des ScR en exploitant les dépendances saisies.

La génération des ScT possibles consiste à déterminer l'ensemble des combinaisons de stratégies de traitement qu'il est possible de mettre en œuvre.

Le résultat de cette fonction est directement utilisé pour la construction des ScP ($ScP = \langle ScR, ScT \rangle$). Cette construction est réalisée par plusieurs itérations. Par exemple, si nous avons un ensemble de scénarios de projet possibles E_{ScP} , la première itération de la fonction de construction des scénarios de projet liste les scénarios possibles avec uniquement le risque R_1 .

$$ES_1 = \begin{cases} \{\emptyset; R_1; (R_1, StT_{11})\} & \text{si } StT_{11} \text{ est corrective} \\ \{\emptyset; R_1; (_, StT_{11}); (R_1, StT_{11})\} & \text{si } StT_{11} \text{ est préventive} \end{cases}$$

La notation $(_, StT_{11})$ indique que la stratégie de traitement (préventive) est mise en place et permet d'éviter la survenue du risque R_1 ou tout du moins que R_1 ne survient pas.

La deuxième itération permet de construire les scénarios en considérant maintenant en plus le risque R_2 . Par exemple, si StT_{11} et StT_{21} sont des stratégies correctives respectivement pour les risques R_1 et R_2 , alors :

$$ES_2 = \left\{ \begin{array}{l} \emptyset; R_1; (R_1, StT_{11}); R_2; R_1 R_2; (R_1, StT_{11}) R_2; \\ (R_2, StT_{21}); R_1 (R_2, StT_{21}); (R_1, StT_{11}) (R_2, StT_{21}) \end{array} \right\}$$

En finalité, ce module permet d'obtenir l'ensemble total des scénarios possibles en considérant toutes les combinaisons possibles de survenue des risques.

$$ES_n = \{ScP_i\} = \{\emptyset; R_1; (R_1, StT_{11}); R_2; R_1 R_2; (R_1, StT_{11}) R_2; \dots\}$$

Le calcul des caractéristiques des ScP est effectué par trois sous-fonctions respectivement associées aux indicateurs de probabilité, de durée et de coût de chaque ScP. Les méthodes de calcul de la probabilité et du coût de chaque ScP ont été présentées dans le chapitre 3. Pour la durée de chaque ScP, ce calcul est réalisé en tenant compte des éventuelles modifications induites au niveau du planning par la mise en place des stratégies de traitement. La méthode PERT est alors utilisée, après avoir adapté le planning initial conformément au scénario étudié. Lorsque plusieurs risques impactent la même tâche et que ces risques se retrouvent dans le même scénario de risque, il est nécessaire de préciser la façon dont ces deux impacts vont être gérés. Nous avons retenu pour cela deux modes, que l'utilisateur pourra choisir selon son besoin. Il s'agit de considérer soit le maximum des deux impacts, soit de faire la somme des deux impacts pour indiquer que les impacts se cumulent sur cette tâche (Nguyen et Gourc 2009).

Enfin, la capitalisation des résultats permet de sauvegarder le cas initial de projet, mais aussi tous les scénarios possibles qui se décomposent en deux parties relatives aux ScP sans ScT et ceux dotés de ScT. Ces deux ensembles peuvent être redécomposés selon le critère de prise en compte ou non des dépendances entre risques.

5.2.3.6 L'analyse des résultats

Pour l'instant, cette fonction n'est pas automatisée et ne fait partie des fonctions supportées par la plateforme ProRisk.

L'objectif de cette fonction est d'aider à analyser les résultats générés par ProRisk pour aider le chef de projet à déterminer :

- les scénarios les plus critiques,
- les stratégies de traitement à privilégier,
- déterminer le niveau de risque résiduel du projet,
- ...

Nous proposons dans la Figure 45 un processus générique pour analyser les résultats. Le chef de projet et son équipe doivent proposer les critères pour analyser/filtrer les ScR, mais aussi les ScT.

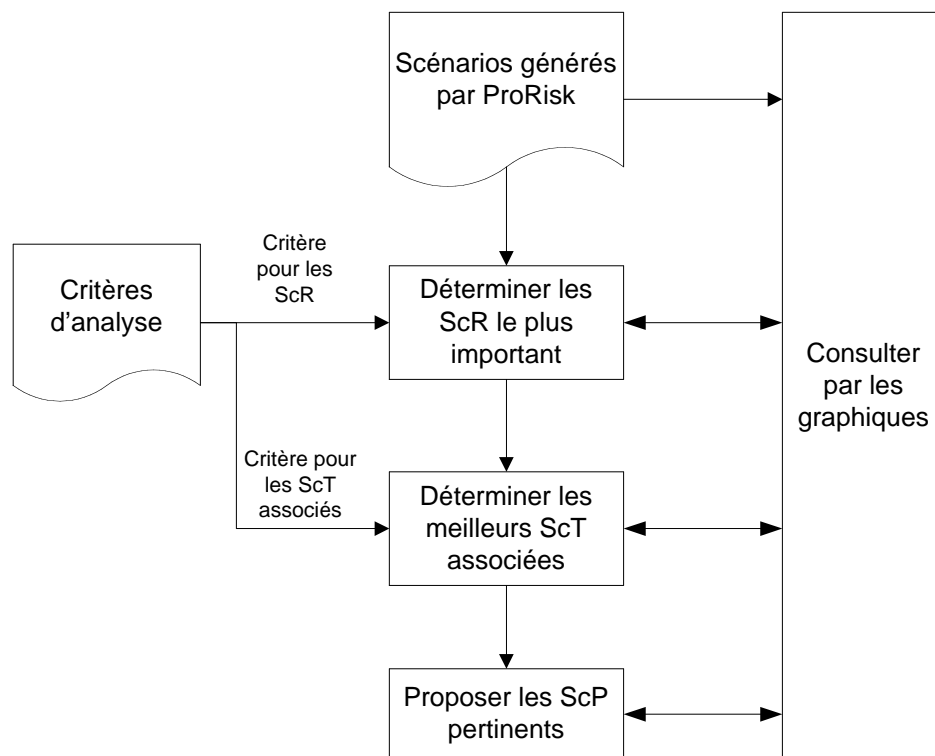


Figure 45. Processus d'analyse des résultats

5.3 Présentation du cas d'étude

Dans cette partie, nous présentons un cas d'étude issu du contexte pharmaceutique. L'industrie pharmaceutique met en œuvre une série d'études visant à prouver la qualité, la sécurité et l'efficacité d'une molécule avant d'obtenir son enregistrement, c'est-à-dire son autorisation d'être commercialisée comme médicament.

5.3.1 Contexte pharmaceutique

Les études sont d'abord réalisées chez l'animal (études précliniques) avant d'être réalisées chez l'homme (études cliniques). Les études précliniques visent à garantir une sécurité et une meilleure connaissance du comportement de la molécule après son administration. Puis, le programme d'études vérifie l'efficacité et la tolérance chez l'homme, au moyen de plusieurs études cliniques.

Le programme d'études cliniques se divise en trois phases, dites phase I, phase II et phase III. Les études cliniques sont mises en place tant en milieu hospitalier qu'en cabinet médical. Des protocoles scientifiques stricts déterminent les modalités d'essais sous la responsabilité d'experts, au cours de ces trois phases principales. Ces études doivent se dérouler selon des Bonnes Pratiques Cliniques (BPC), dans un contexte réglementaire extrêmement surveillé.

La **PHASE I** étudie la tolérance et le métabolisme. Ces essais sont conduits sur très peu de personnes (effectifs réduits) et visent à tester le produit par paliers croissants très progressifs jusqu'à déceler les premiers effets secondaires. La dernière dose testée sans le moindre signe d'intolérance s'appelle la Dose Maximale Tolérée (DMT). Ces essais sont conduits en général en dose unique, puis en doses répétées et le plus souvent chez le volontaire sain. En effet, à cette étape, il est impossible éthiquement de proposer de nouvelles molécules à des malades en substituant à leur traitement habituel une substance encore insuffisamment connue. Cette phase permet donc d'évaluer les grandes lignes du profil de tolérance du produit testé.

La **PHASE II** étudie l'efficacité du produit sur de petites populations. Il est impossible de démontrer un effet thérapeutique sur des volontaires sains, aussi cette seconde étape dite « phase II », se déroule chez un petit nombre de **patients volontaires**. Il s'agit de voir si la nouvelle molécule a l'effet thérapeutique espéré, sans provoquer d'effets secondaires inacceptables, et présente donc un rapport bénéfice / tolérance favorable ou au moins équivalent aux médicaments commercialisés et testés dans les mêmes indications. Les paramètres pharmacocinétiques du produit sont réévalués à cette phase. La dose optimale, c'est-à-dire celle pour laquelle l'effet thérapeutique est le meilleur pour le moins d'effets secondaires, est établie. On l'a vu, il s'agit ici d'une petite population, en général 60 à 400 patients par étude pour ces premiers essais.

La **PHASE III** correspond à un groupe d'essais thérapeutiques étendus. Pratiquement dans les conditions « normales » d'emploi, on vérifie et on confirme le rapport efficacité / tolérance sur un grand groupe de malades. On précise les précautions d'emploi chez les personnes à risques et les interactions avec d'autres médicaments associés. Selon le type de molécule, les essais peuvent couvrir quelques dizaines à plusieurs milliers de patients. Ici, le traitement est supposé testé en grandeur réelle, selon les modalités définitives de dosage et de posologie. C'est pourquoi de nombreux essais couvrant de gros effectifs sont nécessaires pour déceler les effets secondaires et leurs fréquences. L'efficacité est testée à la fois *versus* placebo et *versus* référence, en double aveugle par plusieurs essais. Comme on l'a précisé, les effectifs sont ici très importants, à la fois pour mesurer l'efficacité et déceler les faibles probabilités d'intolérance. A ce stade, la probabilité de succès du projet est généralement très forte (60 à 80 % de succès), car les risques d'arrêt du projet sont majoritairement présents dans les phases préalables. C'est cette phase III qui est aussi la plus coûteuse 60 et 80 % (DiMasi, Grabowski, et Vernon 2004) du coût total du projet compte tenu du nombre d'essais engagés simultanément.

Après avoir franchi avec succès ces trois étapes, la connaissance clinique du médicament permet de réaliser le dossier qui sera présenté aux autorités d'enregistrement pour recevoir l'approbation officielle appelée Autorisation de Mise sur le Marché ou A.M.M. Les autorités en Europe sont l'EMA⁵ et aux Etats Unis la FDA⁶. Elles requièrent le même type d'études, mais selon des protocoles (modalités de contrôle) souvent différents.

Les enjeux du laboratoire en phase III sont ici très clairs : nous sommes sur la dernière ligne droite et le laboratoire doit aller au plus vite sur le marché, de préférence avant les concurrents, sinon une très forte partie des parts de marché sont perdues. En outre, le retard de cette phase fait perdre des mois de commercialisation garantie par la propriété intellectuelle (brevet initial) avant l'arrivée de médicaments génériques.

Comment gérer les risques de retards ?

Pour répondre à cette question, voyons déjà quels sont les différents enjeux de l'étude et comment se déroule-t-elle ?

5.3.2 Déroulement d'une étude clinique de phase III

Globalement les essais se déroulent en quatre étapes (Figure 46) :

- étape 1 : concevoir le protocole de l'essai,
- étape 2 : mise en place de l'essai,
- étape 3 : phase de monitoring,

⁵ European MEdicines Agency

⁶ Food and Drug Administration

- étape 4 : phase d'analyse.

Lors de l'**étape 1**, il s'agit de déterminer la manière dont le produit va être administré, à quelle population exactement, celle-ci doit être parfaitement homogène pour permettre les comparaisons statistiques. Ce sont les critères d'inclusion et d'exclusion des patients définis lors de cette étape qui vont permettre d'obtenir une population homogène. Les traitements concomitants autorisés sont également précisés dans le protocole. Enfin et surtout, la façon dont on va mesurer l'efficacité et la tolérance du produit sont déterminés tant dans les critères choisis, les modalités de mesure que leur « timing ». Ainsi, toutes les analyses biologiques radiologiques et autres moyens d'investigation, de diagnostic ou pronostic sont précisés.

Ces études sont généralement conduites en double aveugle, c'est-à-dire que le produit testé et son comparateur sont masqués de telle sorte que ni le patient ni l'équipe médicale investigatrice n'ont connaissance duquel des deux produits est administré afin de ne pas biaiser les interprétations.

Les critères d'efficacité sont redéfinis, dont un critère principal dit « end point », et des critères secondaires qui donneront des éléments d'informations complémentaires sur les caractéristiques du produit.

Les enjeux de cette étape sont de définir la population de manière très rigoureuse (critère d'inclusion, d'exclusion et traitement autorisé), afin d'éviter tout biais d'interprétation mais en même temps de ne pas trop réduire cette population, car sinon on ne trouve plus suffisamment de patients pour tester le produit. Par ailleurs, les difficultés proviennent aussi du fait que les modalités de traitement et les critères validés de mesures d'efficacité ne sont pas forcément les mêmes dans tous les pays, alors que les grands effectifs de population exigés pour ces études nécessitent un recrutement multicentrique international. Mettre tout le monde d'accord sur l'ensemble des modalités du protocole n'est pas toujours si facile. L'organisation de comités médicaux scientifiques internationaux (« medical advisory board comittee ») est souvent nécessaire.

L'enjeu de l'**étape 2** de mise en place de l'essai est d'installer le produit, le protocole et tous les éléments de mesure du traitement dans tous les hôpitaux ou cabinets médicaux qui ont accepté de participer à l'essai. La phase de mise en place est aussi celle qui permet d'obtenir toutes les autorisations éthiques et administratives, de procéder aux investigations cliniques de l'étude dans tous les hôpitaux qui ont accepté de participer à cet essai. Ces autorisations s'obtiennent au niveau national et régional hospitalier. Cette phase peut être source de retard, du fait de tous les aspects logistiques qui la composent : retard d'arrivée des produits, des cahiers d'observation, des documents sur site, autorisations manquantes, etc.

L'**étape 3**, ou phase de « monitoring », correspond à une phase de recrutement et de traitement des patients proprement dits. Chaque patient choisit d'accepter ou de refuser de rentrer dans l'essai après qu'on lui en ait clairement expliqué toutes les modalités. Ensuite, il est libre à tout moment de quitter l'essai s'il n'en perçoit pas le bénéfice. Compte tenu des effets placebo et surtout nocebo⁷, un nombre de patients quittant l'essai est à déplorer, quelque soit l'efficacité des traitements, on parle de « perdu du vue » si ces patients quittent l'essai sans justifier leur retrait. La phase d'inclusion a une durée souvent aléatoire, car la vitesse de recrutement est un des paramètres les plus difficiles à évaluer à l'avance. Cette phase est jalonnée par deux dates clés ; le premier patient rentré dans l'essai (FPI⁸) et le dernier patient sorti de l'essai (LPO⁹)

L'**étape 4** permet d'analyser les données. Les cahiers d'observations cliniques biologiques et autres suivis diagnostics qui ont été saisis deux fois dans une base de données en aveugle sont collectés en vu d'être analysés. La cohérence des données a été vérifiée par test et a généré des questions (« queries ») auxquelles les praticiens doivent répondre. Lorsque la base de données est parfaitement cohérente, elle est gelée et le double aveugle est alors levé pour permettre la réalisation des tests statistiques permettant de mesurer la tolérance et l'efficacité. Ces tests statistiques font l'objet de rapports cliniques qui devront obligatoirement être joints dans le dossier d'AMM, quel que soit le résultat positif ou négatif. Cette dernière phase est généralement sur le chemin critique et tous les laboratoires s'organisent pour la gérer dans les meilleurs délais. En temps masqué, les centres investigateurs sont clôturés avec reprise des unités thérapeutiques utilisées pour les traitements et lettre d'arrêt aux agences.

