

# THÈSE

présentée à

## L'UNIVERSITÉ BORDEAUX I

ÉCOLE DOCTORALE DE MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE

par Emmanuel CHAUVEAU

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR

SPÉCIALITÉ : Informatique

---

# Management des risques dans les projets et les processus logiciel

---

Soutenue le : 8 mars 2006

Après avis de :

<b>MM.</b>	Daniel Noyes .....	Professeur	
	Chantal Morley .....	Maître de conférences HDR	<b>Rapporteurs</b>

Devant la commission d'examen formée de :

<b>MM.</b>	Yves Dutuit .....	Professeur	<b>Président</b>
	Daniel Noyes .....	Professeur	<b>Rapporteur</b>
	Chantal Morley .....	Maître de conférences HDR	<b>Rapporteur</b>
	Richard Castanet .....	Professeur	<b>Directeur</b>
	Claire Lassudrie .....	Enseignante ENSTB	<b>Encadrante</b>
	Michel Dao .....	Industriel	<b>Examineur</b>
	Yves Métivier	Professeur	

# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1 Management des risques dans les projets : définitions et méthodes</b>	<b>5</b>
1.1 Terminologie . . . . .	5
1.1.1 Projet . . . . .	5
1.1.2 Risque . . . . .	6
1.1.3 Opportunité . . . . .	7
1.1.4 Management des risques . . . . .	8
1.2 Le processus de Management des risques . . . . .	10
1.2.1 Les prémisses de la définition du processus de management des risques .	10
1.2.2 Description du processus de management des risques . . . . .	10
1.3 Méthodes d'analyse . . . . .	18
1.3.1 L'AMDEC . . . . .	18
1.3.2 Analyse préliminaire des risques . . . . .	19
1.3.3 Le diagramme causes-conséquence . . . . .	22
1.3.4 Les arbres de défaillance . . . . .	22
1.4 Méthodes spécifiques à l'ingénierie logicielle . . . . .	24
1.4.1 La méthode Riskit . . . . .	24
1.4.2 La taxonomie des risques du SEI . . . . .	27
1.4.3 Évaluation SPICE . . . . .	29
1.4.4 La méthode Risk for Spice (R4S) . . . . .	32
<b>2 Caractérisation des risques projets</b>	<b>33</b>
2.1 Caractéristiques des risques . . . . .	33
2.1.1 Caractéristiques statiques . . . . .	33
2.1.2 Caractéristiques dynamiques . . . . .	35
2.2 Utilisation des caractéristiques dans le processus . . . . .	38
2.2.1 Définition de la stratégie . . . . .	38
2.2.2 Analyse des risques . . . . .	38
2.2.3 Traitement des Risques . . . . .	41
2.2.4 Suivi des risques . . . . .	42
2.2.5 Capitalisation . . . . .	42
2.3 Analyse de données dans un projet d'amélioration des processus logiciels . . . .	44
2.3.1 La démarche d'amélioration de France Télécom R&D . . . . .	44
2.3.2 Le management des risques dans le projet d'amélioration . . . . .	46
2.3.3 L'analyse de données . . . . .	48

2.3.4	Discussion . . . . .	53
<b>3</b>	<b>Calcul de la durée d'un projet/processus</b>	<b>57</b>
3.1	Description de la méthode . . . . .	57
3.1.1	Diagramme PERT . . . . .	57
3.1.2	Méthode d'évaluation . . . . .	58
3.1.3	Décomposition de la méthode . . . . .	58
3.2	Formalisme . . . . .	58
3.2.1	Probabilité et impact . . . . .	58
3.2.2	Diagramme PERT . . . . .	59
3.2.3	T-Distributions . . . . .	60
3.3	Distributions d'activité . . . . .	60
3.4	Distribution Globale . . . . .	62
3.4.1	Construction Inductive . . . . .	62
3.4.2	Algorithme de calcul de la distribution globale . . . . .	64
3.5	Exemple . . . . .	64
3.5.1	Analyse des risques . . . . .	65
3.5.2	Résultats obtenus . . . . .	65
3.6	Formalisation de la sémantique de coordination dans le diagramme PERT . . . . .	67
3.6.1	Formalisme choisi . . . . .	67
3.6.2	Algorithme de coloration . . . . .	69
<b>4</b>	<b>Dépendances entre risques</b>	<b>73</b>
4.1	Notion de dépendances entre risques . . . . .	73
4.2	Approche proposée pour la prise en compte des dépendances . . . . .	74
4.3	Dépendances et graphe de dépendance . . . . .	74
4.4	Méthode de calcul de la distribution de la durée d'un projet ou d'un processus en fonction des risques et de leurs dépendances . . . . .	76
4.4.1	Caractérisation d'un état . . . . .	77
4.4.2	Graphe d'état du système . . . . .	77
4.4.3	Construction du graphe d'état . . . . .	78
4.4.4	Méthode de Calcul . . . . .	83
4.5	Exemple . . . . .	87
4.6	Conclusion . . . . .	91
<b>5</b>	<b>Risques et modélisation</b>	<b>93</b>
5.1	Travaux existants dans le domaine de la modélisation des risques et des processus	93
5.1.1	Modélisation des risques . . . . .	93
5.1.2	Modélisation de projet et de processus . . . . .	94
5.2	Modélisation de processus . . . . .	94
5.2.1	Éléments de structure . . . . .	95
5.2.2	Produits du travail . . . . .	96
5.2.3	Acteur . . . . .	97
5.2.4	Méta-modèle . . . . .	97
5.2.5	Profil . . . . .	99
5.3	Intégration des risques au modèle . . . . .	101
5.3.1	Intégration du risque et caractéristiques . . . . .	101

5.3.2	Couples risque/activités et dépendances . . . . .	103
5.3.3	Profil . . . . .	107
5.3.4	Modélisation de l'exemple . . . . .	107
5.4	Conclusion . . . . .	107
<b>Conclusion</b>		<b>111</b>
<b>Acronymes utilisés</b>		<b>113</b>
<b>Bibliographie</b>		<b>115</b>



# Remerciements

Je souhaite ici remercier tout ceux qui d'une manière ou d'une autre ont rendu cette thèse possible.

Tout d'abord, je remercie France Télécom de m'avoir proposé cette thèse et de l'avoir financé.

Je remercie aussi tout particulièrement Richard Castanet pour avoir dirigé cette thèse et de m'avoir accordé du temps même si son emploi du temps était souvent chargé ainsi que Claire Lassudrie pour m'avoir encadré au jour le jour au sein de France Télécom et par la suite à l'ENST Bretagne.

Ensuite, je tiens à remercier les membres du jury : M. Dutuit, qui l'a présidé, M. Noyes et Mme Morley qui ont accepté d'être mes rapporteurs, M. Dao de France Télécom et M. Métivier pour avoir accepté en urgence de représenter M. Castanet souffrant.

Je souhaite aussi remercier les personnes suivantes :

- les collègues de France Télécom à Lannion pour leur accueil et leur soutien durant les 3 années passées parmi eux et même après,
- l'équipe du département informatique de l'ENST Bretagne pour leur accueil lors de ma dernière année de thèse,
- "La bande des thésards" de France Télécom pour la bonne humeur et les liens d'amitié créée pendant ces années de thèse et qui m'ont toujours encouragé,
- Leo Cacciari, qui m'a "converti" à l'informatique et qui m'a donné envie de faire de la recherche,
- et enfin mes parents qui m'ont toujours encouragé moralement et financièrement à poursuivre mes études et m'ont soutenu dans mes choix.



# Introduction

Depuis les origines de l'humanité, l'homme s'est essayé à un très grand nombre de réalisations grandioses. Ces constructions fabuleuses (pyramides, cathédrales, tour de Babel, muraille de Chine, . . .), expéditions extraordinaires (découverte de l'Amérique, envoi d'un homme sur la lune, escalade du mont Everest, . . .) et autres réalisations qu'elles se soit soldées par des échecs cuisants ou un succès retentissant ont nécessité de longues années, des ressources considérables.

Même si elles n'en portaient pas le nom à l'époque, ces réalisations ont toutes les caractéristiques d'un projet. Aujourd'hui encore, de grands projets voient le jour : mise au point et construction d'une centrale nucléaire à fusion (ICARE), réalisation d'une opération chirurgicale à l'autre bout du monde, traversée d'un océan à la rame. La différence principale entre les projets d'aujourd'hui et ceux de nos aïeux réside dans les méthodes et techniques existantes pour gérer ces projets.

Des années 50 à nos jours, de nombreuses démarches pour gérer les projets et améliorer la qualité des produits ont vu le jour. Le domaine du développement logiciel n'échappe pas à cet essor et est l'un des moteurs pour ces démarches.

Cependant, tout n'est pas pour le mieux dans le meilleur des mondes. En effet une étude du Standish Group réalisée en 2004 sur un panel de plus de 9000 projets de développement d'applications logicielles donne les résultats suivants :

- 29% des projets se terminent en respectant les coûts, délais et fonctionnalités prévus.
- 53% des projets ne respectent pas les délais, coûts et/ou fonctionnalités attendus
- 19% des projets sont arrêtés avant leur terme.

Ces résultats, même si la tendance est à l'amélioration depuis 1994, sont effrayants. Pour lutter contre ces piètres résultats, il faut augmenter le contrôle sur le projet afin d'en améliorer la qualité.

Le management des risques projets est un moyen efficace pour permettre un meilleur contrôle sur les projets. En effet, connaître ses points faibles et les problèmes auxquels on peut être confronté permet de mieux les contrôler, voire de les éradiquer et donc d'augmenter les chances de réussite des projets.

Cette pratique, même si elle existait de manière tacite auparavant a été décrite en tant que telle et a connu un essor au début des années 90. Les travaux de Barry Boehm et Robert Charette, notamment, ont beaucoup contribué à cette émergence.

Aujourd'hui, après une période un peu moins florissante en termes d'études spécifiques et de publications, le management des risques revient au premier plan. Ce nouvel engouement pour les risques et le management des risques est probablement lié au "Sarbanes-Oxley Act", loi votée par le congrès américain en juillet 2002 et à ses dérivés. Cette loi, promulguée suite aux divers scandales financiers, impose une certaine transparence aux entreprises. L'article 404 de cette loi impose une transparence au niveau des moyens de contrôle internes et externes de l'entreprise qui passe notamment par la mise en place de plans de maîtrise des risques.

Dans cette thèse, nous nous sommes efforcés de répondre à cette problématique et de contribuer à l'amélioration des méthodes et techniques mises en oeuvre dans le cadre du management des risques dans les projets et également dans les processus.

Cette thèse a été proposée et financée par France Télécom Recherche et Développement.

Dans le domaine du management des risques nous avons porté plus spécifiquement notre attention sur les thématiques suivantes :

- caractérisation des risques,
- impacts des risques sur la durée d'un projet ou d'un processus
- dépendances entre risques,
- modélisation d'un projet ou d'un processus et de ses risques.

La structure des chapitres du document suit pas à pas ces différents thèmes.

Dans le premier chapitre de ce document, nous nous intéressons à l'état de l'art du management des risques dans les projets. Après avoir défini les termes essentiels du domaine : projet, risque, management des risques . . . , nous décrivons le processus de management des risques et ses activités avant de nous intéresser aux différentes méthodes d'analyse des risques existantes, en particulier dans le domaine logiciel.

Le chapitre 2 propose une étude des caractéristiques du risque. Nous définissons tout d'abord un certain nombre de caractéristiques du risque, en partant de la littérature le plus souvent mais aussi en proposant certaines caractéristiques originales. Nous nous intéressons ensuite à l'utilisation de ces caractéristiques au cours des différentes phases du processus de management des risques. Nous relatons ensuite une étude fort enrichissante sur l'étude des relations entre caractéristiques : il s'agit d'une analyse de données menée sur les risques identifiés lors d'un projet d'amélioration de processus de France Télécom R&D.

Les délais étant un élément primordial dans les projets de développement logiciel, nous nous sommes intéressés dans le chapitre 3 aux impacts temporels des risques. Nous avons mis au point une méthode permettant le calcul de la distribution probabiliste de la durée globale d'un projet en fonction des risques associés. Cette méthode est basée sur l'hypothèse d'indépendance entre risques et s'appuie sur une technique d'estimation des risques originale et sur différents concepts (diagrammes PERT étendus, distribution probabiliste) que nous définissons de manière formelle.

L'hypothèse d'indépendance des risques sur laquelle s'appuie la méthode précédente est fortement simplificatrice mais souvent erronée. Nous avons donc étudié, dans le chapitre 4, la notion de dépendance entre risques que nous avons caractérisée, ce qui nous a conduit à définir un modèle de dépendance. Nous avons ensuite étendu la méthode précédente afin de prendre

en compte dans le calcul de la distribution de la durée globale d'un projet les dépendances entre risques.

Les méthodes précédentes ont été conçues de manière à être utilisables aussi bien sur des projets que des processus.

Nous nous sommes enfin intéressés à la modélisation de projets et processus en y associant leurs risques. C'est l'objet du chapitre 5. Nous avons donc mis au point un modèle et un profil ad-hoc inspirés du profil SPEM(Software Process Engineering Model) qui permettent non seulement de représenter le processus et ses risques mais aussi de réaliser une conversion facile vers les formalismes utilisés par les méthodes de calcul décrites dans les chapitre 3 et 4.



## Chapitre 1

# Management des risques dans les projets : définitions et méthodes

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons aux définitions de différents termes utilisés dans le management des risques ainsi qu'à un certain nombre de méthodes et techniques existantes du domaine.

### 1.1 Terminologie

Dans le domaine du risque, comme du management de projet et de la qualité, le vocabulaire utilisé bien que souvent puisé dans un registre courant a généralement un sens différent du sens courant.

Depuis le début des années 90, un effort de clarification et de définition a été fait notamment par les organismes de normalisation ou de standardisation (ISO, AFNOR) et d'autres organismes spécialisés dans le management de projet tels le PMI (Project Management Institute) ou l'AFITEP (Association Française de management de projet).

Il est en effet important d'utiliser un vocabulaire précis et bien défini car il est notamment utilisé dans un cadre contractuel et dans les relations client-fournisseur.

Dans cette section, nous nous intéresserons aux définitions des termes **projet**, **management de projet**, **risque**, **opportunités** et **management des risques** qui sont les termes essentiels de notre domaine d'étude.