Le schéma suivant (Figure 46) résume l'essai :

⁷ L'effet placebo n'est pas toujours bénéfique, il peut être de nature dommageable pour l'individu : c'est l'**effet nocebo** (du latin : « je nuirai »)... Cet effet nocebo peut aussi prendre la forme des effets indésirables d'un vrai médicament. Il est présent car le patient, sachant qu'il prend un médicament, recrée inconsciemment les effets indésirables dont il a pu entendre parler auprès de ses amis, dans les médias, ou simplement lus sur la notice. Ces effets, distincts des effets secondaires réels d'un médicament, sont de nature purement psychologique - même si la distinction entre les deux n'est pas toujours aisée. 20 à 30 % des sujets en parfaite santé observent des effets secondaires tels que [maux de tête](#), [sommolence](#) et nausées¹³. (Wikipedia)

⁸ First Patient In

⁹ Last Patient Out

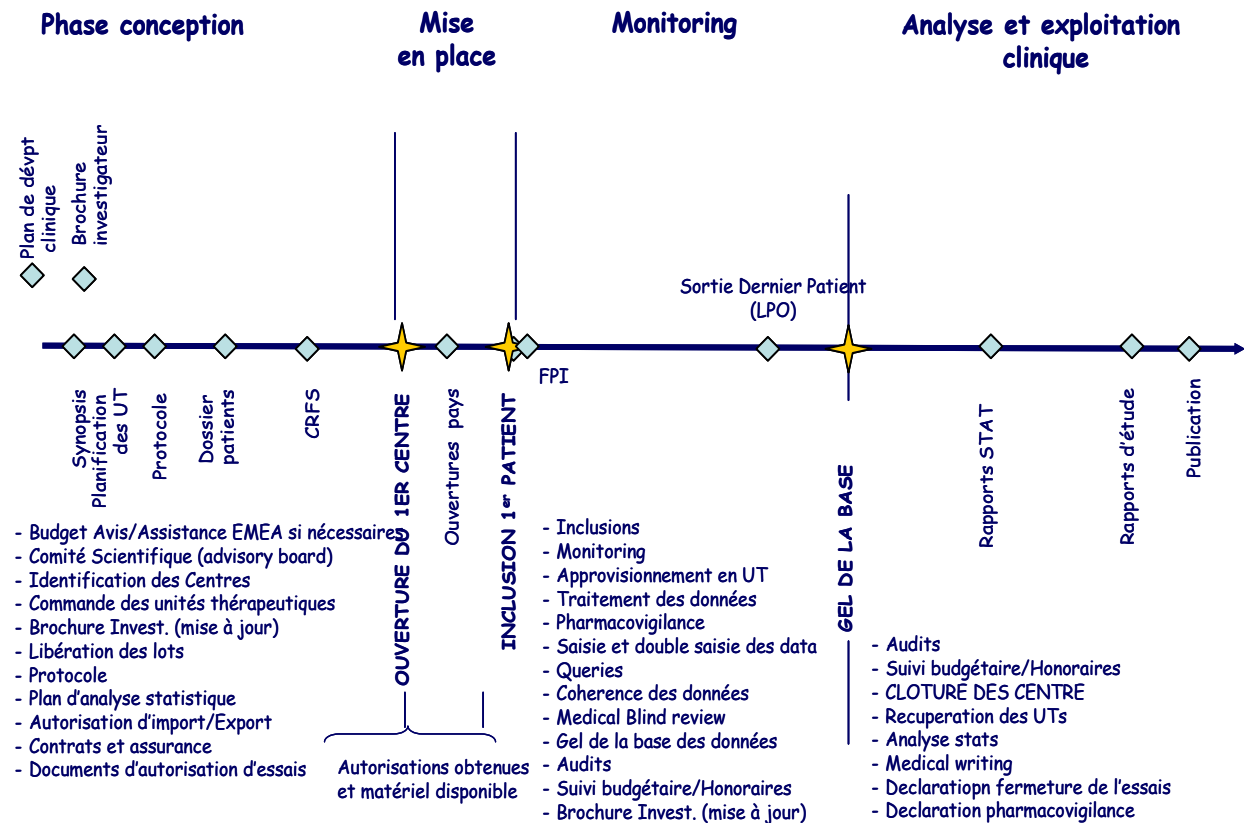


Figure 46. Déroulement d'un essai clinique

5.3.3 Données de l'étude de cas

Nous présentons ici les données relatives à la réalisation d'une étude clinique de phase III pour un médicament pour traiter l'angor¹⁰. Le temps de traitement proposé par le laboratoire est de 6 mois. L'étude vise à recruter quatre cents patients par l'intermédiaire de quarante centres de recrutement répartis sur deux pays. Nous utiliserons ces données pour illustrer et valider notre approche.

5.3.3.1 Les tâches du projet

Cette étude clinique de phase III comporte quatre étapes (cf. partie 5.3.2) : conception, mise en place, monitoring, analyse et exploitation clinique. Ces quatre étapes sont décomposées en tâches considérées comme élémentaires pour la planification du projet d'étude clinique, elles sont présentées dans le Tableau 16. Pour chaque tâche, la durée, le coût et son mode de calcul du coût (taux fixe ou charge fixe) sont décrits. Une tâche est de type « charge fixe » si son coût total et sa durée sont indépendants. Une tâche est de type « taux fixe » si son coût est lié

¹⁰ L'angor (ou angine de poitrine) est une maladie cardiaque résultant d'un manque d'apport d'oxygène au myocarde, le plus souvent secondaire à une diminution du débit sanguin dans une artère coronaire (Wikipedia).

proportionnellement à la durée. Ce dernier mode d'affectation est utile pour calculer le coût dans le cas d'un changement de durée de tâche.

Etape	Tâche	Durée initiale	Coût initial	Mode d'affectation
Conception	Rédaction du protocole	6 mois	11 k€	Taux fixe
	Autorisation administrative	3 mois	18 k€	Charge fixe
Mise en place	Ouverture centre partie 1	1 semaine	21 k€	Charge fixe
	Ouverture centre partie 2	7 semaines	35 k€	Taux fixe
	Ouverture centre partie 3	7 semaines	35 k€	Taux fixe
Monitoring	Recrutement partie 1	6 semaines	30 k€	Charge fixe
	Recrutement partie 2	15 semaines	375 k€	Charge fixe
	Recrutement partie 3	19 semaines	195 k€	Charge fixe
	« Monitoring » (tâche Hamac)		200 k€	Charge fixe
	Saisie (tâche Hamac)		40 k€	Charge fixe
Analyse et exploitation clinique	« Data cleaning »	3 semaines	10 k€	Taux fixe
	Analyse	1 mois	14 k€	Charge fixe

Tableau 16. Les tâches de l'étude clinique de phase III étudiée

La phase de conception de l'étude clinique a pour objet de rédiger le protocole selon lequel l'étude devra être réalisée et d'obtenir les autorisations administratives requises pour réaliser l'étude clinique.

La mise en place des centres est décomposée en trois parties en raison des modes d'affectation différents utilisés pour chacune d'entre elles. La tâche « Ouverture centre partie 1 » est une tâche « charge fixe », qui prépare les dossiers pour ouvrir les centres et réaliser l'ouverture de quelques premiers centres. La tâche « Ouverture centre partie 2 » est de type « taux fixe », son coût réel est estimé en fonction de la durée qui dépend du nombre de centres ouverts.

La phase « Monitoring » est composée de cinq tâches. La tâche « Recrutement » (décomposée en partie 1, partie 2 et partie 3) est jalonnée par l'inclusion du premier patient recruté (FPI : « First Patient In ») et par le recrutement du dernier patient (ou LPI : « Last Patient In »). La tâche « Monitoring » est une tâche Hamac. Sa durée est dépendante des deux jalons FPI et LPO (« Last Patient Out »). Dans le cas initial, sa durée prévisionnelle est de 10 mois. La tâche « Saisie » est aussi une tâche Hamac. Elle est comprise entre les deux jalons CRFI (« Case Report Form In ») et CRFO (« Case Report Form Out »). Sa durée initiale est 315 jours.

Le diagramme GANTT présenté Figure 47 permet de montrer les liens de précédence entre les tâches et de positionner les jalons.

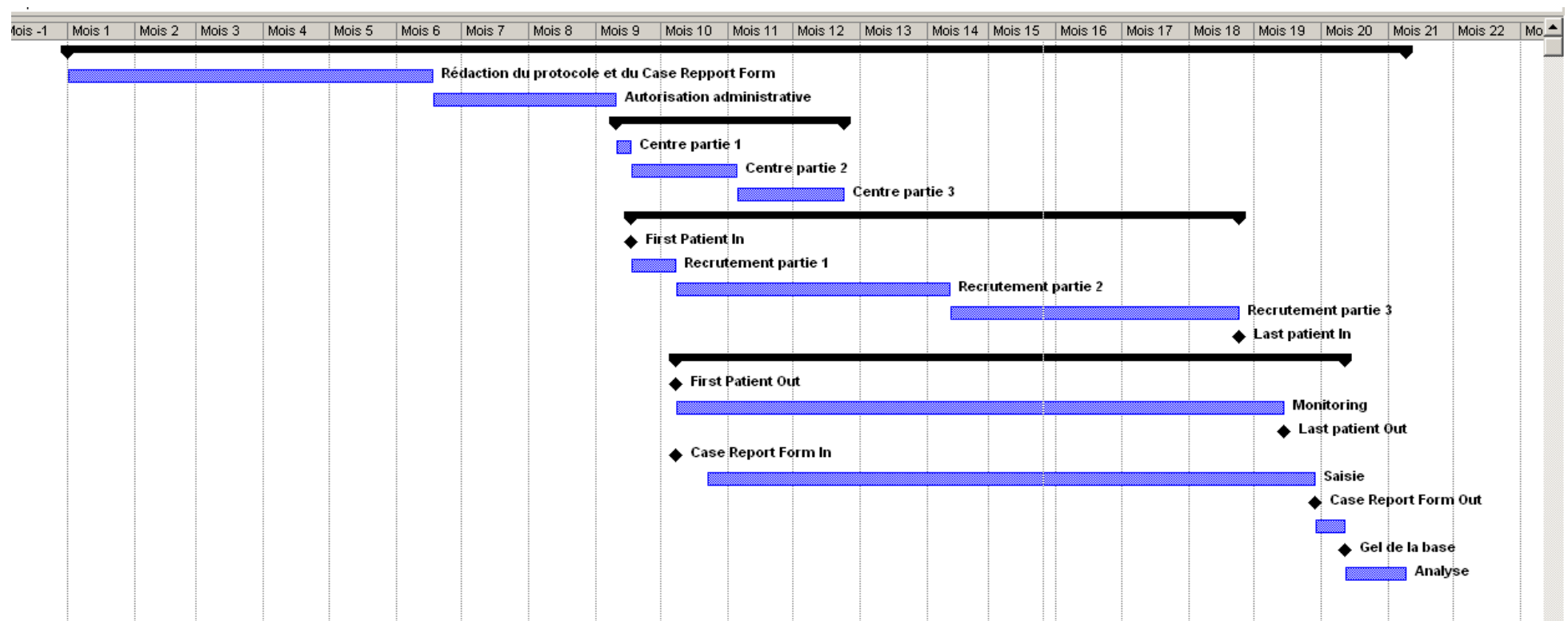


Figure 47. La réalisation d'une étude clinique (planning initial sans risque)

Dans sa planification initiale, le projet est prévu avec une durée de 490 jours et présente un coût total de 984 k€. Cependant, cela implique qu'aucun événement perturbateur ne survienne. Or, dans la réalité, un certain nombre de risques ont été identifiés et sont susceptibles d'impacter cette durée et ce coût prévisionnel. Ils sont présentés dans la partie suivante.

5.3.3.2 Les risques inhérents à la réalisation de cette étude clinique de phase III

Après analyse des causes potentielles de retard et de surcoût de la réalisation de cette étude clinique, les experts ont relevé une liste des risques principaux ainsi que leurs impacts. Ils proposent également des stratégies (préventives mais aussi correctives) pour traiter ces risques :

- R₁ : « *Désaccord pays dans la réalisation du protocole* »
- R₂ : « *Critères d'inclusion trop sélectifs* »
- R₃ : « *Retard de recrutement partie 1* »
- R₄ : « *Retard de recrutement partie 2* »
- R₅ : « *Retard de recrutement partie 3* »
- R₆ : « *Augmentation des sorties d'essai* »
- R₇ : « *Incohérence des saisies* »

Le risque de « *Désaccord pays dans la réalisation du protocole* » intervient lorsque les médecins ne sont pas d'accord avec le protocole de traitement. Il peut survenir durant la période de « Recrutement partie 2 » avec une probabilité initiale de 50 %. Son impact initial prolonge de cinq mois la tâche de « Recrutement partie 2 ». Nous pouvons traiter ce risque par une stratégie préventive « Créer un Steering committee » (StT₁), qui réunit les médecins pour une mise au point sur le protocole avant la validation du protocole .

Le risque « *Critères d'inclusion trop sélectifs* » peut conduire à augmenter la difficulté de trouver des patients répondant aux critères définis dans le protocole. Il peut survenir pendant la période du « Recrutement partie 1 » avec une probabilité initiale de 20 %. Son impact initial prolonge chacune des phases de recrutement. Nous pouvons traiter ce risque par la stratégie corrective « Amendement du protocole » (StT₂).

Le risque de « *Retard de recrutement partie 1* », indique une difficulté rencontrée lors du recrutement des patients dans les premiers centres. Il peut survenir dans la période du « Recrutement partie 1 » avec une probabilité initiale 20 %. Son impact initial est de plus six semaines dans la tâche de recrutement partie 1. Nous pouvons éviter ce risque soit par la stratégie corrective « Incitation pour investigateur » (StT₃₁), soit par une autre stratégie corrective « Ouvrir de nouveaux centres » (StT₃₂).

Le risque de « *Retard de recrutement partie 2* » peut survenir dans la période du « Recrutement partie 2 » avec une probabilité initiale 20 %. Son impact initial est de plus 15 semaines dans la tâche de

recrutement partie 2. Nous pouvons éviter ce risque soit par la stratégie corrective « Incitation pour investigateur » (StT_{41}), soit par une autre stratégie corrective « Ouvrir de nouveaux centres » (StT_{42}).

Le risque de « *Retard de recrutement partie 3* » peut survenir dans la période du « Recrutement partie 3 » avec une probabilité initiale 20 %. Son impact initial est de plus 19 semaines sur la tâche de recrutement partie 3. Nous pouvons éviter ce risque soit par la stratégie corrective « Incitation pour investigateur » (StT_{51}), soit par une autre stratégie corrective « Ouvrir de nouveaux centres » (StT_{52}).

Le risque « *Augmentation des sorties d'essai* » indique que le taux de départ de patients avant la fin de l'essai touche le seuil de 20 % (« drop out »). Il peut survenir dans la période du « Monitoring » avec une probabilité initiale 20 %. Son impact initial est de plus 6 semaines dans la tâche de recrutement partie 3. Nous pouvons éviter ce risque soit par la stratégie préventive « Recrutements supplémentaires en partie 2 » (StT_{61}), soit par la stratégie corrective « Recrutements supplémentaires en partie 3 » (StT_{62}).

Le risque « *Incohérence des saisies* » est relatif à l'existence d'incohérences ou d'erreurs introduites lors de la saisie des informations de suivi des patients inclus et suivis dans l'étude. Il peut survenir dans la période de « Saisie » avec une probabilité initiale 80 %. Son impact initial est de plus 3 semaines dans la tâche de Data Cleaning. Nous pouvons éviter ce risque soit par la stratégie préventive « Cleaning en parallèle de la saisie » (StT_{71}), soit par la stratégie corrective « Nettoyage de la base » (StT_{72}).