#### 1.1.1 Projet

Nous nous proposons d'étudier les **risques d'un projet**, mais avant d'aller plus loin dans cette étude, il convient de savoir ce qu'est un projet.

De nombreux auteurs tels Meredith, Giard, Midler, Berry, Courtot ou Gourc [55, 31, 56, 9, 23, 32] et de nombreux organismes comme le PMI, l'AFITEP ou l'AFNOR [35, 3, 5] ont défini le mot projet. De ces différentes définitions, on retient les caractéristiques suivantes : un projet est unique, a un (ou plusieurs) objectif(s), est limité dans le temps et a un caractère méthodologique. Un projet est souvent lié à la structuration de l'entreprise.

Nous retiendrons la définition proposée par S. Bakir dans sa thèse [7] :

*“ Un projet est une démarche structurée permettant de réaliser un objectif. Il s’articule autour d’une idée nouvelle avec des objectifs à atteindre bien spécifiques. Il est limité dans le temps, les dates de début et de fin doivent être identifiées et il est unique, dans le sens où il n’est pas répétitif. Il se rattache à une structure particulière de l’entreprise ”*

On peut distinguer plusieurs types de projets mais, dans notre cas, nous nous intéresserons plus à des projets informatiques : développement de logiciel, développement de services. Ce type de projet comme la plupart des projets qui visent à créer des produits ont une caractéristique importante qui est d’innover.

De manière générale, la notion de projet est intimement liée à la notion de **Management de projet**. Le management de projet consiste en la planification, l’organisation et le suivi de tous les aspects du projet. Meredith et Mantel le définissent de façon très claire dans leur livre *Project Management, A Managerial Approach* [55] :

*“ Le management de projet a pour objectif d’intégrer tous les aspects du projet en termes de disponibilité des ressources et des connaissances nécessaires, mais également - et avec une plus grande importance - de réaliser le projet dans le respect des délais et coûts initialement prévus ”*

### 1.1.2 Risque

Dans un projet, surtout si c’est un projet innovant, il est inévitable que des problèmes se produisent. Ces problèmes potentiels correspondent aux risques du projet. Nous allons donc définir les termes **risque** et **risque d’un projet**.

Le mot risque, d’usage courant, est défini dans le dictionnaire (Le Petit Robert) comme un *“danger éventuel plus ou moins prévisible”* ou encore comme *“une éventualité d’un évènement ne dépendant pas exclusivement de la volonté des parties et pouvant causer la perte d’un objet ou tout autre dommage (ce sont des évènements contre lesquels on s’assure)”*. La définition courante fait aussi appel au sens de la prise de risque : le risque est alors *“ le fait de s’exposer à un danger dans l’espoir d’obtenir un avantage ”*.

Dans la littérature, on retrouve souvent les mots **aléa** et **incertitude** soit utilisés en tant que synonyme du mot risque soit pour se distinguer de celui-ci. Par exemple, Declercq [25], définit le risque comme *“un évènement dont on peut mesurer la probabilité par opposition à l’incertitude dont la probabilité n’est pas mesurable”*. Pour Joly [45] le risque est un *“danger ou inconvénient possible ou probable dont on peut mesurer l’occurrence par un calcul de probabilités”* tandis que l’aléa est un *“évènement de nature a priori inconnue et dépendant d’un hasard favorable ou non”*. Autrement dit un aléa est un risque non identifié.

Le fascicule de documentation de l’AFNOR, “Management des risques d’un projet” [5] propose un diagramme (cf figure 1.1) qui permet de mieux appréhender la différence entre risque, incertitude et aléa.

Dans ces définitions, comme dans celle de Pritchard [66] : *“ probabilité de l’apparition d’un évènement indésirable dont les conséquences sont significatives ”*, il y a une certaine confusion

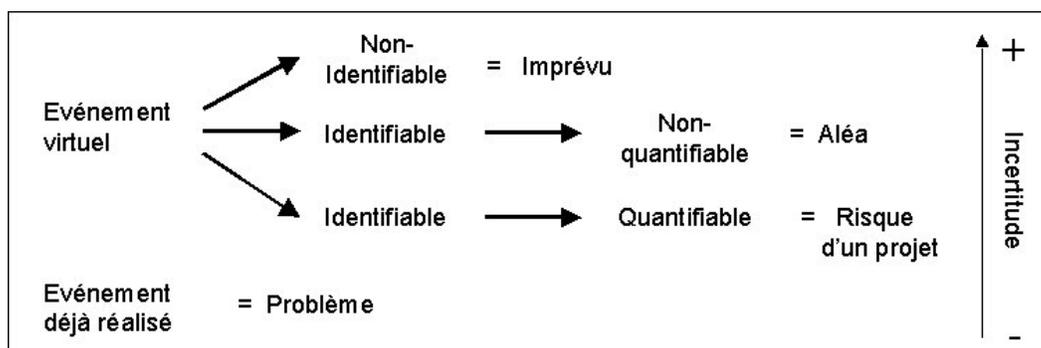


FIG. 1.1 – Risque, imprévu et aléa (source AFNOR)

entre le risque et sa probabilité d'apparition. Cette confusion se retrouve aussi au niveau normatif. En effet, le guide ISO 73 [43] définit le risque comme la *“combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences”*.

La notion qui nous intéresse ici est la notion de risque d'un projet qui est plus spécifique et précise que la définition générale du risque. Selon Giard [31], un risque projet est défini comme étant :

*“La possibilité que le projet ne s'exécute pas conformément aux prévisions de date d'achèvement, de coût et de spécifications techniques, ces écarts par rapport aux prévisions étant considérés comme difficilement acceptables voire inacceptables.”*

Cette définition met bien en avant le fait que le risque est un événement qui va affecter le projet et ses objectifs. Dans son fascicule de documentation sur le management des risques d'un projet [5], l'AFNOR définit le risque projet ou risque d'un projet de la façon suivante :

*“ événement dont l'apparition n'est pas certaine et dont la manifestation est susceptible d'affecter les objectifs du projet”*

Cette définition, assez proche de celles proposées par le BSI (British Standards Institution) [36] et par la DGA [2] est celle que nous retiendrons pour la suite.

Le BSI définit le risque de la manière suivante :

*“ Incertitude inhérente aux plans et possibilité de la survenue d'évènements (contingences) pouvant affecter les perspectives de conclure des affaires ou les objectifs d'un projet”*

La définition proposée par la DGA est :

*“Un risque est un événement dont l'apparition n'est pas certaine et dont la manifestation est susceptible d'engendrer des dommages et des perturbations significatifs sur le programme”*

### 1.1.3 Opportunité

Depuis quelques années, la vision purement négative du risque laisse peu à peu la place à une vision plus positive qui envisage aussi les risques comme des opportunités à savoir des événements incertains aux conséquences positives.

Roger L. Van Scoy dans son ouvrage “Software Development Risk : Opportunity, Not Problem” [78] est un des premiers à le mettre en avant :

*” Le risque en lui-même n’est pas mauvais ; le risque est essentiel au progrès et l’échec est souvent une clé de l’apprentissage. Mais nous devons apprendre à mettre en balance les conséquences négatives du risque avec les bénéfices éventuels de son opportunité associée.”*

Les définitions relatives au management des risques notamment anglophones mettent souvent en avant cet aspect positif et en particulier celle du SEI(c.f. section 1.1.4). L’AFNOR, par contre, dans son fascicule de documentation “Management des risques dans les projets” n’en fait mention que dans la phrase :

*“Généralement perçu comme un danger ou une menace pouvant compromettre le bon déroulement du projet, il peut aussi être porteur d’opportunités pour l’organisme.”*

Récemment, à l’occasion du colloque Lambda Mu 14 dont le thème était “Risque & opportunités”, des membres du CEA ont présenté un article [26] sur la mise en place d’un système de management des risques et des opportunités sur le projet Laser Mega Joule. Dans cet article, ils définissent une opportunité de manière symétrique à la définition de risque. Cette définition qui se base sur celle du risque proposée par la DGA [2] (cf section 1.1.2), est la suivante :

*“Opportunité : évènement espéré dont la manifestation est susceptible d’engendrer des gains en terme de performances, coûts, délais mais dont l’apparition n’est pas certaine.”*

Par la suite, nous nous intéresserons peu aux opportunités mais il est important de noter l’intérêt que suscite ce nouvel apport au management des risques.

### 1.1.4 Management des risques

Dans un contexte projet, parler de risque implique généralement de s’intéresser à la notion de **management des risques** ou en anglais de “risk management”. Dans cette section, nous nous intéressons à la définition de **management des risques d’un projet**.

On peut trouver de nombreuses définitions de la notion de management des risque projet ; par exemple, le manuel de management de projet de l’état de Tasmanie (Australie)(cf [65]) définit le management des risques comme suit :

*“Le management des risques décrit les processus concernés par l’identification, l’analyse et la réponse aux risques du projet. Il consiste en l’identification des risques, l’analyse des risques, l’évaluation des risques et le traitement des risques. Les processus sont itératifs tout au long de la vie du projet et doivent être intégrés aux activités de management du projet.”*

On retiendra aussi celle que le PMI propose dans son *Project Management Book of Knowledge* [35] (PMBok) :

*“C’est le processus systématique d’identification, analyse et réponse aux risques du projet. Il inclut la maximisation de la probabilité et des conséquences d’évènement positifs et la minimisation de la probabilité d’évènements nuisibles aux objectifs du projet”*

Le SEI propose [72, 73] la définition suivante :

*“Le management continu des risques est une pratique de génie logiciel utilisant des processus, méthodes et outils pour manager les risques d’un projet. Il fournit un environnement pour une prise de décision pro-active pour*

- évaluer de manière continue les problèmes éventuels (risques),*
- déterminer quels sont les risques importants à traiter,*
- mettre en œuvre des stratégies pour traiter ces risques.”*

R.M. Wideman, auteur du livre “Project and Program Risk Management : A Guide to Managing Project Risks and Opportunities” [81] nous propose une définition synthétique et personnelle :

*“Évaluation et Contrôle organisé des risques d’un projet.”*

Ce que l’on peut retenir de ces différentes définitions est une description du management des risques comme un processus qui regroupe des activités d’analyse des risques, de traitement et de contrôle et ce dans le but d’optimiser le projet en diminuant les pertes et en maximisant les gains. L’aspect continu/itératif du management des risques est aussi souligné.

Dans les définitions précédentes, nous avons traduit “Risk management” par management des risques mais dans la littérature francophone on retrouve fréquemment le terme gestion des risques. C’est notamment le cas dans le titre d’ouvrages tels que le livre d’Hervé Courtot, “La gestion des risques dans les projets” [23] qui fait figure de référence francophone sur le sujet et le livre plus récent d’Alain Desroches, Alain Leroy et Frédérique Vallée, “Gestion des risques : principe et pratiques” [27]. Le terme management des risques tend cependant à être de plus en plus fréquemment utilisé.

Ces deux termes peuvent être différenciés. C’est ce que fait l’AFNOR dans son fascicule de documentation “Management des risques d’un projet” [5] à l’intérieur duquel on peut trouver les définitions suivantes :

**Gestion des risques d’un projet** : *processus de traitement, de suivi, de contrôle et de mémorisation des risques identifiés et des actions entreprises pour les traiter.*

**Management des risques d’un projet** : *processus d’application de la politique de l’organisme permettant la mise en œuvre itérative et continue de l’analyse et de la gestion des risques d’un projet.*

La définition de management des risques, plus large, correspond plus à notre vision du “Risk management”. Nous retiendrons donc ce terme.

Prenant en compte ces différentes définitions nous proposons donc la définition suivante :

*Le management des risques dans les projets est un processus continu et itératif qui inclut l'analyse, le traitement, le suivi des risques et des opportunités d'un projet dans le respect de la stratégie de l'organisme en la matière.*

## 1.2 Le processus de Management des risques

Dans cette section nous nous intéresserons aux prémisses de ce qu'est le management des risques et en particulier l'approche de Boehm avant de décrire en détail le processus de management des risques tel qu'il est vu aujourd'hui.

### 1.2.1 Les prémisses de la définition du processus de management des risques

Depuis la fin des années 80 et le début des années 90, le management des risques a connu un regain d'intérêt et particulièrement dans le domaine du logiciel.

A cette époque, les pionniers du domaine notamment Barry Boehm et Robert Charette ont jeté les bases de ce qu'est aujourd'hui le management des risques. Ils ont en effet publié en 1989 les deux ouvrages de référence que sont respectivement le *Software Risk Management* [10] de Boehm et le *Software Engineering Risk Analysis and Management* [17] de Charette.

Le livre de Charette s'intéresse plus à l'analyse des risques et principalement aux éléments des théories probabilistes que l'on peut utiliser mais fournit aussi un grand nombre d'exemples pratiques tirés de son expérience dans le domaine.

Boehm, quant à lui, a plus une approche méthodologique. Son approche est synthétisée dans son article de référence *Software Risk Management : Principles and practices* [11]. Dans cet article, il décrit notamment les différentes étapes du management des risques ainsi que certaines méthodes correspondantes. Ces étapes sont représentées de manière hiérarchique et reproduites d'après l'original dans la figure 1.2.

Dans cet article, Boehm donne des conseils pour la mise en œuvre du management des risques de manière assez pratique. Les travaux de Boehm ont fortement contribué au processus de management des risques tel que nous le décrivons à la section 1.2.2.

### 1.2.2 Description du processus de management des risques

Dans cette section, nous décrivons le processus de management des risques. Cette description du processus est proche de celle que l'on peut retrouver dans le manuel de management des risques de la DGA [2] et dans le fascicule AFNOR *Manager les risques d'un projet* [5]. Une description de ce processus est donnée à la figure 1.3.

Ce processus se décompose en 5 “Activités” que nous traitons séparément dans les paragraphes suivants.

#### Définition de la stratégie

Cette activité est l'activité la plus amont. Elle consiste comme son nom l'indique à définir et planifier l'activité de management des risques dans un projet.