Différentes dépendances entre les risques ont pu être relevées. Il s'agit de la répercussion de retard pris dans le recrutement de patients. Dès lors qu'un retard est avéré dans l'une des parties du recrutement, la probabilité d'avoir un retard dans les parties suivantes est amplifiée. Ainsi, si un retard survient en partie 1, la probabilité d'en observer un en partie 2 et/ou 3 est accentuée. De même, si un retard est rencontré en partie 2 voire en partie 1 et 2, la probabilité d'occurrence de R5 est augmentée. D'une probabilité initiale de 20 %, R4 et / ou R5 passera à une probabilité modifiée de 50 %.

Le détail de ces éléments est résumé dans les tableaux qui suivent.

Risque	Probabilité	Période	Tâche impactée	Impact initial délai	SéT
R ₁	50%	Recrutement partie 2	Recrutement partie 2 Recrutement partie 1	+ 5 mois + 3 semaines	SéT ₁ - Créer un « Steering Committee »
R ₂	20%	Recrutement partie 1	Recrutement partie 2 Recrutement partie 3	+ 8 semaines + 10 semaines	SéT ₂ – Rédiger un amendement du protocole
R ₃	20%	Recrutement partie 1	Recrutement partie 1	+ 6 semaines	SéT ₃₁ – Incitation pour investigateur SéT ₃₂ – Ouvrir de nouveaux centres
R ₄	20%	Recrutement partie 2	Recrutement partie 2	+ 15 semaines	SéT ₄₁ – Incitation pour investigateur SéT ₄₂ – Ouvrir de nouveaux centres
R ₅	20%	Recrutement partie 3	Recrutement partie 3	+ 19 semaines	SéT ₅₁ – Incitation pour investigateur SéT ₅₂ – Ouvrir de nouveaux centres
R ₆	20%	Monitoring	Recrutement partie 3	+ 6 semaines	SéT ₆₁ – Recrutements supplémentaires en partie 2 SéT ₆₂ – Recrutements supplémentaires en partie 3
R ₇	80%	Saisie	DataCleaning	+ 3 semaines	SéT ₇₁ – Prévoir un nettoyage de la base en parallèle de la saisie SéT ₇₂ – Nettoyer la base après saisie

Tableau 17. Les risques et leurs caractéristiques

StT	Type stratégie	Action/tâche	Type action	Probabilité réduite	Tâche impactée	Impact délai réduit
StT ₁	Préventive	A ₁ - Créer un « steering committee »	Ajouter	5 %		+ 5 mois
StT ₂₁	Corrective	A ₂ - Rédiger un amendement	Ajouter		Recrutement partie 1	+ 2 semaines
					Recrutement partie 2	+ 4 semaines
					Recrutement partie 3	+ 5 semaines
StT ₃₁	Corrective	A ₃₁ - Verser une prime supplémentaire aux investigateurs de 1,5 K€ en plus par patient - Négociation	Ajouter		Recrutement partie 1	+ 3 semaines
StT ₃₂	Corrective	A ₃₂ - Ouvrir de nouveaux centres partie 1	Ajouter			
		A ₃₃ – Recrutements complémentaires partie 1	Ajouter			
StT ₄₁	Corrective	A ₄₁ - Verser une prime supplémentaire aux investigateurs de 1,5 K€ par patient - Négociation	Ajouter		Recrutement partie 2	+7 semaines
StT ₄₂	Corrective	A ₄₂ - Ouvrir de nouveaux centres partie 2	Ajouter			
		A ₄₃ – Recrutements complémentaires partie 2	Ajouter			
StT ₅₁	Corrective	A ₅₁ - Verser une prime supplémentaire aux investigateurs de 1,5 K€ par patient - Négociation	Ajouter		Recrutement partie 3	+ 9 semaines
StT ₅₂	Corrective	A ₅₂ - Ouvrir de nouveaux centres	Ajouter			
		A ₅₃ – Recrutements complémentaires partie 3	Ajouter			
StT ₆₁	Préventive	A ₆₁₁ – Recrutement partie 2 avec 10% de patients en plus	Remplacer	5%		
		A ₆₁₂ – Recrutement partie 3 avec 10% de patients en plus	Remplacer			
StT ₆₂	Corrective	A ₆₂ – Recrutement partie 3 avec 20% de patients en plus	Remplacer			
StT ₇₁	Préventive	A ₇₁ - Cleaning parallèle de la saisie – Saisie et data management	Remplacer	5%		
StT ₇₂	Corrective	A ₇₂ - Nettoyage de la base	Ajouter			

Tableau 18. Les stratégies et actions de traitement

Action/tâche	Prédécesseurs	Successeurs	Durée	Coût fixe (en K€)
A ₁ - Créer un « steering committee »	Début	Autorisation administrative	3 mois	40
A ₂ - Rédiger un amendement	Recrutement partie 1	Last Patient In	1 mois	4
A ₃₁ - Verser une prime supplémentaire aux investigateurs de 1,5 K€ en plus par patient - Négociation	First Patient In	Last Patient In	3 semaines	30
A ₃₂ - Ouvrir de nouveaux centres partie 1	Centre partie 2	Centre partie 3	2 jours	2
A ₃₃ – Recrutements complémentaires partie 1	Ouvrir de nouveaux centres partie 1	Last Patient In	2 semaines	
A ₄₁ - Verser une prime supplémentaire aux investigateurs de 1,5 K€ par patient - Négociation	Début Recrutement Partie 2	Last Patient In	3 semaines	375
A ₄₂ - Ouvrir de nouveaux centres partie 2	Centre partie 3	Recrutements complémentaires partie 2	1 semaine	5
A ₄₃ – Recrutements complémentaires partie 2	Ouvrir de nouveaux centres partie 2	Last Patient In	5 semaines	
A ₅₁ - Verser une prime supplémentaire aux investigateurs de 1,5 K€ par patient - Négociation	Début Recrutement Partie 3	Last Patient In	3 semaines	195
A ₅₂ - Ouvrir de nouveaux centres partie 3	Centre partie 3	Recrutements complémentaires partie 3	1 semaine	5
A ₅₃ – Recrutements complémentaires partie 3	Recrutements complémentaires partie 3	Last Patient In	6 semaines	
A ₆₁₁ - Recrutement partie 2 avec 10% de patients en plus	Centre partie 2 (DD+1s)	Last Patient In	17 semaines	375
A ₆₁₂ - Recrutement partie 3 avec 10% de patients en plus	Centre partie 3 (DD+1s)	Last Patient In	21 semaines	195
A ₆₂ - Recrutement partie 3 avec 20% de patients en plus	Centre partie 3 (DD+1s)	Last Patient In	23 semaines	195
A ₇₁ - Cleaning parallèle de la saisie – Saisie et data management	« Case Report Form In »	« Case Report Form Out »	51 semaines	41
A ₇₂ - Nettoyage de la base	« DataCleaning »	Analyse	1 semaine	2

Tableau 19. Actions de traitement et tâches planning associées

Risque(s) source(s)	Risque(s) cible(s)	Probabilité initiale R_{cible}	Probabilité modifiée R_{cible}
R3	R4	20 %	40 %
R3	R5	20 %	40 %
R4	R5	20 %	40 %
R3 et R4	R5	20 %	40 %

Tableau 20. Les dépendances associées aux risques identifiés.

5.4 Exploitation des résultats

5.4.1 Présentation des résultats bruts

Sur la base des données collectées (projet et risques), la génération des scénarios possibles a conduit à identifier :

- 128 scénarios de risques (2^7) seuls où seuls les impacts initiaux sont pris en compte, que nous noterons $\langle \text{ScR}, \emptyset \rangle$,
- 19 200 scénarios de projet comportant risques et traitements envisageables, que nous noterons $\langle \text{ScR}, \text{ScT} \rangle$.

5.4.1.1 Analyse selon la durée

La planification initiale, sans prise en compte des risques et stratégies de traitement, conduit à proposer un projet d'une durée prévisionnelle de 490 jours et d'un coût prévisionnel de 984 K€.

Nous analyserons successivement les données obtenues lors des simulations sans et avec stratégies de traitement appliquées aux scénarios de risques.

Dans un premier temps, la prise en compte des risques et de leurs impacts potentiels fait apparaître une amplitude de durées possibles de 185 jours, allant de 490 jours à 675 jours. La Figure 48 illustre la distribution en pourcentage de scénarios par tranches de durées de projet. Le pas d'affichage retenu sur l'axe des abscisses (durée du scénario) est de 9 jours. Ainsi, la première barre de l'histogramme exprime qu'il existe 6 % scénarios générés (soit 8 scénarios) dont la durée est comprise entre 490 et 500 jours (500 non compris).

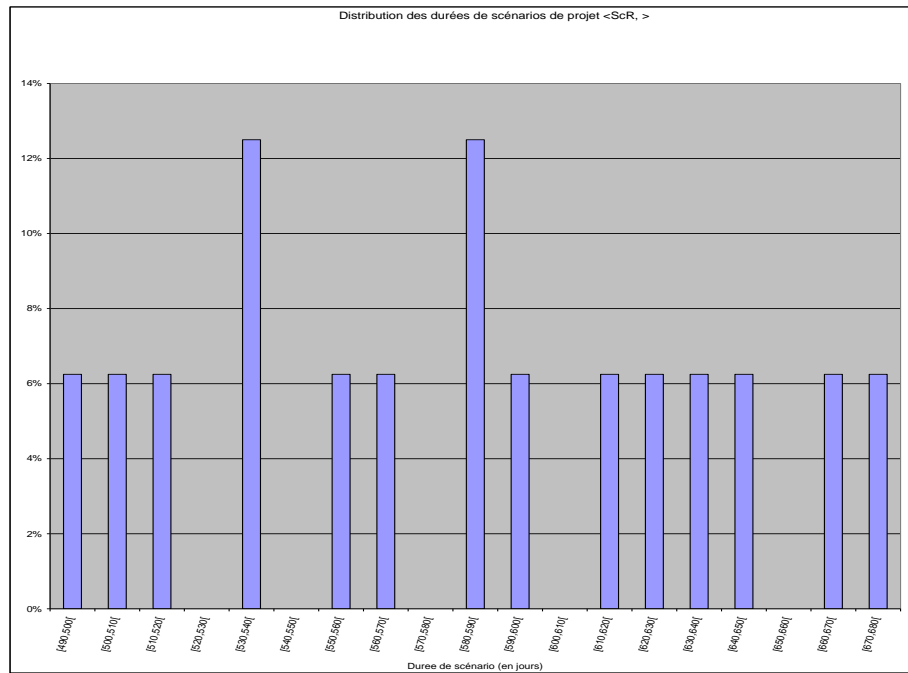


Figure 48. Histogramme des durées de scénarios de projet <ScR, Ø>

La durée maximale est de 675 jours, 16 scénarios conduisent à cette durée, ils ont en commun la survenue des risques R5, R6, R7. La dérive de durée maximale correspond à une augmentation de 47 % de la durée initialement prévue pour le projet.

La génération des scénarios complets, intégrant risques et stratégies de traitement, conduit à une amplitude de durées possibles similaire (235 jours). Cependant, la répartition du nombre de scénarios de projet est alors différente, avec une diminution du nombre en fonction de l'augmentation de la durée (voir figure ci-dessous).

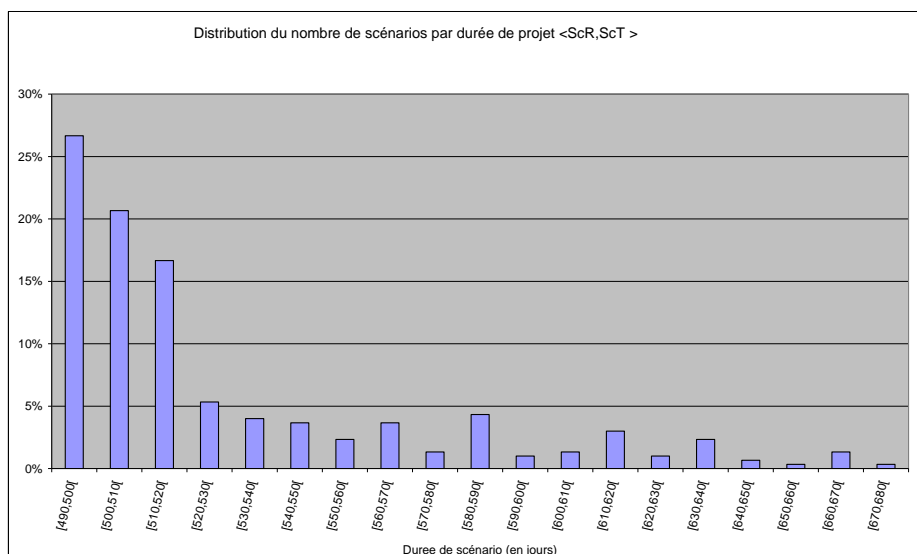


Figure 49. Histogramme des durées de scénarios de projet <ScR, ScT>

5.4.1.2 Analyse selon le coût

L'analyse des coûts des scénarios de projets $\langle \text{ScR}, 0 \rangle$ montre une variation possible de 1 % due aux risques seuls. Dès lors que l'on applique les scénarios de traitements aux scénarios de risques $\langle \text{ScR}, \text{ScT} \rangle$, l'amplitude est plus importante. Elle permet alors d'observer une variation coût de 634 K€ allant de 984 à 1618 K€. Ces résultats sont présentés sur la figure ci-dessous, dans laquelle le pas d'affichage de l'axe des abscisses est de 29 K€. L'amplitude maximale correspond à une dérive de coût de 64 %. Cela revient à dire que le scénario le plus défavorable peut entraîner une augmentation du coût du projet de 64 % par rapport à la prévision initiale.

180 scénarios conduisent à un coût supérieur ou égal à 1600 K€. Ils correspondent à des scénarios comportant au minimum la survenue des risques R3, R4 et R5.

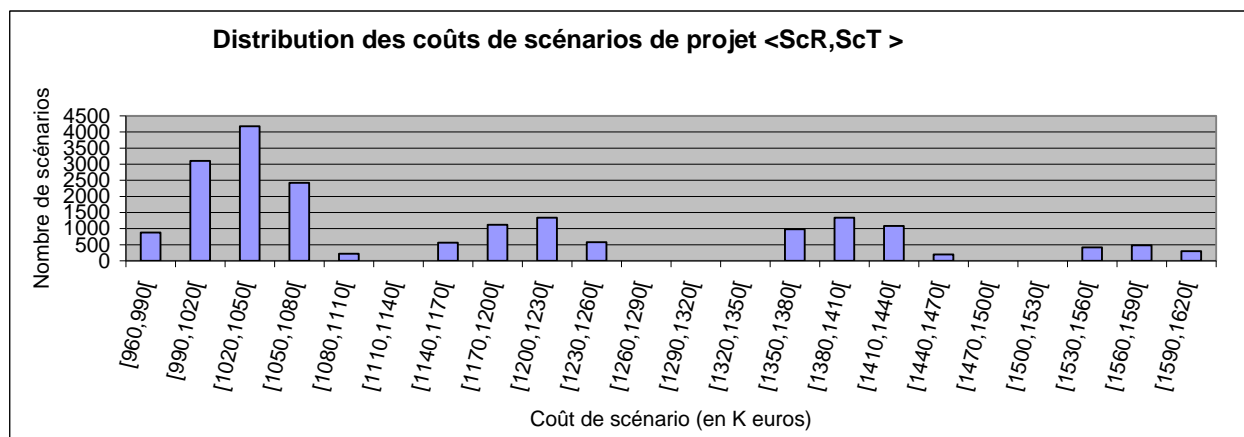


Figure 50. Histogramme des coûts de scénarios de projet $\langle \text{ScR}, \text{ScT} \rangle$

5.4.1.3 Pour les scénarios $\langle \text{ScR}, \emptyset \rangle$, analyse de la probabilité d'atteindre une plage de durée, de coût

La probabilité que le projet se déroule selon une valeur de durée (respectivement de coût) est représentée dans la Figure 51. Cette figure restitue l'information selon une plage de valeurs possibles de durées. Plusieurs scénarios de risques peuvent conduire à une même valeur de durée (respectivement de coût). Une plage de valeur (par exemple $[510, 520[$ pour la durée) peut comporter plusieurs scénarios de risques. Dans ce cas, c'est la probabilité cumulée de l'ensemble de ces scénarios qui va nous intéresser et qui sera représentée dans la figure. La même analyse est également effectuée pour le critère de coût.