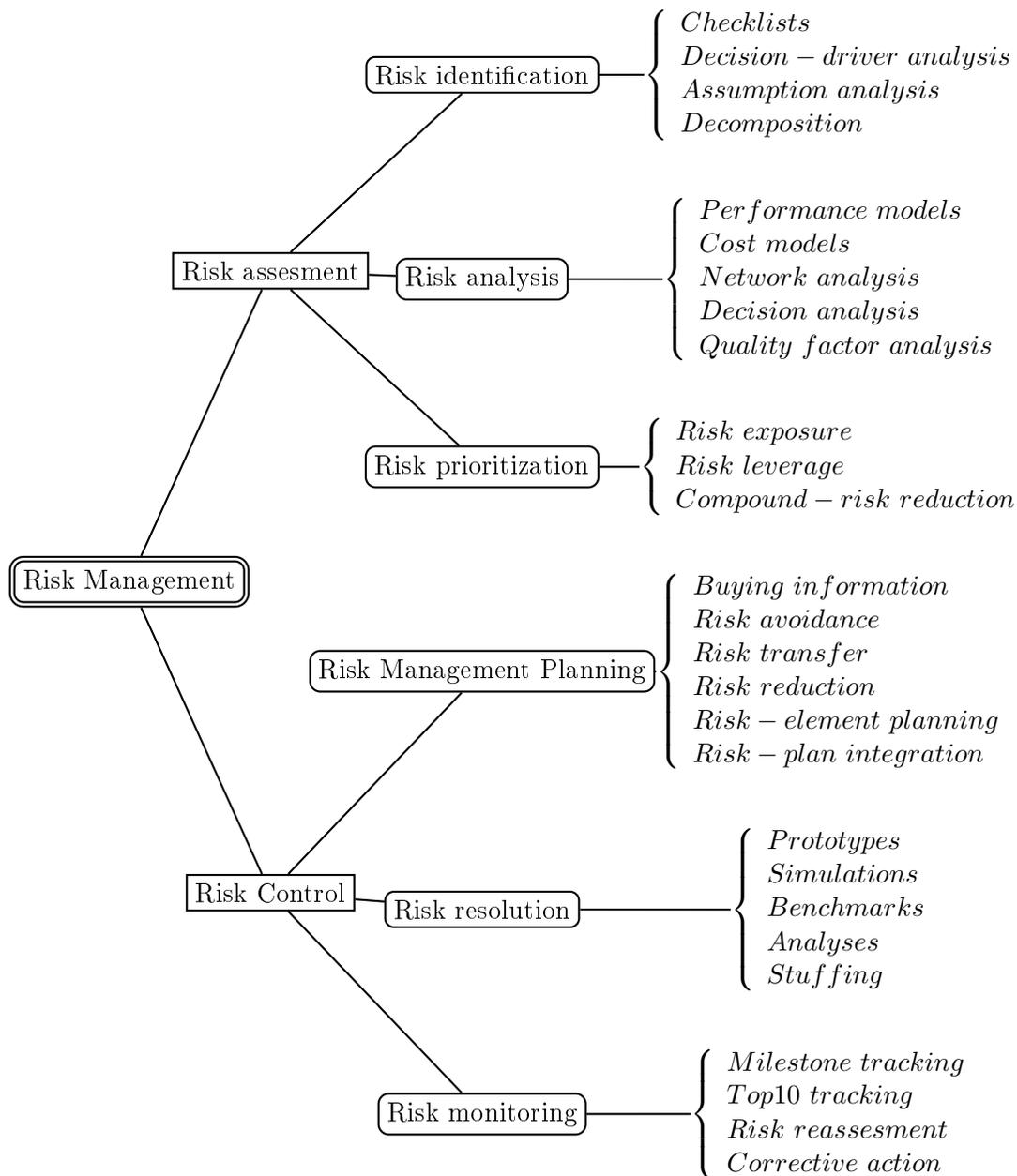


FIG. 1.2 – Étapes du management des risques d'après Boehm

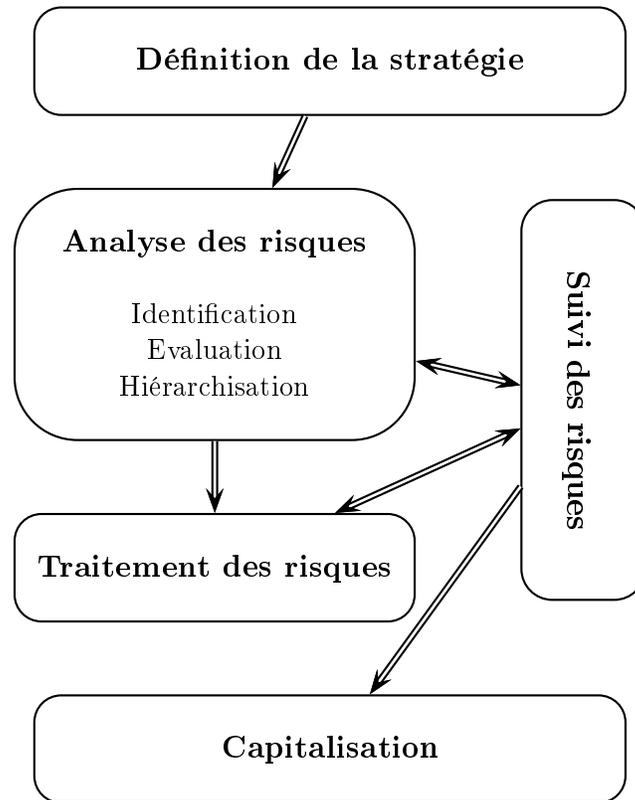


FIG. 1.3 – le processus de management des risques

On va s'intéresser notamment aux points suivants :

- Quels types de risques va t'on considérer (risques financiers, techniques, humains, ...)?
- Va t'on effectuer une évaluation quantitative ou qualitative?
- Quelles méthodes va t'on utiliser pour l'analyse?
- Quels outils (logiciels, documents types, ...) va t'on utiliser?
- Quelle politique pour le traitement et le suivi des risques?
- Qui est responsable du management des risques (Risk manager, chef de projet)?
- ...

Cette phase va permettre l'instanciation et le dimensionnement du processus pour le projet considéré.

C'est principalement dans cette phase qu'intervient la prise en compte de la politique de l'organisme en terme de management des risques qui peut être décrite dans un manuel de management des risques mais aussi dans un guide de management de projet.

L'ensemble des dispositions prises ici est retranscrit dans un document appelé *Plan de Management des Risques (PMR)* ou dans un chapitre dédié du *Plan de Management de Projet (PMP)*.

### **Analyse des risques**

Cette activité constitue le cœur du processus. On peut la découper en trois grandes sous activités : l'identification des risques, l'évaluation des risques et la hiérarchisation des risques.

#### ***Identification des risques :***

Le but de cette phase est d'identifier les risques du projet.

Identifier un risque, c'est tout d'abord lui donner un libellé qui décrit le risque. Le libellé doit être clair. A sa lecture, on doit comprendre à quoi ce risque correspond. Cette description ne doit être ni trop générale, ni trop détaillée.

Identifier un risque ce n'est pas seulement le décrire mais aussi expliciter ses causes (éléments déclencheurs) et ses conséquences (éléments induits).

Pour identifier les risques, leurs causes et conséquences on utilise un certains nombre d'outils.

Pour l'identification des risques on se reposera sur des techniques comme par exemple :

- l'analyse de documents,
- les séances de brainstorming
- les interviews de membres de l'équipe projet
- l'utilisation de catalogues de risques
- l'utilisation de checklists et de questionnaires qui permettent de vérifier que l'on n'a rien oublié ou de mettre le doigt sur un certain nombre de risques.

Chantal Morley dans son article “Différentes approche pour gérer les risques dans les projets informatiques” [58] propose une grille d’analyse permettant d’identifier les risques d’un projet.

On peut aussi utiliser la méthode SWOT (Strength Weakness Opportunities Threats) qui consiste à s’intéresser aux aspects internes et externes au projet. Dans les aspects externes, on distingue des menaces et des opportunités et dans les aspects internes on retrouve les forces et les faiblesses du projet (cf figure 1.4). A partir de ces éléments, on peut en déduire un certain nombre de risques. Cette méthode a notamment été étudiée par Bradford, Duncan et Tarcy dans “Simplified Strategic Planning : A No-Nonsense guide for Busy People Who Want Results Fast !” [13]

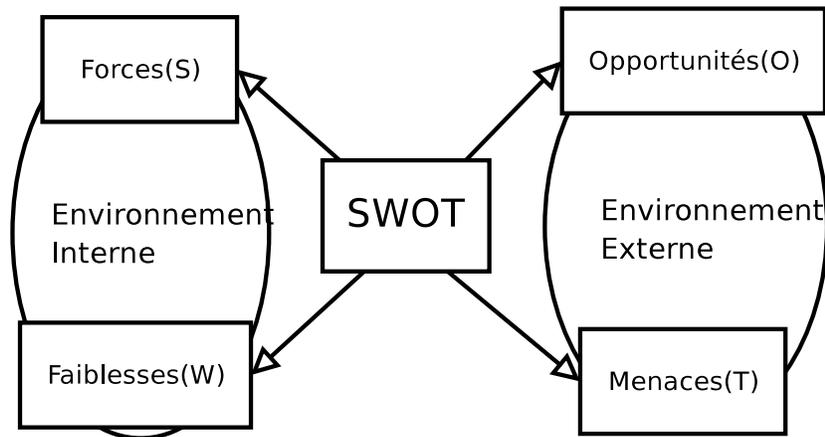


FIG. 1.4 – La méthode SWOT

Pour l’analyse des causes et conséquences on peut utiliser des méthodes globales telles que l’AMDEC ou APR mais aussi des méthodes dites ascendantes comme le diagramme causes/conséquences ou l’arbre de défaillance. Nous parlerons de ces méthodes dans la section 1.3.1.

Pour le domaine du logiciel, il existe des méthodes spécifiques basées sur la taxonomie des risques du SEI ou sur les évaluations SPICE dont nous parlerons plus en détails à la section 1.4.2.

### *Évaluation des risques :*

Évaluer les risques d’un projet, c’est donner une valeur à un certain nombre de caractéristiques des risques.

Les caractéristiques principalement utilisées sont la probabilité d’apparition du risque et l’impact qui est l’estimation des conséquences du risques. Un grand nombre de caractéristiques existent. La première partie du chapitre 2 de cette thèse décrit un certain nombre d’entre elles et comment elles peuvent être utilisées.

On distingue généralement deux types d’évaluation :

- l’évaluation quantitative qui vise à donner une valeur numérique ou une fonction de répartition de la valeur de la probabilité, de l’impact ;

- l'évaluation qualitative qui propose une évaluation sur une échelle ordinale comme par exemple "très faible, faible, fort et très fort"

Chacune de ces évaluations a ses avantages et inconvénients. L'évaluation qualitative est peu précise mais simple à mettre en œuvre tandis que l'évaluation quantitative est plus précise mais demande plus de moyens (et nécessite d'avoir collecté des données statistiques sur les risques). On recommande généralement de commencer par une évaluation qualitative puis éventuellement d'affiner les résultats par une analyse quantitative.

L'évaluation quantitative et ses implications mathématiques ont été largement étudiées et synthétisées notamment dans deux ouvrages de référence que sont les livres de Robert Charette "Software engineering risk analysis and management" [17] et de David Vose "Risk Analysis - A quantitative guide" [80].

Pour l'évaluation des risques, il n'existe que peu de méthodes spécifiques, on se fierait essentiellement à l'analyse de documents, aux interviews mais avant tout aux retours d'expérience et aux avis d'experts.

Comme pour l'identification, l'évaluation peut être incluse dans des méthodes d'analyse globale.

Si on a opté pour une analyse quantitative, il est intéressant de procéder à des simulations. La méthode la plus connue est la méthode de simulation de Monte-Carlo [80]. C'est une méthode stochastique qui consiste à procéder à un grand nombre de simulations. Pour chaque risque, on effectue un tirage aléatoire déterminant son occurrence ou non et on en déduit l'impact correspondant. On obtient ainsi une répartition statistique de l'impact global des risques du projet.

D.Noyes et R.Gouriveau dans leur article "Outils d'analyse des risques dans le processus de réponse à appel d'offre" [59] à la conférence Qualita 2001 un arbre de risque, structure d'arbre de risque permettant de stocker les différentes caractéristiques d'un risque et leur évaluation.

### ***Hierarchisation des risques***

Cette phase est très utile car elle permet une hiérarchisation des risques. Pour ce faire, nous introduisons la notion d'exposition que l'on retrouve aussi sous le nom de criticité.

L'exposition est obtenue par combinaison de différentes caractéristiques du risque ; généralement, on se restreint à la probabilité et à l'impact mais on peut aussi introduire la détectabilité ou autres caractéristiques (cf chapitre 2)

Si l'on a procédé à une évaluation quantitative, l'exposition sera une fonction des différentes caractéristiques. Elle est souvent calculée comme le produit de la probabilité par l'impact.

Si l'on procède à une évaluation qualitative, l'exposition pourra être définie par une matrice à  $n$  dimensions où  $n$  est le nombre de caractéristiques prises en compte (généralement,  $n = 2$ ).

Généralement on utilise une matrice (probabilité/impact) dont un exemple est donné à la figure 1.5.

Les risques sont ensuite classés par valeur décroissante ou par niveau d'exposition.

# CHAPITRE 1. MANAGEMENT DES RISQUES DANS LES PROJETS : DÉFINITIONS ET MÉTHODES

Impact \ Probabilité	Très faible	Faible	Forte	Très forte
Très faible	mineure	mineure	acceptable	acceptable
Faible	mineure	acceptable	acceptable	<b>inacceptable</b>
Fort	acceptable	<b>inacceptable</b>	<b>inacceptable</b>	<b>majeure</b>
Très fort	<b>inacceptable</b>	<b>majeure</b>	<b>majeure</b>	<b>majeure</b>

FIG. 1.5 – Exemple de matrice d'exposition

Une autre possibilité, pour lever les difficultés liées au choix sur une échelle de valeur, est de situer les risques, sur un graphe non normé, appelé “Graphe sémantique Fréquence-Gravité” qui est notamment décrit par Thibault, Soyer et Riout dans leur article “Hiérarchisation des risques et choix des outils d'évaluation pour l'acceptabilité” [77].

La variation de distance sur l'axe des X (la gravité) et sur l'axe des Y (la fréquence) permet de prendre en compte un aspect qualitatif et subjectif proche du dire humain. La distance pourra représenter des estimations, des appréciations humaines du type : “un peu plus que, autant que, beaucoup plus que, moins que, etc.”. Ici les risques sont hiérarchisés par un double positionnement relatif (fréquence et gravité).