Pour le critère de durée, on observe une forte probabilité que la durée du projet soit comprise entre 500 et 510 jours, ce qui traduit une augmentation de 10 à 20 jours. L'analyse de la Figure 51 montre également une forte probabilité que la durée du projet soit comprise entre 590 et 600 jours, soit une augmentation de 100 à 110 jours. Ces deux pics sont observés, que l'on fasse l'analyse sans comme avec prise en compte des dépendances entre les risques.

L'effet de l'introduction de la notion de dépendance (Figure 51.b) entre les différents risques peut s'observer au niveau des probabilités d'occurrence des scénarios. L'amplitude maximale reste

inchangée entre les deux analyses. La prise en compte des dépendances modifie la probabilité de rencontrer ces deux situations, les scénarios entraînant une augmentation de 100 à 110 jours sont plus probables avec prise en compte des dépendances. La probabilité passe de 10 % à 15 %.

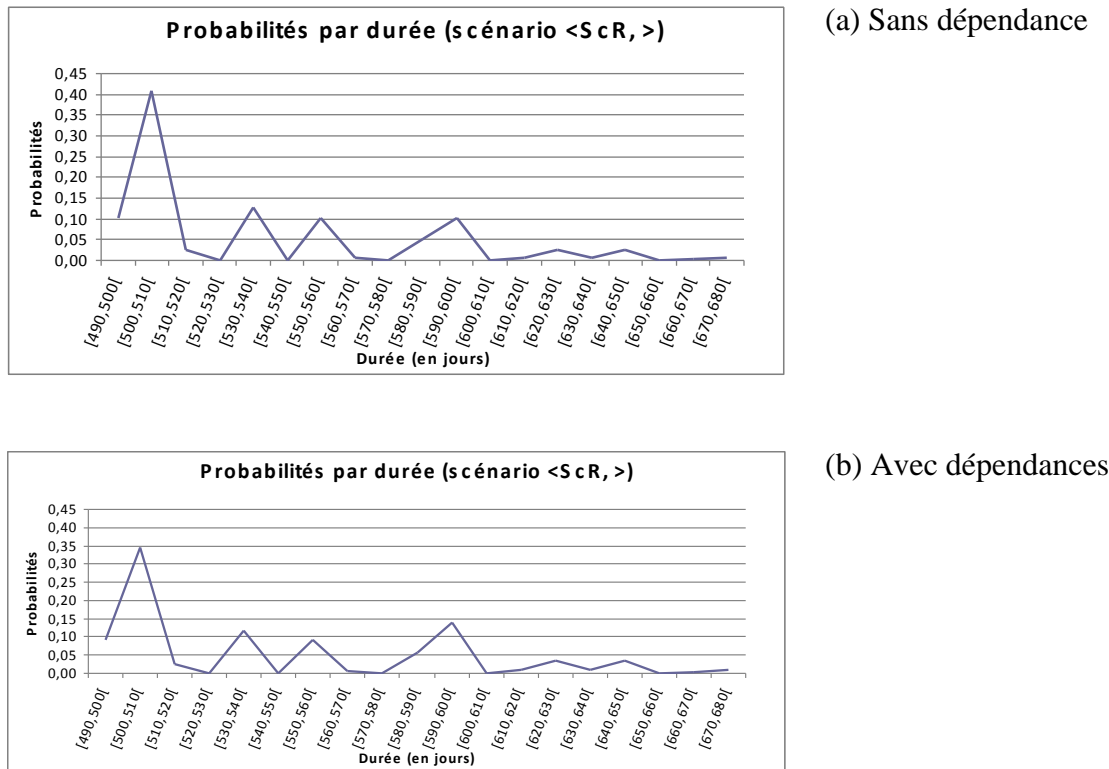
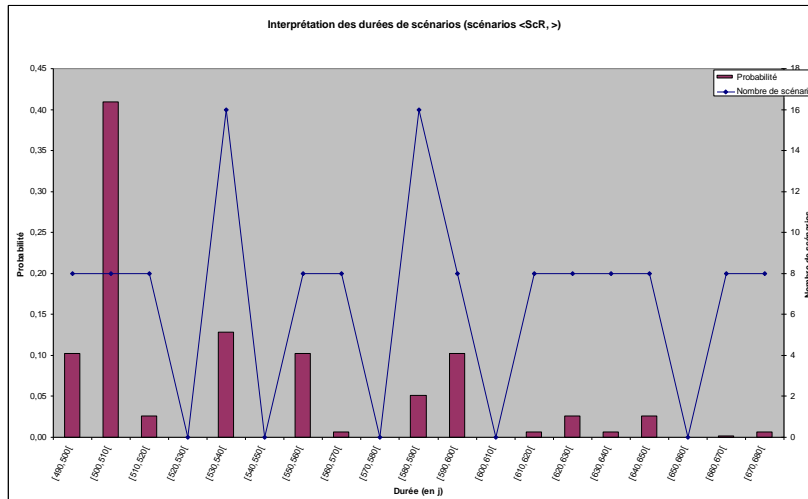
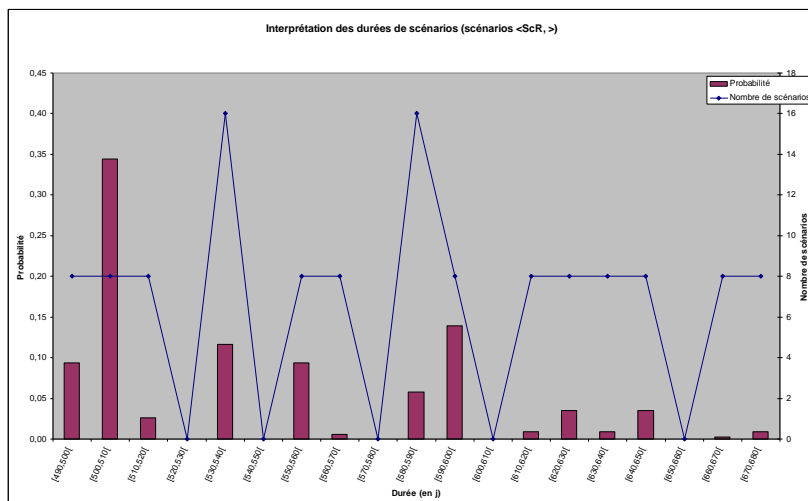


Figure 51. Probabilité de chaque plage de valeur de durée

Nous pouvons constater (Figure 52) que la probabilité d'être confronté à un scénario de risque présentant une durée inférieure à 510 jours est la même que celle d'être confronté à un scénario de risque présentant une durée supérieur à 510 jours. Cependant, seulement 16 scénarios ont une durée inférieure à 510 jours. Ces scénarios ne font pas apparaître les risques R2 et R5. Les graphiques (a) et (b) (de la Figure 52) montrent bien que l'effet des dépendances, dans ce cas d'application, ne touche que la probabilité. En effet, sur des plages de valeur telles que [500, 510[ou encore [590, 600[, si la probabilité d'avoir un scénario dans ces plages varie, le nombre de scénarios quant à lui ne varie pas.



(a) Sans dépendance



(b) Avec dépendances

Figure 52. Scénarios de risques selon la durée

Au regard des coûts, les scénarios se répartissent en deux classes de coûts. Chacune de ces classes compte 64 scénarios. Le risque R7 permet cette dichotomie : 64 scénarios sans R7, présentant un coût compris entre 980 et 990 k€ et 64 scénarios avec R7 présentant un coût compris entre 990 et 1000 k€. Les dépendances possibles n'influencent pas cet aspect.

La figure ci-dessous montre la probabilité de chaque plage de valeur de coût pour le scénarios de risques sans application de stratégie de traitement. L'analyse du graphique montre des probabilités importantes d'être, *in fine*, confronté à un scénario de projet présentant un coût compris entre 990 et 1000 K€.

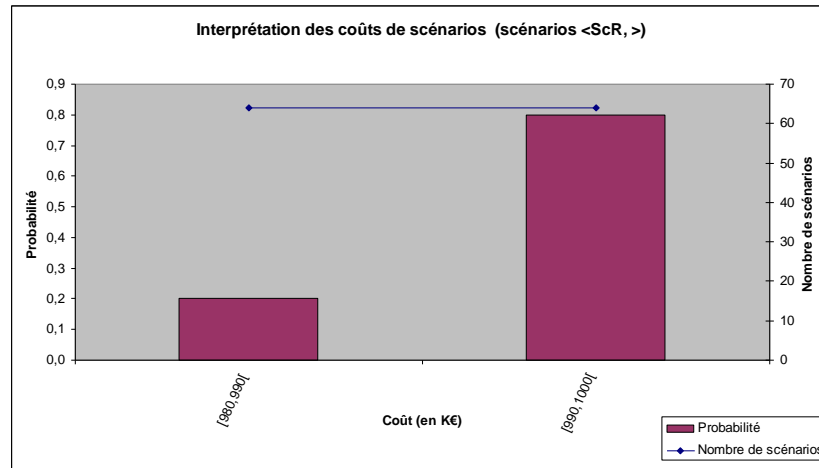


Figure 53. Scénarios de risques selon le coût

5.4.2 Description du processus d'analyse des résultats

Il s'agit ici, dans un premier temps, d'identifier les scénarios de risques pour lesquels il conviendra de proposer des mesures de traitement sous la forme de scénarios de traitement.

Pour cela, nous proposons d'analyser conjointement les trois dimensions caractéristiques de chaque scénario, à savoir :

- la probabilité d'occurrence d'un scénario,
- la durée du scénario, ou d'une autre manière l'augmentation du délai par rapport au scénario initial,
- le coût du scénario, ou d'une autre manière l'augmentation de coût par rapport au scénario initial.

Parmi l'ensemble des scénarios de risques générés, l'identification des scénarios inacceptables peut être effectuée selon différents critères. Citons par exemple les scénarios qui dépasseraient un objectif de délai et/ou un objectif de coût. Cela peut être utilisé lors de la négociation contractuelle avec un client afin d'estimer la marge de sécurité disponible au moment de la négociation en fonction du niveau de risque que l'on accepte de prendre.

Le critère le plus habituellement utilisé dans le cas de la hiérarchisation des risques dans les méthodes classiques est celui de la criticité.

Le niveau de criticité de chaque scénario peut être calculé selon la formule ci-dessous.

Afin de rendre comparable les critères, pour chaque scénario de projet, nous introduisons α_p et β_p qui représentent respectivement les métriques des impacts durée et coût d'un scénario de projet ScP_p :

$$\alpha_p = \frac{ID(ScP_p)}{\max(ID(ScP_p))}, (p = 1 \dots P) \text{ et } \beta_p = \frac{IC(ScP_p)}{\max(IC(ScP_p))}, (p = 1 \dots P) \quad \text{ainsi, } \alpha_p, \beta_p \in [0,1]$$

dans lesquelles les fonctions $ID(ScP_p)$ et $IC(ScP_p)$ renvoient respectivement aux impacts durées et coûts d'un ScP_p et $max(ID(ScP_p))$ et $max(IC(ScP_p))$ les impacts durées et coûts les plus longs ou coûteux des scénarios de projet.

L'impact global normé et pondéré $Impact(ScP_p)$ peut alors s'obtenir suivant la formule suivante :

$$Impact(ScP_p) = q \times \alpha_p + q' \times \beta_p$$

Dans laquelle q et q' sont 2 coefficients qui sont choisis par le responsable de projet suivant l'importance donnée à chaque critère : q correspondra au poids donné au délai et q' au coût.

La criticité $Cr(ScP_p)$ est alors obtenue par la formule suivante, en se basant sur l'impact global normé et pondéré, ainsi que sur la probabilité d'occurrence du scénario $P(ScP_p)$.

$$Cr(ScP_p) = P(ScP_p) \times impact_p$$

Sur la base de ce critère de criticité, les scénarios de risques sont ordonnés afin d'en déterminer les plus critiques. Ici, ce sont bien les scénarios de projets qui sont ordonnés et non pas les risques. Nous illustrerons lors de la présentation de l'application numérique (5.4.3) les différences observées entre ces deux méthodes de hiérarchisation des risques.

Pour chaque scénario de risques ainsi identifié, les stratégies de traitement (StT) proposées sont évaluées afin de retenir la stratégie qui présente le meilleur ratio coût de mise en place versus niveau de réduction du risque. Par ailleurs, une analyse complémentaire peut conduire à privilégier des stratégies de traitement qui permettraient de traiter simultanément plusieurs risques, qu'ils participent aux scénarios critiques ou pas.

Le degré de pertinence d'un scénario de traitement est corrélé au niveau de réduction de criticité du scénario de risque.

Soit, ScT_d un scénario de traitement associé au scénario de risque ScR_s , avec $Cr(ScP_p)$ la criticité du scénario de projet ScP_p , le degré de pertinence du scénario de traitement ScT_d est $Pert_{ScT_d}$ avec

$$Pert_{ScT_d} = Cr(< ScR_s, \phi >) - Cr(< ScR_s, ScR_d >)$$

Le ScT à retenir est celui qui entraîne un degré de pertinence le plus élevé.

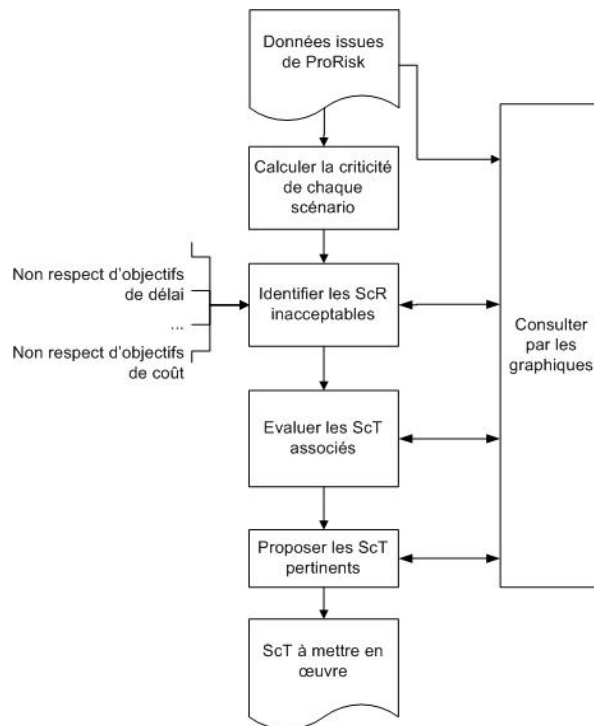


Figure 54. Processus d'analyse de résultat

Pour permettre une analyse visuelle, nous proposons d'utiliser des graphiques sous la forme d'une représentation en trois dimensions (diagramme à bulle) comportant :

- en abscisse, la durée du scénario,
- en ordonnée, le coût du scénario,
- et le diamètre de la bulle, représentatif de la probabilité du scénario.

Un exemple de cette représentation sera proposé dans le paragraphe qui suit (5.4.3) lors de la présentation de l'application numérique.

5.4.3 Application numérique à notre étude de cas

Dans notre cas d'étude, l'impact délai est plus important que l'impact coût. Par conséquent, pour le calcul de l'indice de criticité, nous avons retenu les poids suivants : $q = 0,75$ et $q' = 0,25$.

5.4.3.1 Récapitulatif des observations

Le tableau suivant récapitule les plages de valeurs des différents résultats obtenus.