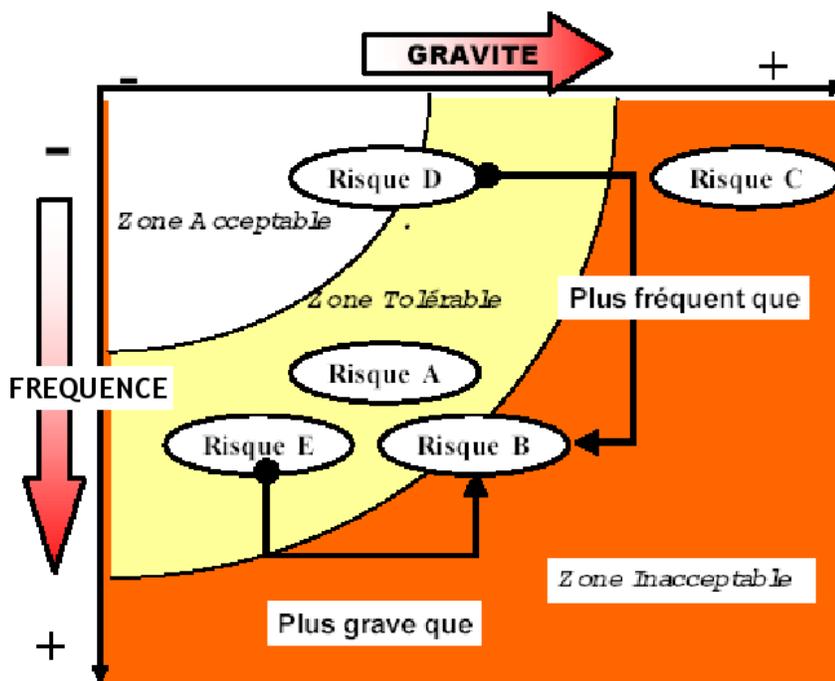


FIG. 1.6 – Un exemple de graphe sémantique

Sur l'exemple de la figure 1.6, le risque A est beaucoup plus fréquent que le risque D et un peu moins fréquent que le risque B. La définition de seuils d'acceptation (niveau tolérable ou acceptable) est ici arbitraire. La zone d'acceptabilité n'est pas construite a priori mais de

façon dynamique et interactive par le groupe d'analyse.

Les règles de construction d'un graphe sémantique [F : G] sont simples :

1. tous les risques sont listés ;
2. deux risques ne peuvent se chevaucher ;
3. La distance entre deux risques indique la graduation de la gravité et/ou de la fréquence (sous un aspect d'appréciation ou d'évaluation humaine).

Quelques expérimentations ont permis de montrer que plusieurs groupes différents obtiennent quasiment la même représentation, mais pas forcément le même centrage. Selon la sensibilité au risque du groupe, celui-ci jugera le même risque plus ou moins grave mais les positions relatives sont assez proches. La diversité de la composition du groupe prend alors une importance plus grande que dans d'autres systèmes car l'implication, la culture et la sphère sociale interviennent sur le niveau d'acceptabilité d'un risque.

Dans notre cas, nous utiliserons plutôt les termes probabilité et impact que les termes fréquence et gravité.

### **Traitement des risques**

Cette activité consiste à définir pour chaque risque ou, du moins, pour les risques dont l'exposition est la plus élevée, une réponse à ce risque. Il existe 4 types de réponse principaux :

- le transfert du risque,
- le traitement préventif,
- le traitement correctif,
- l'acceptation passive,

Le transfert du risque consiste à faire prendre en charge le risque par un tiers. Il peut s'agir de prendre une assurance ou de transférer le risque à un sous-traitant (éventuellement de manière contractuelle).

Le traitement préventif consiste à établir un plan d'actions qui vont influencer sur une ou plusieurs caractéristiques du risque : les causes, afin d'en faire baisser la probabilité d'apparition, les conséquences afin d'en réduire l'impact, d'augmenter la détectabilité, etc. . .

Le traitement correctif va consister à établir un plan d'actions correctives ou plan d'urgence, c'est à dire des actions à mettre en œuvre en cas d'occurrence du risque.

Enfin l'acceptation passive revient à choisir de ne rien faire.

Les différentes réponses et actions définies sont à considérer dans leur ensemble et doivent être regroupées dans un plan d'actions. Il est important de noter que plusieurs actions peuvent influencer sur plusieurs risques mais aussi qu'une seule action peut agir sur plusieurs risques. De plus le choix de telle ou telle réponse ou action peut induire de nouveaux risques.

### **Suivi des risques**

Cette phase consiste principalement en trois activités :

- le suivi de l'évolution des risques et des actions ; pour ce faire, le point sur les risques et les actions est effectué régulièrement,
- le déclenchement des plans d'urgence, si un risque pour lequel on a choisi un traitement correctif se produit,
- le déclenchement régulier (jalons, périodicité définie dans le plan de management des risques) ou exceptionnel de phases d'analyse des risques afin d'identifier de nouveaux

risques, de réévaluer des risque déjà identifiés ou de redéfinir des actions de traitement, celles en cours ne s'avérant pas efficaces.

Une méthode courante et simple pour le suivi des risques est l'utilisation du Top 10 qui consiste à suivre les dix risques du projet les plus dangereux (exposition la plus forte par exemple).

Pour des gros projets, il est recommandé d'utiliser des outils spécifiques mais dans les cas les plus simples, l'utilisation d'un tableur est amplement suffisante.

### Capitalisation

Cette phase arrive à la fin du projet et permet un retour d'expérience sur les risques survenus dans le projet et les actions de traitement mises en œuvre.

En effet, l'idée est d'enrichir un catalogue de risques (généralement celui de l'organisme). Pour ce faire, on ne va enregistrer que les risques reproductibles dans d'autres projets du même type, en ne gardant que certaines informations sur ces risques (apparus ou pas, causes conséquences, actions mises en œuvre) et en rendant les risques génériques au maximum en faisant abstraction des spécificités du projet (nom du projet, remplacer les noms de personnes par leur rôle, etc. . .).

Si cette phase est effectuée de manière systématique, le catalogue résultant est alors un outil très efficace pour l'identification. En effet, ce catalogue fournit alors une base de risques assez importante qui permet d'identifier des risques que l'on pourrait négliger autrement et surtout des risques qui tout en étant génériques sont propres à l'organisme et à son contexte. De plus, les actions associées à un risque dans le catalogue permettent de proposer des actions pour le risque identifié.

## 1.3 Méthodes d'analyse

Dans cette section, nous nous intéressons à des méthodes d'analyse largement utilisées et issues des domaines de la qualité et de la sûreté de fonctionnement. Nous décrirons dans un premier temps les méthodes d'analyse globale que sont l'AMDEC et l'APR avant de nous intéresser dans un second temps à deux méthodes d'analyse des causes : les diagrammes causes/conséquences et les arbres de défaillance.

### 1.3.1 L'AMDEC

AMDEC est un acronyme pour "Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités". Mise au point à la fin des années 40 [60] par l'armée américaine, puis repris par l'industrie aéronautique américaine, elle s'est exportée dans d'autres domaines comme, par exemple, l'automobile. Aujourd'hui, l'AMDEC est normalisée [61, 69, 4].

Pour la décrire de manière succincte, on dira que l'AMDEC est une méthode d'analyse inductive ou descendante.