	Probabilité		Coût		Délai		Criticité	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Pi	3,27%		984		490		0	
<ScR, Ø>	3,2. 10 ⁻³ %	13,1%	984	994	490	675	0	0,0407
<ScR, Ø> et dépendance	1,28. 10 ⁻² %	13,1%	984	994	490	675	0	0,0407
<ScR, ScT>	2.10 ⁻⁵ %	35,1%	984	1618	490	675	0	0,0298

Tableau 21. Récapitulatif des plages de valeurs rencontrées

De ce tableau, il est possible de remarquer que la criticité des scénarios extrêmes (calculée telle que précédemment exposé) sans prise en compte des stratégies de traitement n'est pas influencée par les dépendances des risques. La probabilité est pourtant en compte dans ces calculs de criticité, ce qui s'observe notamment à travers la probabilité du scénario de projet le moins probable, qui diminue du fait des stratégies de traitement.

Une amplitude importante peut être relevée en termes de coût. Celle-ci met en évidence que si les stratégies de traitement des risques peuvent avoir des effets réducteurs sur les durées et coûts finaux des projets, il n'en demeure pas moins que celles-ci ont un coût pour un effet dont l'appréciation revient au chef de projet.

On observe que la mise en place de stratégies de traitement conduit à une criticité « max » moins défavorable que dans le cas des scénarios sans stratégie de traitement. Cela est en partie dû à la diminution des probabilités d'occurrences dans le cas d'action préventive, mais aussi à la limitation des impacts dans le cas d'actions correctives.

5.4.3.2 Représentations graphiques

La planification initiale du projet permet d'identifier une durée et un coût prévisionnel. Sachant que cette planification est effectuée sans prise en compte aucune de l'ensemble des aléas qui peuvent survenir, il y a de fortes chances que cet objectif ne puisse pas être respecté. La question cruciale que doit se poser le chef de projet, à l'issue de cette étape, c'est d'identifier de manière conjointe quels sont les objectifs de délai et de coût qu'il est raisonnable de communiquer. Ces objectifs devront correspondre à des chances raisonnables de les respecter, c'est à dire à réaliser le projet pour une durée et coût inférieurs ou égaux.

Dans d'autres situations, les objectifs de délai et de coût sont fixés, le chef de projet a en charge de mettre en œuvre un plan de management de projet capable de les respecter.

La figure ci-dessous présente l'effet observé de chaque risque pris de manière unitaire. Les scénarios de projets ainsi décrits présentent uniquement l'occurrence d'un risque (ou d'aucun pour P_i) et aucune stratégie n'est mise en œuvre.

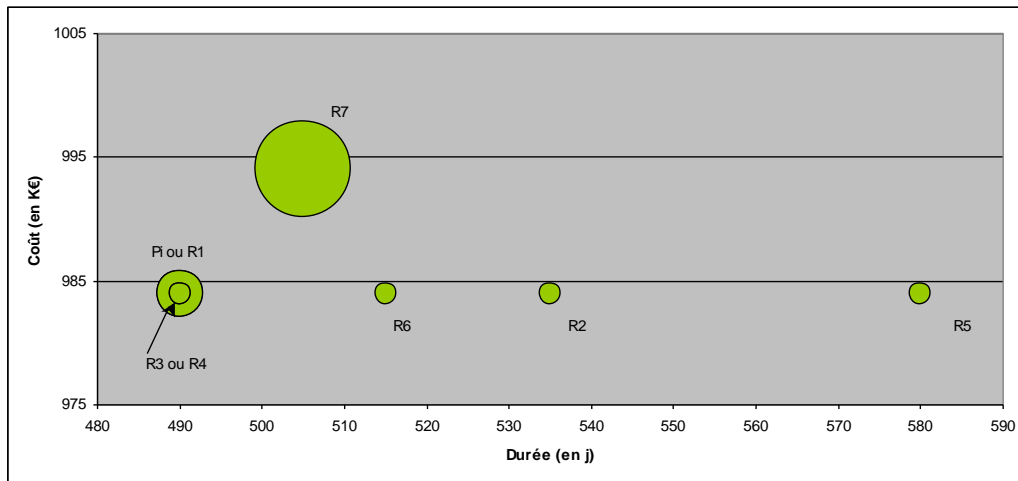
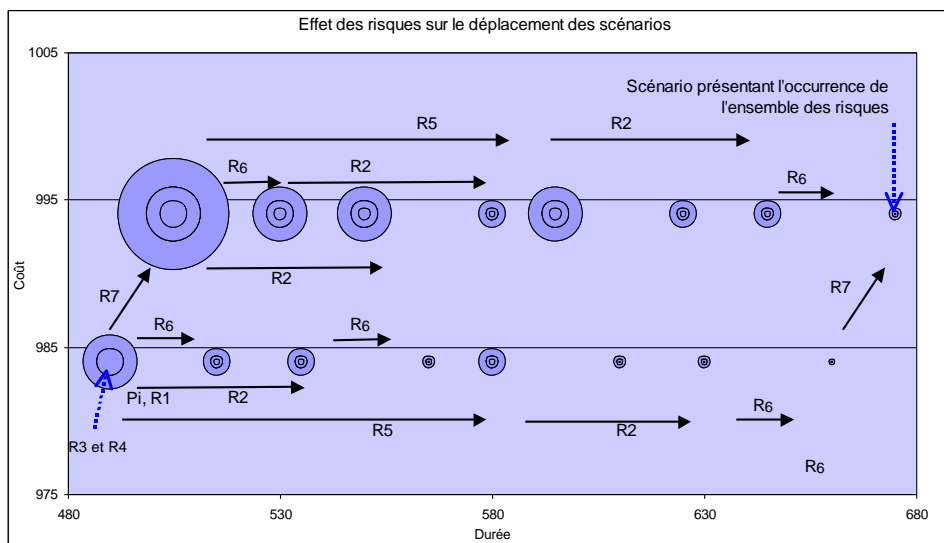
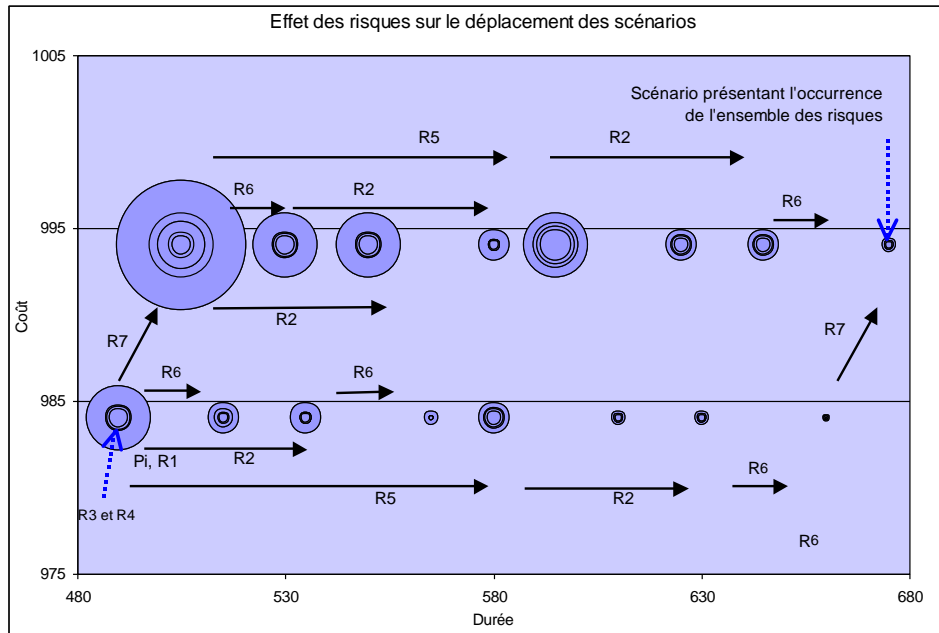


Figure 55. Scénarios de projet présentant l'occurrence unitaire de chaque risque

La Figure 56, ci-dessous, présente l'ensemble des ScP de type $\langle \text{ScR}, \emptyset \rangle$ dans une représentation de type diagramme à bulle. Les axes portent les objectifs de durée et de coût. Une bulle représente un scénario de projet dans l'espace de durée-coût. La taille de la bulle exprime la probabilité d'occurrence de ce scénario.



(a) Sans dépendance



(b) Avec dépendances

Figure 56. Effets cumulés des risques

En première analyse, cette représentation permet d'identifier que les scénarios les plus probables sont situés dans la partie gauche et haute du graphique. Nous pouvons en déduire que les scénarios conduisant à des augmentations maximales de coût du projet sont relativement probables.

Il est ainsi facilement observable que si les impacts des scénarios de projet n'ont pas évolué, la probabilité de les rencontrer, quant à elle, a changé en intégrant la notion de dépendance. On observe ainsi un changement entre les deux graphiques précédents ; il n'y a pas un accroissement du nombre de bulles, cependant elles sont moins superposées du fait d'une variété plus large de diamètres, tout en restant concentriques.

La représentation nous permet d'identifier plusieurs « nuages de bulles ». Un nuage de bulles, ou nuage de scénarios, est constitué de scénarios qui ont un caractère commun, même valeur de durée et de coût. Nous remarquons que la construction des nuages répond à une logique d'ajout progressif de risques supplémentaires à partir d'un scénario identifié (Figure 56).

Pour comprendre la distribution des nuages, la Figure 57 illustre l'impact initial de chaque risque dans les cas isolés. Dans l'espace de durée-coût, les risques sont représentés par les vecteurs qui indiquent les impacts initiaux de durée et de coût.

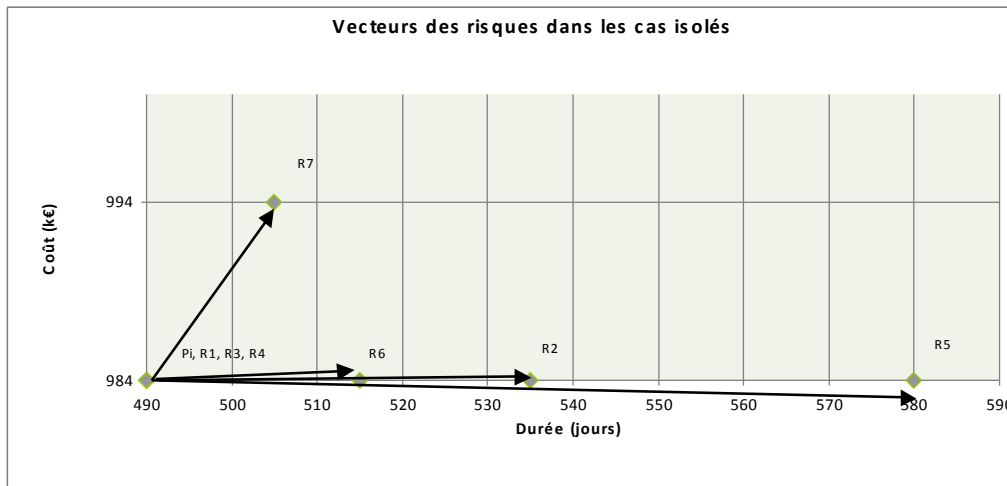


Figure 57. Vecteurs de risques

Ceci nous permet d'observer que les risques R2, R5 et R6 ont des vecteurs dotés d'une plus forte amplitude sur la durée et que R7 est le seul à présenter une amplitude d'action sur le coût et dans une moindre mesure sur la durée aussi.

5.4.3.3 Comparaison ScR critiques et risques critiques

La Figure 58 présente les dix scénarios de risques les plus critiques. Elle permet une comparaison entre la hiérarchisation obtenue avec, d'une part les scénarios de risque et d'autre part une approche classique prenant en considération les risques de manière séparée.

Le classement des ScR par criticité montre que les deux ScR les plus critiques sont ceux qui font intervenir les risques R7 avec ou sans R1. R1 a un effet sur une tâche qui n'est pas sur le chemin critique. Un allongement de la durée de cette dernière n'est donc pas ressenti sur les critères étudiés. De plus, il s'agit d'une tâche à charge fixe, il n'y a donc pas de répercussion sur les coûts. En outre, R1 a une probabilité d'occurrence de 50 %. Cela signifie qu'il possède la même probabilité de survenir comme de ne pas survenir, donc les scénarios avec et sans présenteront la même criticité.

Le troisième scénario le plus critique à prendre en compte est alors celui faisant intervenir R7 accompagné de R5 avec ou sans R1. Il est intéressant de noter que d'autres risques tels que R3 et R4 présentent des caractéristiques d'impacts similaires à R1. Cependant, la probabilité d'occurrence de R1 étant supérieure à celle de R3 et R4, les scénarios les faisant intervenir sont donc moins critiques.

Si l'on compare avec la hiérarchisation que l'on aurait obtenue selon une méthode classique (Figure 59), ne considérant que des risques pris isolément, ce sont, dans l'ordre, les risques R7, R5, R2 et R6 qui sont les plus critiques.

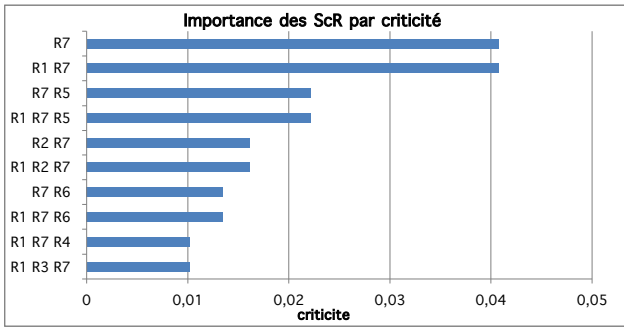


Figure 58. Les dix ScR les plus critiques

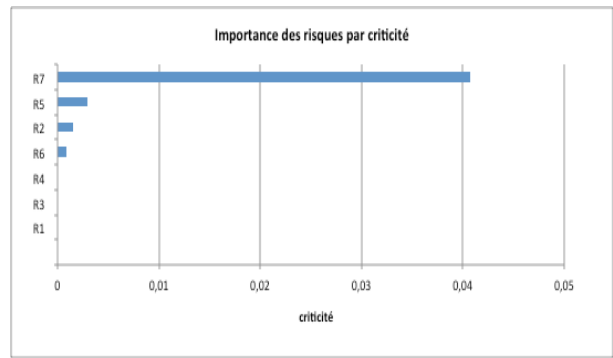
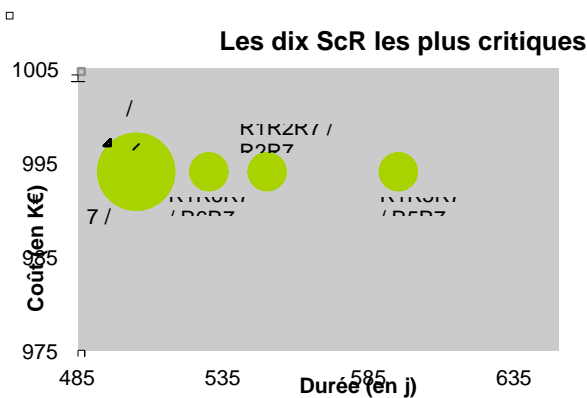
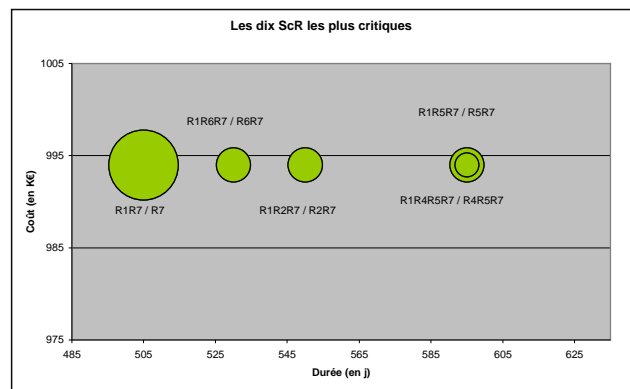


Figure 59. Hiérarchisation des risques pris isolément

Les dix scénarios les plus critiques sont présentés sur la figure suivante sous la forme de diagramme à bulle. Il est à noter que chaque bulle présente une superposition de scénarios intégrant ou pas R1.



(a) Sans dépendances



(b) Avec dépendances

Figure 60. Les dix ScR les plus critiques

La prise en compte des dépendances permet de mettre en évidence une modification de la hiérarchisation des scénarios de risques lors d'un tri par criticité. Les scénarios mettant en scène les risques R1, R3 et R7 ainsi que R1, R4 et R7 ont été relégué hors de cette liste des dix scénarios les plus critiques par ceux contenant R4, R5 en plus de R7 (avec ou sans R1).

Dans le Tableau 22, une comparaison des approches est proposée mettant en avant le tri suivant la criticité des risques séparés, des scénarios de risques ou encore des scénarios de risques prenant en compte les dépendances.

Rang	Risque	Scénario de risques	Scénario de risques avec dépendance
1	R7	R1 R7	R1 R7
2	R5	R7	R7
3	R2	R1 R7 R5	R1 R7 R5
4	R6	R7 R5	R7 R5
5	R1 ou R3 ou R4	R1 R2 R7	R1 R2 R7
6		R2 R7	R2 R7
7		R1 R7 R6	R1 R7 R6
8		R7 R6	R7 R6
9		R1 R3 R7	R1 R7 R4 R5
10		R1 R7 R4	R7 R4 R5

Tableau 22. Comparaison de l'importance des risques

Cette analyse des risques et scénarios de risques permet de mettre en évidence une hiérarchisation des priorités dans le traitement des risques. Celle-ci sera effectuée au moyen de stratégies de traitement.

5.4.3.4 Détermination des ScT associés les moins critiques

La figure suivante montre l'ensemble des scénarios de projets possibles, intégrant la notion de stratégie de traitement (mais pas nécessairement, car il peut être décidé de ne pas mettre en œuvre de stratégie). Ce graphique reprend l'ensemble des scénarios triés par coût (le coût total, pas seulement celui de la mise en œuvre de stratégies) décroissant. On peut ainsi observer que la criticité qui est calculée en tenant compte de la durée n'est logiquement pas diminuée si l'on augmente les sommes dépensées dans le cadre du projet. Les stratégies les plus onéreuses ne sont ainsi pas nécessairement les plus efficaces au regard de la criticité.

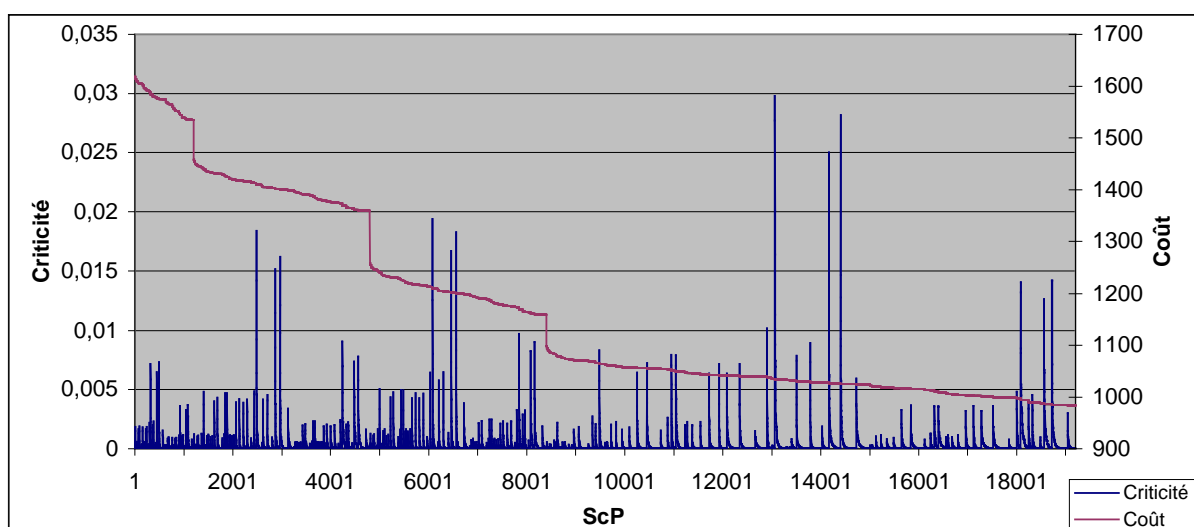


Figure 61. Scénarios de projets triés en fonction de leurs coûts

Gestion d'un scénario de risque

Si le responsable des risques de l'organisation s'intéresse au scénario de risques le plus critique (contenant R1 et R7), différentes stratégies de traitements sont envisageables. Le tableau suivant présente cet ensemble de possibilités, une représentation sous forme de diagramme à bulle est aussi observable ci-après.

Scénario de Risque	Scénario de traitement	Probabilité	Durée (j)	Coût (k€)	Criticité
R7 R1		0,131072	505	994	0,00848
	StT11	0,0131072	505	1034	0,00105
	StT71	0,008192	490	985	3,2.10-6
	StT72	0,131072	495	986	0,002760234
	StT11 & StT71	8,19E-04	490	1025	1,32442E-05
	StT11 & StT72	0,0131072	495	1026	0,000482762

Tableau 23. Récapitulatif des caractéristiques des scénarios de projet dans lesquels R1 et R7 sont occurrence

La première stratégie consiste à ne rien faire et subir les conséquences de ces risques. Ce scénario de projet est le plus critique en effet, s'il ne présente pas le coût le plus élevé, il présente la durée de projet la plus élevée.

Le scénario le moins critique est celui où la stratégie de traitement StT71 seule est mise en œuvre.

Il est intéressant de voir que l'ajout de la stratégie de traitement StT11 fait augmenter la criticité. Celle-ci fait diminuer la probabilité d'occurrence du scénario, cependant l'augmentation du coût liée à la mise en œuvre de ces actions de traitement préventives contrebalance la variation de probabilité. Le risque R1 agissant sur une tâche n'étant pas sur le chemin critique, étant à charge fixe et ayant une probabilité de 0,5, le scénario faisant intervenir R1 présente une criticité nulle selon les calculs effectués. Dans la réalité, R1 a tout de même des répercussions gênantes et un modèle de criticité plus réaliste montrerait une criticité supérieure à 0. Néanmoins, les résultats de ces calculs conduiraient sans doute le responsable à ne pas traiter R1, car le traitement par la stratégie StT11 ferait dans tous les cas augmenter la criticité, et à seulement s'intéresser au risque R7 en appliquant la stratégie StT71 uniquement. Celle-ci permet d'obtenir un scénario de projet si R1 et R7 surviennent qui ne présenterait, certes pas, l'occurrence conjointe de R1 et R7 la moins probable, mais avec des répercussions évaluées comme étant les moins critiques.

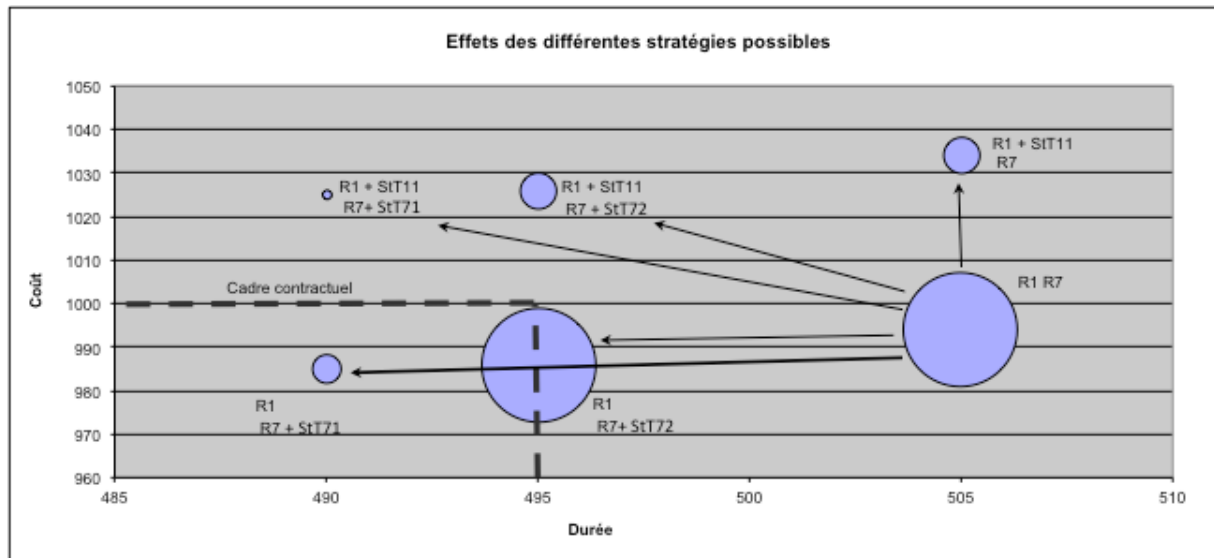


Figure 62. Effet des différentes stratégies sur les scénarios de projet présentant l'occurrence de R1 et R7

Gestion d'un cadre contractuel

Sur la figure précédente, un exemple de cadre contractuel est représenté. Celui-ci se définit par un coût de projet devant être inférieur ou égal à 1000 k€ pour assurer une rentabilité à ce projet et une durée de projet pour laquelle un engagement est pris auprès d'un client pour une durée de 495 jours.

L'occurrence du scénario de risque incluant R1 et R7 entraîne clairement le non respect de ce cadre contractuel. La seule stratégie de traitement à mettre en œuvre permettant de respecter ce cadre est celle contenant la stratégie préventive StT71. Il est donc préconisé au responsable des risques de prévoir de la mettre en œuvre et d'intégrer dans la planification du projet les actions préventives.

5.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons dans un premier temps présenté le démonstrateur logiciel ProRisk que nous avons développé dans le cadre de ces travaux de recherche. Cette plateforme a pour objectif de fournir à des décideurs tels que des chefs de projet, ou encore des gestionnaires de risques, des informations pertinentes leur permettant de choisir la stratégie de traitement à appliquer dans le cadre de la gestion des risques d'un projet. A travers une meilleure connaissance des répercussions de la mise en place d'actions de traitement des risques, un choix stratégique peut être effectué. Celui-ci permet logiquement d'avoir plus de chances de tenir des engagements de délai ou de coût pris dans le cadre de relation contractuelle, mais aussi d'utiliser de manière efficace et pertinente les moyens disponibles pour réduire le niveau de risque d'un projet en réduisant les impacts de la survenue des risques.

Dans un deuxième temps, nous avons proposé un cas d'application de nos travaux. Ceux-ci sont positionnés dans le contexte pharmaceutique du développement d'un nouveau médicament. Nous nous sommes ainsi intéressés à la réalisation un essai clinique de Phase III dans le cadre du développement d'un médicament visant à traiter l'angor. La durée de traitement d'un patient proposé par le laboratoire est de six mois. Pour mener à bien une telle étude, quatre cents patients doivent être recrutés par l'intermédiaire de quarante centres de recrutement répartis sur deux pays. Sept risques ont été identifiés concernant ce projet ainsi que quatre dépendances entre risques. Pour traiter ces risques et en réduire les impacts, douze stratégies de traitement des risques basées sur seize actions de traitement ont aussi été répertoriées.

Ainsi, alors qu'une approche considérant séparément les risques aurait consisté à s'intéresser à huit scénarios différents (un scénario sans risque et un scénario différent avec chacun des sept risques), une approche tenant compte du fait que plusieurs risques peuvent survenir au cours d'un projet permet de s'intéresser à cent vingt-huit scénarios différents (incluant les huit scénarios précédemment mentionnés). Cependant, afin de permettre le choix des stratégies pertinentes de traitement des risques, celles-ci doivent être prises en compte. C'est donc 19 200 scénarios de projet qu'il s'agira alors d'étudier.

Nous avons montré les résultats obtenus par l'application de notre outil ProRisk et un processus proposé d'analyse des résultats. Le fait de considérer les dépendances entre les risques, mais aussi de s'intéresser à des scénarios de risques plutôt qu'à des risques pris séparément peut changer les priorités de traitement. De l'analyse qui accompagne nos résultats, nous avons pu relever différents points intéressants. Il est possible de choisir les stratégies de traitement des risques afin de permettre le respect d'un cadre contractuel et l'atteinte d'objectifs. Ainsi, le choix des stratégies de traitement peut, si elles sont mal adaptées, accentuer la criticité des scénarios et donc orienter le projet vers un non respect des objectifs fixés. Par conséquent, il peut ainsi être plus intéressant de laisser certains risques aboutir plutôt que de chercher à les traiter à tout prix.

L'une des limites de ce modèle d'évaluation des risques pourrait tout à fait se retrouver dans le cadre de ce cas d'étude. En effet, certains des risques évoqués devraient être considérés comme pouvant arrêter ou remettre en cause la pertinence de la réalisation du projet. Aujourd'hui, ce type d'impact n'est pas formalisé dans notre modèle, puisque nous n'avons ainsi retenu uniquement des risques dont les conséquences ne sont pas obligatoirement l'arrêt du projet. Cette évolution fera ainsi l'objet de développements et travaux ultérieurs à la thèse.

CONCLUSION GENERALE

Dans le contexte de mondialisation actuel, les entreprises doivent être de plus en plus compétitives. Il est ainsi nécessaire pour beaucoup d'entre elles de proposer des produits innovants et de renouveler rapidement leurs gammes de produits. Dans ces conditions, le développement de nouveaux produits ou de nouveaux services présente alors un caractère hautement stratégique afin de pérenniser leurs activités dans un contexte fortement concurrentiel et incertain. L'organisation des activités innovantes passe par la mise en place de structures projet permettant d'organiser les ressources et compétences de l'entreprise afin de répondre aux attentes du marché. Le management par projet est donc une réponse judicieuse et nécessaire dans le contexte actuel de forte concurrence et d'optimisation des efforts consacrés. Si les approches et méthodologies de gestion de projet sont généralement maîtrisées par les responsables en charge de leur pilotage, un tel environnement d'innovation n'est généralement pas maîtrisé dans sa globalité. Il devient alors nécessaire de tenir compte de l'ensemble des éventualités, événements et situations que le projet pourrait rencontrer au cours de son déroulement afin de pouvoir l'évaluer. Pour aller plus loin, il est notable que lorsqu'un événement survient, il modifie le projet et modifie aussi les conditions de survenue d'autres risques. Il est alors intéressant de pouvoir tenir compte des liens et relations qui existent entre les risques.

Pour réaliser ce travail, nous avons formulé différentes hypothèses générales définissant le contour du problème abordé. La première est que l'intégration du risque au management de projet ne se fait qu'au regard de deux critères : le coût du projet et sa durée. Les impacts des risques considérés (modification ou suppression d'une tâche existante ou l'insertion d'une nouvelle tâche, par exemple) influencent la durée totale du projet et le coût. Des aspects tels que la disponibilité des ressources ou leurs compétences ne sont pas considérés pour le moment dans le modèle.

Une autre hypothèse posée dans le cadre de ce modèle est qu'au début du projet la liste des tâches et la liste des risques sont connues et ne varient pas au cours du projet. Chaque caractéristique relative aux risques est connue puisqu'une approche telle que la méthode Delphi a pu être appliquée auparavant (Dalkey et Helmer 1963). Cette méthode permet au gestionnaire des risques de caractériser les différentes dimensions des risques (impact et probabilité). Différents questionnaires anonymes sont ainsi utilisés pour obtenir l'opinion d'experts afin de parvenir à un consensus. L'étape d'évaluation des risques peut nécessiter la collecte d'un grand nombre de données. Ce travail n'a pas pour objectif de développer un outil facilitant la collecte de données, ce qui peut s'avérer coûteux en temps et en effort dans le cas d'un projet présentant un certain nombre de tâches.

Lorsque de nouveaux risques sont identifiés et quantifiés au cours du projet, ceux-ci peuvent être intégrés dans les calculs des scénarios de risques, permettant d'avoir, dans une large mesure, de la réactivité et du réalisme pour calculer les différents scénarios de projets. Cependant, les

incertitudes ne sont pas prises en compte dans ce travail. Par conséquent, il est possible d'appliquer le modèle avant le démarrage d'un projet pour analyser le niveau de risque global du projet, les scénarios possibles et le choix des meilleures stratégies de traitement. Plus tard, au cours du projet, les mêmes questions peuvent être résolues par une analyse des scénarios de risques ayant abouti ou non.

Cette thèse est organisée en trois parties. La première partie est un état de l'art portant sur la gestion de projet et la gestion des risques en projet. Cet état de l'art se trouve dans les deux premiers chapitres. La deuxième partie présente les contributions scientifiques. Elle est organisée à travers les deux chapitres suivants et comporte les différents apports de notre travail. La troisième partie de cette thèse présente un cas d'application. Celui-ci est décrit dans le dernier chapitre.

État de l'art

Pour assurer leur compétitivité, les entreprises misent entre autres sur l'innovation, qui représente non seulement un moyen nécessaire à la pérennisation d'une entreprise, mais aussi une composante essentielle dans le pilotage au quotidien des organisations (Pénide et al. 2010). Pour certaines entreprises, innover est synonyme de prise de risque, entraînant parfois des entreprises dans un tourbillon de difficultés liées à la frilosité de l'entreprise à innover (Christensen 2003) ou à l'obsession de la direction de suivre uniquement les bonnes pratiques de management, parfois contradictoires avec l'innovation. L'innovation devient alors un enjeu stratégique pour la pérennisation de l'entreprise, la piloter passe par la mise en place de structures *ad hoc* d'innovation adoptant des postures projet (Lenfle 2010), (Benghozi 1990).

Ainsi, de plus en plus de recherches visent à outiller le chef de projet. Cette boîte à outils de méthodes doit lui permettre d'intégrer au mieux les aspects antagonistes des fonctions objectifs des projets. Elle lui permet ainsi de trouver des compromis par rapport à la finalité du projet. Il ressort de l'étude de l'état de l'art que des travaux visent à proposer des processus globaux spécifiquement pour la gestion du risque en projet (Pingaud et Gourc 2003) ou plus généraux (Courtot 1998), (X50-117 AFNOR 2003). D'autres travaux cherchent à préciser quelles approches sont applicables en fonction de l'avancement dans le processus afin de permettre à l'acteur du projet en charge de la gestion des risques de pouvoir choisir l'approche adéquate (Grimaldi et Rafele 2008). Certains travaux outillent directement les différentes phases du processus de gestion des risques et intègrent le risque sous la forme risque-événement.

Cependant, ces différents travaux ne positionnent pas les impacts des risques avérés ainsi que les actions relatives aux stratégies de traitement dans les plannings des projets. Les impacts associés ne sont alors pas recalculés ou se focalisent sur des calculs d'optimisation avec des fonctions objectifs difficilement généralisables. Les stratégies sont alors difficilement évaluables et le choix n'est pas trivial.

Le problème consiste alors à proposer un modèle réaliste intégrant les impacts des risques sur la planification du projet. Celui-ci devra alors permettre de déterminer les impacts des risques identifiés sur le planning (durée totale de réalisation, etc.), mais aussi de déterminer les impacts de la mise en place des actions de traitement sur le planning (modification de durée totale, marges de chaque tâche du planning, etc.). Il permettra ainsi d'aider au choix de la meilleure stratégie de traitement.

Contributions scientifiques

1. Scénario de risque, scénario de traitement, scénario de projet

La plupart des méthodes classiques de planification ne prennent pas en compte les changements et incertitudes liés à la nature même des projets. Pour limiter ces imprévus, les techniques de management des risques sont utilisées pour anticiper les aléas ou en limiter les conséquences.

Parmi les risques identifiés dans un projet, on constate que seule une partie de ces risques se réalise effectivement. On peut alors, *a posteriori*, parler d'une réalisation possible du projet, mettant en relation un ensemble d'événements survenus, un ensemble d'actions mises en œuvre, un ensemble de tâches exécutées. Cela correspond à un scénario possible du projet.

Nous avons proposé ainsi une définition de ce concept de scénario et des différentes dimensions et caractéristiques. Un projet présentant un ensemble de risques peut conduire à un *Ensemble de Scénarios de Risques*. Ainsi, un *Scénario de Risques* est alors défini comme un sous-ensemble du portefeuille des risques possibles. Un *Scénario de Traitement* regroupe un ensemble de Stratégies de Traitement retenues pour réduire les risques listés dans le portefeuille des risques du projet. Un *scénario de projets* est alors défini avec un planning initial, un *Scénario de Risque* et un *Scénario de Traitement*. Il a donc un coût et une durée, ainsi qu'une probabilité d'occurrence.

Tous les scénarios de projet envisageables ne permettent pas de respecter des engagements contractuels. Nous proposons alors, sur la base de ces définitions, un modèle permettant, à travers différents calculs, de connaître les répercussions des risques et les conséquences des stratégies de traitement. Les scénarios de projet peuvent alors être comparés, permettant ainsi au chef de projet ou responsable des risques de choisir en connaissance de cause le scénario de traitement à réellement mettre en œuvre pour augmenter ses chances de tenir ses engagements.

2. Dépendance entre risques

Si l'on construit un bâtiment sur un terrain présentant des risques d'instabilité, la probabilité qu'il s'effondre augmente. L'aboutissement du risque « avoir un terrain instable » a donc des répercussions sur le risque « le bâtiment s'effondre ».

C'est sur la base de cette idée directrice que nous proposons de définir une relation de dépendance d'un ensemble de risques identifiés vers lui-même comme portant sur l'existence

d'un lien entre un ensemble d'événements *RisquesSource* et un ensemble d'événements particulier désigné par *RisqueCible*. *RisquesSource* et *RisqueCible* sont des sous-ensembles particuliers de l'ensemble des événements associés aux risques identifiés. L'occurrence de *RisquesSource* est alors la condition d'activation de la dépendance. Les conséquences des dépendances peuvent se mesurer sur différentes caractéristiques de *RisqueCible*. Ainsi, le(s) impact(s) de *RisqueCible* tels que coût et/ou durée peuvent varier, ainsi que la probabilité d'occurrence.

Différents aspects restent cependant difficiles à modéliser. Il s'agit notamment du cas particulier où plusieurs dépendances relatives à différents *RisquesSources* sont activées simultanément et pointent vers un même *RisqueCible*.

Le modèle proposé précédemment a ainsi été complété par ce concept de dépendance. Le choix d'un scénario de traitement peut alors se faire au regard d'un modèle plus réaliste vis-à-vis du « comportement » des risques.

Perspectives de ce travail

Ce travail débouche sur un ensemble de perspectives. Nous en reprenons ici quelques unes, qui nous apparaissent comme importantes :

- étendre la réflexion sur les dépendances difficiles à modéliser et proposer des règles de résolution des situations ambiguës,
- intégrer la prise en compte de la disponibilité des ressources nécessaires à la mise en œuvre des actions de traitement. En complément aux critères retenus jusqu'à ce jour pour sélectionner un scénario de traitement, l'analyse de la disponibilité des ressources nous semble primordiale pour retenir un scénario réaliste et réalisable,
- proposer une extension graphique à l'outil ProRisk permettant de présenter directement les résultats générés par l'outil de calcul,
- développer un module d'aide à l'analyse des données générées permettant au responsable du projet de faciliter la prise de décision par une identification des scénarios les plus intéressants.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR. 1992. *Dictionnaire de management de projet*.
- AFNOR, X50-105. 1991. *Le management de projet : concepts*.
- AFNOR, X50-117. 2003. *Management des risques d'un projet*.
- Artigues, C. 1997. Ordonnancement en temps réel d'ateliers avec temps de préparation des ressources. Thèse de doctorat, Toulouse: Université de Toulouse 3.
- Avoine, B.E. 1998. *La pratique des coûts dans les projets industriels*. AFNOR.
- Baccarini, D., et R. Archer. 2001. « The risk ranking of projects: a methodology ». *International Journal of Project Management* 19 (3): 139–145.
- Bakir, S. 2003. Contribution à une démarche d'intégration des processus de gestion des risques et des projets : étude de la fonction planification. Thèse de doctorat, Université de Toulouse.
- Barjis, J., et J. L.G Dietz. 2000. Business process modeling and analysis using Gert networks. Dans *Enterprise information systems*, 71–80.
- Belassi, W., et O. Tukel. 1996. « A new framework for determining critical success/failure factors in projects ». *International Journal of Project Management* 14 (3) (juin): 141-151.
- Benghozi, P. J. 1990. *Innovation et gestion de projets*. Eyrolles.
- Bessis, J., D. Galai, L. Hillel, et P. Kienast. 1993. *Business plan: concevoir et rédiger un plan de développement*. Nathan.
- Betts, M., et P. Lansley. 1995. « A review of the first ten years ». *International Journal of Project Management* 13 (4) (août): 207-217.
- Börjesson, L., M. Höjer, K.H. Dreborg, T. Ekvall, et G. Finnveden. 2006. « Scenario types and techniques: Towards a user's guide ». *Futures* 38 (7) (septembre): 723-739. doi:10.1016/j.futures.2005.12.002.
- Bougaret, S. 2002. Prise en compte de l'incertitude dans la valorisation des projets de R&D pharmaceutique : la valeur de l'information nouvelle. Thèse de doctorat, Université de Toulouse.
- Bradfield, R., G. Wright, G. Burt, G. Cairns, et K. Van Der Heijden. 2005. « The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning ». *Futures* 37 (8) (octobre): 795-812. doi:10.1016/j.futures.2005.01.003.
- Browning, T. R., M.A. Lockheed, et F. Worth. 2001. « Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: a review and new directions ». *IEEE Transactions on Engineering management* 48 (3): 292–306.
- Bunn, D. W., et A. A. Salo. 1993. « Forecasting with scenarios ». *European Journal of Operational Research* 68 (3) (août 13): 291-303. doi:10.1016/0377-2217(93)90186-Q.
- Carr, V., et J. H. M. Tah. 2001. « A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system ». *Advances in Engineering Software* 32 (10-11): 847-857.
- Carter, B., T. Hancock, J. Morin, et N. Robin. 1996. *Introducing RISKMAN: the European project risk management methodology*. The Stationery Office.
- Cazaubon, C. 1998. *Management de projet technique: Méthodes et outils*. Ellipses Marketing, mai 5.
- Chapman, C, et S Ward. 1997. *Project risk management: processes, techniques, and insights*. John Wiley & Sons.
- Chapman, C. 1997. « Project risk analysis and management—PRAM the generic process ». *International Journal of Project Management* 15 (5): 273–281.

- Chartier-Kastler, C. 1995. *Précis de conduite de projet informatique*. Les Ed. d'Organisation.
- Chauveau, E. 2006. Management des risques dans les projets et les processus logiciel. Thèse de doctorat, Bordeaux: Université Bordeaux 1.
- Christensen, C. M. 2003. *The innovator's dilemma: the revolutionary book that will change the way you do business*. Harper Paperbacks.
- Coates, J. F. 2000. « Scenario Planning ». *Technological Forecasting and Social Change* 65 (1) (septembre): 115-123. doi:10.1016/S0040-1625(99)00084-0.
- Cooke-Davies, T. 2002. « The “real” success factors on projects ». *International Journal of Project Management* 20 (3) (avril): 185-190. doi:10.1016/S0263-7863(01)00067-9.
- Courtot, H. 1998. *La gestion des risques dans les projets*. Economica.
- . 2009. Recensement des logiciels de gestion des risques.
- Crawford, L. H., J. B. Hobbs, et J. R. Turner. 2005. « Project Categorization Systems: Aligning Capability With Strategy for Better Results ». *Newtown Square, PA: Project Management Institute*.
- DGA. 1995. DGA AQ 924 : Manuel du management des risques dans un programme d'armement.
- DiMasi, J. A, H. G Grabowski, et J. Vernon. 2004. « R&D costs and returns by therapeutic category ». *Drug Information Journal* 38 (3): 211–223.
- Dombkins, D. 2008. « Redefining Our Profession Part 2: The History and Future of Project Management ».
- Draghici, C. 2005. Modélisation et conception d'algorithmes pour la planification automatique du personnel de compagnies aériennes. septembre 29.
- Estienne, H. 1578. *Deux dialogues du nouveau langage français italianisé et autrement déguisé*.
- FD X50-118. *Norme AFNOR X50-118:Recommandations pour le Management de Projets*. AFNOR.
- Fulkerson, D. R., et O.A. Gross. 1965. « Incidence matrices and interval graphs ». *Pacific Journal of Mathematics* 15: 835–855.
- Gaddis, P. O. 1959. « The project manager ». *Harvard Business Review* 37 (3): 89–97.
- Gareis, R. 1991. « Management by projects: the management strategy of the []new' project-oriented company ». *International Journal of Project Management* 9 (2) (mai): 71-76. doi:10.1016/0263-7863(91)90062-Z.
- Garel, G. 2003. « Pour une histoire de la gestion de projet ». *Gérer et comprendre* 74 (décembre): 77-89.
- Garel, G., V. Giard, C. Midler, et R. Calvi. 2004. *Faire de la recherche en management de projet*. Vuibert, novembre 2.
- Gausemeier, J., A. Fink, et O. Schlake. 1998. « Scenario management: an approach to develop future potentials ». *Technological Forecasting and Social Change* 59 (2) (octobre): 111-130. doi:10.1016/S0040-1625(97)00166-2.
- Geraldi, J. G., J. Rodney T., H. Maylor, A. Söderholm, M. Hobday, et T. Brady. 2008. « Innovation in project management: Voices of researchers ». *International Journal of Project Management* 26 (5) (juillet): 586-589. doi:10.1016/j.ijproman.2008.05.011.
- Giard, V., et C. Midler. 1996. « Management et gestion de projet: bilan et perspectives ». *IAE de Paris-Grégor-Cahier de recherche*.
- Godet, M., et F. Roubelat. 2000. « Scenario Planning: an open future ». *Technological Forecasting and Social Change* 65 (1) (septembre): 1-2. doi:10.1016/S0040-1625(99)00119-5.
- Godichaud, M. 2009. Outils d'aide à la décision pour la sélection des filières de valorisation des produits de la déconstruction des systèmes en fin de vie: application au domaine aéronautique. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse.

- Golenko-Ginzburg, D. 1988. « Controlled alternative activity networks for project management ». *European Journal of Operational Research* 37 (3): 336–346.
- Golenko-Ginzburg, D., et A. Gonik. 1998. « A heuristic for network project scheduling with random activity durations depending on the resource allocation ». *International Journal of Production Economics* 55 (2): 149–162.
- Gourc, S. Bougaret, et B. Burtin. 2005. Un modèle d'évaluation de la rentabilité des projets incertains utilisant la simulation Monte Carlo : application à un projet de médicament. Dans Bordeaux.
- Gourc, D. 2006. Vers un modèle général du risque pour le pilotage et la conduite des activités de biens et de services. Habilitation à Diriger des Recherches, Toulouse, France: Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Gratton, J. F, S. Landry, et B. A. Aubert. 2003. « Risk Software Perspective/Recensement des logiciels de risque ». *CIRANO Project Reports*.
- Grimaldi, S., et C. Rafele. 2008. A tool selection and support methodology for project risk management. Dans Roma, Italy.
- Haasl, D. F. 1965. Advanced concepts in fault tree analysis. Dans *System Safety Symposium*. Vol. 8.
- Herroelen, W., et R. Leus. 2005. « Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials ». *European Journal of Operational Research* 165 (2) (septembre 1): 289–306. doi:10.1016/j.ejor.2004.04.002.
- Honton, E. J, G. S. Stacey, et S. M. Millett. 1984. « Future scenarios: The BASICS computational method ». *Battelle Columbus Division, Economics and Policy Analysis, Occasional Paper* 44.
- Huss, W. R., et E. J. Honton. 1987. « Scenario planning—What style should you use? » *Long Range Planning* 20 (4): 21–29.
- Ishikawa, K. 1985. *What is total quality control? The Japanese way*. Prentice Hall.
- ISO 10006. 1997. *International Organization for Standardization, Quality Management. Guidelines to Quality in Project Management*.
- ISO 31000. 2009. *International Standards for Business, Risk management - Principles and guidelines*.
- ISO Guide 73. 2002. *Risk management Vocabulary: guidelines for use in standards*.
- Jaafari, A. 2001. « Management of risks, uncertainties and opportunities on projects: time for a fundamental shift ». *International Journal of Project Management* 19 (2) (février): 89–101. doi:10.1016/S0263-7863(99)00047-2.
- Jensen, F. V, et T. D. Nielsen. 2001. *Bayesian networks and decision graphs*. ASA.
- Joly, M., et J. L.G. Muller. *De la gestion de projet au management par projet*. AFNOR.
- Kahn, H., A. J. Wiener, et D. Bell. 1967. *The year 2000: a framework for speculation on the next thirty-three years*. Macmillan London.
- Kalos, M. H., et P. A. Whitlock. 1970. « Monte Carlo Methods ». *Computers and Their Role in the Physical Sciences*.
- Kaufmann, A., et R. Faure. 1968. « Méthodes et modèles de la recherche opérationnelle (Tomes 1, 2, 3) ». *Dunod, Paris*.
- Ke, H., et B. Liu. 2005. « Project scheduling problem with stochastic activity duration times ». *Applied Mathematics and Computation* 168 (1) (septembre 1): 342–353. doi:10.1016/j.amc.2004.09.002.
- Klein, J. H., et R. B. Cork. 1998. « An approach to technical risk assessment ». *International Journal of Project Management* 16 (6) (décembre): 345–351. doi:10.1016/S0263-7863(98)00006-4.
- Kone, O. 2009. Nouvelles approches pour la résolution du problème d'ordonnancement de projet à moyens limités. décembre 7.

- Lagadec, P. 1981. *Le risque technologique majeur*. Pergamon Press.
- Lannoy, A. 2008. *Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement: repères historiques et méthodologiques (Collection Sciences du risque et du danger, série Notes de synthèse et de recherche)*.
- Lenfle, S. 2010. *Projets et conception innovante*. Editions Universitaires Europeennes, juin 11.
- Lengagne, S. 2009. Planification et re-planification de mouvements sûrs pour les robots humanoïdes. octobre 21.
- Lopez, P. 2003. Approche par contraintes des problèmes d'ordonnancement et d'affectation: structures temporelles et mécanismes de propagation. Habilitation à Diriger des Recherches, Toulouse: Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Luh, P. B., F. Liu, et B. Moser. 1999. « Scheduling of design projects with uncertain number of iterations ». *European Journal of Operational Research* 113 (3) (mars 16): 575-592. doi:10.1016/S0377-2217(98)00027-7.
- Marques, G. 2010. Management des risques pour l'aide à la gestion de la coopération au sein d'une chaîne logistique : une approche par simulation. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, décembre 10.
- Midler, C. 1996. « Modèles gestionnaires et régulations économiques de la conception ». *Coopération et conception, Octares*.
- Mitnik, S., et I. Starobinskaya. 2007. « Modeling dependencies in operational risk with hybrid Bayesian networks ». *Methodology and Computing in Applied Probability*: 1-12.
- Morley, C., J. Hugues, B. Leblanc, et O. Hugues. 2005. *Processus métiers et SI: evaluation, modélisation, mise en oeuvre*. Dunod.
- Müller, R., et J.R. Turner. 2007. « The influence of project managers on project success criteria and project success by type of project ». *European Management Journal* 25 (4) (août): 298-309. doi:10.1016/j.emj.2007.06.003.
- Murphy, P. L. 1989. « Pharmaceutical Project Management: Is It Different? » *Project Management Journal* 3: 35-38.
- Naïim, P., P. Leray, O. Pourret, et P. H Wuillemain. 1999. « Réseaux bayésiens ». *Une* 1: 3.
- Navarre, C. 1993. *Gestion de projets: bilan et perspectives*. University of Ottawa.
- Nguyen, T. H, et D. Gourc. 2008. Towards a model for assessing risk impact on project planning. Dans *22nd IPMA World congress : project management to run*. Roma, Italy.
- . 2009. Une méthode pour évaluer l'impact des risques et aider au choix de stratégie de traitement des risques : application au pilotage de projet. Dans *8ème Congrès International de Génie Industriel*. Bagnères-de-Bigorre, France, juin 10.
- Niel, E., et E. Craye. 2002. « Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement des systèmes de production ». *Traite IC2 productique, ed. Hermes-Lavoisier*.
- Nukala, M. V. 1995. Generalized models of design iteration using signal flow graphs. Indian Institute of Technology, Madras.
- O'Brien, F. A. 2004. « Scenario planning-lessons for practice from teaching and learning ». *European Journal of Operational Research* 152 (3) (février 1): 709-722. doi:10.1016/S0377-2217(03)00068-7.
- Olsson, R. 2007. « In search of opportunity management: Is the risk management process enough? » *International Journal of Project Management* 25 (8) (novembre): 745-752. doi:10.1016/j.ijproman.2007.03.005.
- Ozouf, V. 2009. Comment conserver un niveau de risques acceptable dans un contexte de conception / industrialisation de plus en plus rapide d'un produit de plus en plus complexe ? décembre 7.

- Papadopoulos, C. E., et H. Yeung. 2001. « Uncertainty estimation and Monte Carlo simulation method ». *Flow Measurement and Instrumentation* 12 (4) (août): 291-298. doi:10.1016/S0955-5986(01)00015-2.
- Pénide, Thomas, Hervé Pingaud, Didier Gourc, et Philippe Peillon. 2010. Ingénierie des processus innovants : représentation et définition du processus d'innovation. Dans Hammamet (Tunisie), mai 10.
- Perilhon, P. 2007. *La gestion des risques: Méthode MADS-MOSAR II - Manuel de mise en oeuvre*. Paris: Les Editions Demos.
- Phelps, R., C. Chan, et S. C. Kapsalis. 2001. « Does scenario planning affect performance? Two exploratory studies ». *Journal of Business Research* 51 (3) (mars): 223-232. doi:10.1016/S0148-2963(99)00048-X.
- Pingaud, et D. Gourc. 2003. « Approach of controlling an industrial project by the risk analysis (Démarche de pilotage d'un projet industriel par l'analyse des risques) ». *5e Congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel, Canada*.
- Pinto, J. K. 2002. « Project management 2002 ». *Research-Technology Management* 45 (2): 22-37.
- PMI. 2008. *A guide to the project management body of knowledge:(PMBOK guide)*. Project Management Institute, Inc.
- Powell, J. H. 1997. « An application of a network-based futures method to strategic business planning ». *Journal of the Operational Research Society* 48 (9): 857-872.
- Pritsker, A. A.B. 1979. *Modeling and analysis using Q-GERT networks*. Halsted Press.
- Project Management Institute. 2004. *A guide to the project management body of knowledge*. Newtown Square, Pa.
- Rabbani, M., S.M.T. Fatemi Ghomi, F. Jolai, et N.S. Lahiji. 2007. « A new heuristic for resource-constrained project scheduling in stochastic networks using critical chain concept ». *European Journal of Operational Research* 176 (2) (janvier 16): 794-808. doi:10.1016/j.ejor.2005.09.018.
- Ramat, E., C. Lente, et C. Tacquard. 1997. « Incertitude et projets d'innovation. Le modele RAIH = Uncertainty and innovation projects. The RAIH model ». *RAIRO-APII-JESA- Journal Européen des Systemes Automatisés* 31 (4): 615-644.
- Ravalison, R. B. 2006. Mise en scène des projets de système d'information : apports de la maîtrise des risques dans les projets de système d'information. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, février 1.
- Von Reibnitz, U. 1989. *La technique des scénarios pour la planification et la prévision, trad. de Scenario techniques (1988)*. AFNOR Gestion.
- Roubelat, F. 2000. « Scenario Planning as a Networking Process ». *Technological Forecasting and Social Change* 65 (1) (septembre): 99-112. doi:10.1016/S0040-1625(99)00125-0.
- Salvi, O., et B. Debray. 2006. « A global view on ARAMIS, a risk assessment methodology for industries in the framework of the SEVESO II directive ». *Journal of Hazardous Materials* 130 (3) (mars 31): 187-199. doi:10.1016/j.jhazmat.2005.07.034.
- Sharad, D. 1986. « Management by projects: an ideological breakthrough ». *Project Management Journal* 2: 61-3.
- Sienou, A. 2009. Proposition d'un cadre méthodologique pour le management intégré des risques et des processus d'entreprise. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Sienou, A., E. Lamine, A.P. Karduck, et H. Pingaud. 2008. Towards a semi-formal modeling language supporting collaboration between risk and process manager. Dans *Digital Ecosystems and Technologies, 2008. DEST 2008. 2nd IEEE International Conference*, 119-125.

- Smith, P. G., et G. M. Merritt. 2002. *Proactive risk management: controlling uncertainty in product development*. Productivity Press.
- Söderlund, J. 2004. « Building theories of project management: past research, questions for the future ». *International Journal of Project Management* 22 (3) (avril): 183-191. doi:10.1016/S0263-7863(03)00070-X.
- Steward, D. 1981. « The design structure matrix: A method for managing the design of complex systems ». *IEEE Transactions on Engineering Management* 28 (3): 71-74.
- Tah, J. H. M., et V. Carr. 2001. « Towards a framework for project risk knowledge management in the construction supply chain ». *Advances in Engineering Software* 32 (10-11): 835-846. doi:10.1016/S0965-9978(01)00035-7.
- Taylor, B. W., et L. J. Moore. 1980. « R&D Project Planning with Q-GERT Network Modeling and Simulation ». *Management Science* 26 (1): 44-59.
- Themistocleous, G., et S. H. Wearne. 2000. « Project management topic coverage in journals ». *International Journal of Project Management* 18 (1) (février): 7-11. doi:10.1016/S0263-7863(99)00030-7.
- Tixier, J., G. Dusserre, O. Salvi, et D. Gaston. 2002. « Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants ». *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 15 (4) (juillet): 291-303. doi:10.1016/S0950-4230(02)00008-6.
- Turner, J. R. 2000. « The global body of knowledge, and its coverage by the referees and members of the international editorial board of this journal ». *International Journal of Project Management* 18 (1): 1-6.
- . 2006. « Towards a theory of project management: The nature of the project ». *International Journal of Project Management* 24 (1) (janvier): 1-3. doi:10.1016/j.ijproman.2005.11.007.
- Tversky, A., et D. Kahneman. 1992. « Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty ». *Journal of Risk and uncertainty* 5 (4): 297-323.
- Ulrich, K. T., et S. D. Eppinger. 1995. *Product design and development*. McGraw-Hill New York.
- Varum, C. A., et C. Melo. 2010. « Directions in scenario planning literature – A review of the past decades ». *Futures* 42 (4) (mai): 355-369. doi:10.1016/j.futures.2009.11.021.
- Vesely, W. E., F. F. Goldberg, N. H. Roberts, et D. F. Haasl. 1981. *Fault Tree Handbook*. Storming Media.
- Vidal, L. A. 2009. Thinking project management in the age of complexity. Particular implications on project risk management. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Paris.
- Villarreal Lizarraga, C. L. 2005. Contribution au pilotage des projets partagés par des PME en groupement basée sur la gestion des risques. Thèse, octobre 18.
- Villemeur, A. 1988. *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels: fiabilité. facteurs humains. informatisation*. Eyrolles.
- Voropajev, V. I., S. M. Ljubkin, B. P. Titarenko, et D. Golenko-Ginzburg. 2000. « Structural classification of network models ». *International Journal of Project Management* 18 (5): 361-368.
- Voropajev, V.I., V.N. Burkov, D. Golenko-Ginzburg, et M. Voropaeva-Cates. 2008. Network Models in Project Management. Theory and Practice: Successes, Disappointments, Future perspectives. Dans Roma, Italy.
- Wack, P. 1985. « Scenarios: Uncharted Waters Ahead ». *Harvard Business Review* 63.
- Wang, J., Y. Xu, et Z. Li. 2009. « Research on project selection system of pre-evaluation of engineering design project bidding ». *International Journal of Project Management* 27 (6): 584-599.

- Ward, S., et C. Chapman. 2003. « Transforming project risk management into project uncertainty management ». *International Journal of Project Management* 21 (2): 97-105. doi:10.1016/S0263-7863(01)00080-1.
- Woolery, J. C., et K. C. Crandall. 1983. « Stochastic Network Model for Planning Scheduling ». *Journal of Construction Engineering and Management* 109 (3).
- Wybo, J. L. 1998. *Introduction aux cindyniques*. Ed. Eska.
- Yang, K. K., L. C. Tay, et C. C. Sum. 1995. « A comparison of stochastic scheduling rules for maximizing project net present value ». *European Journal of Operational Research* 85 (2) (septembre 7): 327-339. doi:10.1016/0377-2217(94)00039-F.
- Zafra-Cabeza, A., M. A. Ridao, et E. F. Camacho. 2008. « Using a risk-based approach to project scheduling: A case illustration from semiconductor manufacturing ». *European Journal of Operational Research* 190 (3): 708–723.
- Zellner, A. 2007. « Generalizing the standard product rule of probability theory and Bayes's Theorem ». *Journal of Econometrics* 138 (1) (mai): 14-23. doi:10.1016/j.jeconom.2006.05.013.
- Zhu, Z. 2006. Success criteria for projects. Dans *Proceedings of 20th IPMA World Congress on Project Management, Vols 1 and 2*, 551-554. Shanghai: Turner R.

Résumé

Dans le contexte de la planification de projet, l'objectif de cette thèse est de s'intéresser à la prise en compte, dès les phases de conception de projet, des différents aléas potentiels pouvant survenir au cours du projet. Nous proposons ainsi une approche permettant de fiabiliser les estimations nécessaires à la prise de décision. Cette approche vise à adresser deux problématiques bien spécifiques (i) comment, pour l'évaluation d'un projet, pourrait-on tenir compte de l'ensemble des éventualités, événements et situations que le projet pourrait rencontrer au cours de son déroulement et (ii) comment tenir compte des liens et relations qui peuvent exister entre les risques. Pour cela, un modèle d'évaluation des scénarios de risque-projet en variables mixtes multi risques, multi impacts, multi stratégies de traitement, multi dépendances, est proposé. Le modèle développé est intégré à un cadre de simulation permettant de traiter le processus complet de planification de projet. Un prototype informatique supportant cette approche a ainsi été développé et appliqué sur un cas d'étude issue du secteur pharmaceutique (conduite d'une étude clinique).

Mots clés : planification, management de risque, scénarios, évaluation, aide à la décision.

Abstract

In the context of project planning, the objective of this thesis is to focus on the consideration, from the design phase of the project, of the various potential hazards that may arise during the project. We propose an approach for reliable estimates needed for decision-making. This approach aims to address two specific problems (i) how to evaluate a project, one might consider all possibilities, events and situations that the project could encounter during its implementation and (ii) how to address the linkages and relationships that can co-exist between risks. For this, a model for assessing the scenarios of risk-project in the mixed variables of multi-risk, multi-impact, multi-strategy of treatments and multi-dependency, is proposed. The developed model is integrated into a simulation framework for handling the entire process of project planning. A prototype computer program that supports this approach has been developed and applied in a case study for the pharmaceutical sector (conducting a clinical study).

Keywords : planning, risk management, scenarios, evaluation, decision support