On part du produit ou du système que l'on veut concevoir ou analyser et on le décompose en éléments(composants) ou en fonctions que le produit/système doit réaliser. Pour chaque fonction, on définit un certain nombre de modes de défaillance. Pour simplifier un mode de défaillance représente un type de fonctionnement anormal.

Ensuite, pour chaque mode de défaillance, on détermine ses causes potentielles et ses effets et ce en décomposant au maximum. Le schéma de la figure 1.7 permet une meilleure compréhension de ce découpage.

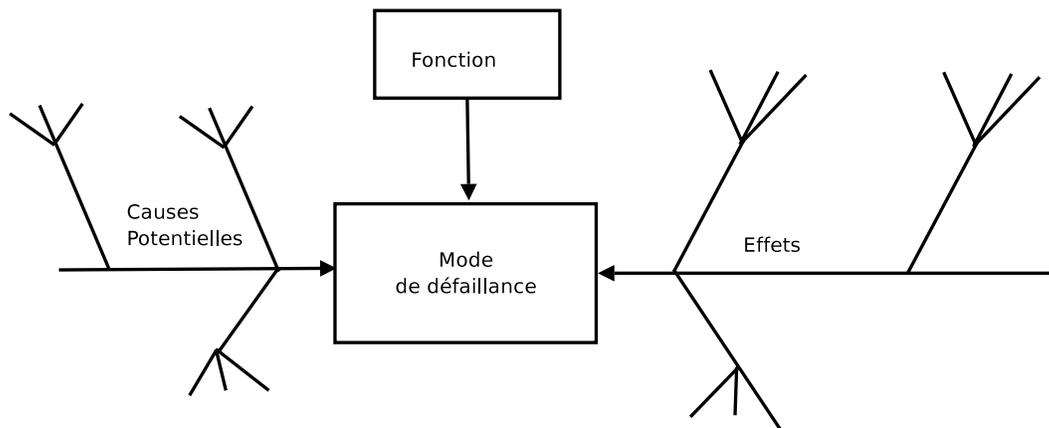


FIG. 1.7 – structure AMDEC

Les effets et les causes sont évalués de manière quantitative à partir d'une grille spécifique. On leur attribue une criticité. Ce qui permet par la suite de hiérarchiser les causes et conséquences et proposer un certain nombre d'actions pour empêcher ces défaillances.

Les résultats de ces analyses sont consignés dans des grilles dont celle de la figure 1.8 est un exemple.

Cette méthode est très utilisée et permet une analyse très poussée. Elle est à l'origine d'autres méthodes tels que HAZOP (Hazard Operations) [68] ou l'AEEL (Analyse des Effets des Erreurs des Logiciels) qui est une adaptation pour le logiciel.

Même si cette méthode a été conçue pour l'analyse de produit ou de système, elle peut être utilisée pour un projet.

### 1.3.2 Analyse préliminaire des risques

L'analyse préliminaire des risques (APR) est elle aussi une méthode descendante mais s'adresse plus particulièrement à la conception de systèmes nouveaux.

Elle consiste en utilisant un tableau similaire à celui de la figure 1.9 à :

- identifier à l'aide de check-listes des éléments dangereux, des situations dangereuses et des accidents potentiels,
- déterminer les événements qui mènent les éléments dangereux dans une situation dangereuse ou en accident,
- calculer la gravité des conséquences afin de les hiérarchiser,
- définir des mesures (procédures, règles de conception, etc...) pour détecter, maîtriser voire supprimer les situations dangereuses et les accidents possibles.

Cette analyse reste assez globale et peut être les prémisses d'une analyse plus détaillée. Elle est facilement utilisable dans le cadre d'un projet.





### 1.3.3 Le diagramme causes-conséquence

Le diagramme causes-conséquence [37] aussi appelé diagramme d'Ishikawa du nom du professeur japonais qui l'a développé à la fin des années quarante, ou encore diagramme en arêtes de poisson (à cause de sa forme), permet une représentation graphique des causes pour une conséquence donnée.

L'évènement ou la situation que l'on cherche à analyser est sur une ligne centrale ( la dorsale) puis chaque type de cause est représenté par une arête principale, qui à son tour, a des arêtes auxiliaires qui représentent les causes réelles. Pour une lisibilité maximale il est conseillé de ne pas aller plus loin que les arêtes secondaires.

Cette méthode dont un exemple de résultat est donné à la figure 1.10 est facilement compréhensible par les différents contributeurs d'un projet et est assez largement utilisé. C'est l'un des neuf outils de la qualité totale.

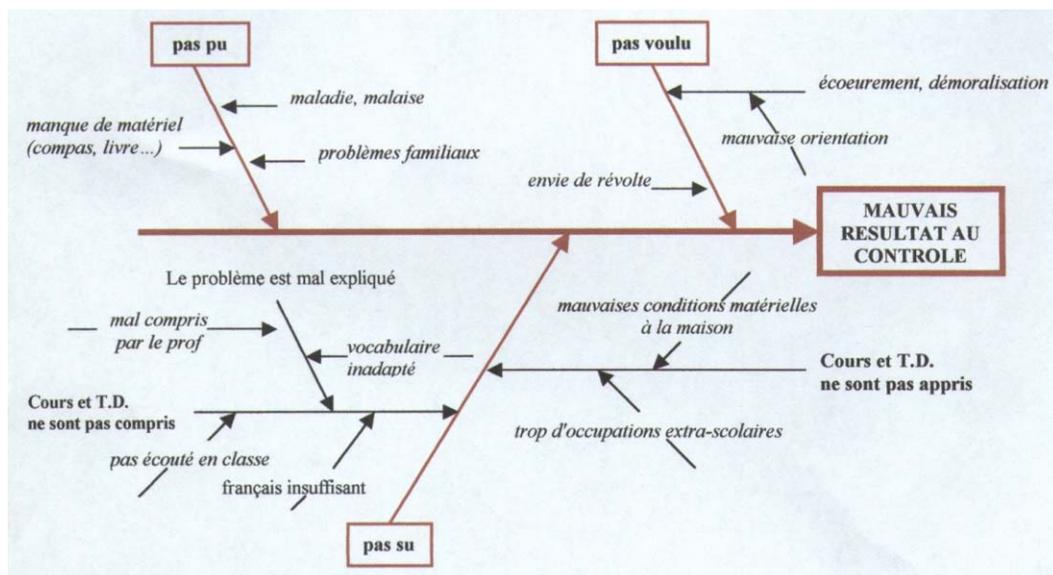


FIG. 1.10 – Exemple de diagramme d'Ishikawa

### 1.3.4 Les arbres de défaillance

L'arbre de défaillance est une technique mise au point dans le domaine de la sûreté de fonctionnement et a pour but d'explicitier les évènements conduisant à un évènement ou une situation redoutée.

On va donc décomposer de manière logique l'évènement redouté en une combinaison de ses causes sur plusieurs niveaux (évènements intermédiaires) jusqu'à obtenir une décomposition en évènements de base. L'arbre de défaillance est la représentation graphique de cette décomposition logique. (chaque combinaison logique est représentée par les portes logiques correspondante : ET, OU, NON)

Un exemple d'arbre de défaillance sur un système de refroidissement est donné à la figure 1.11.

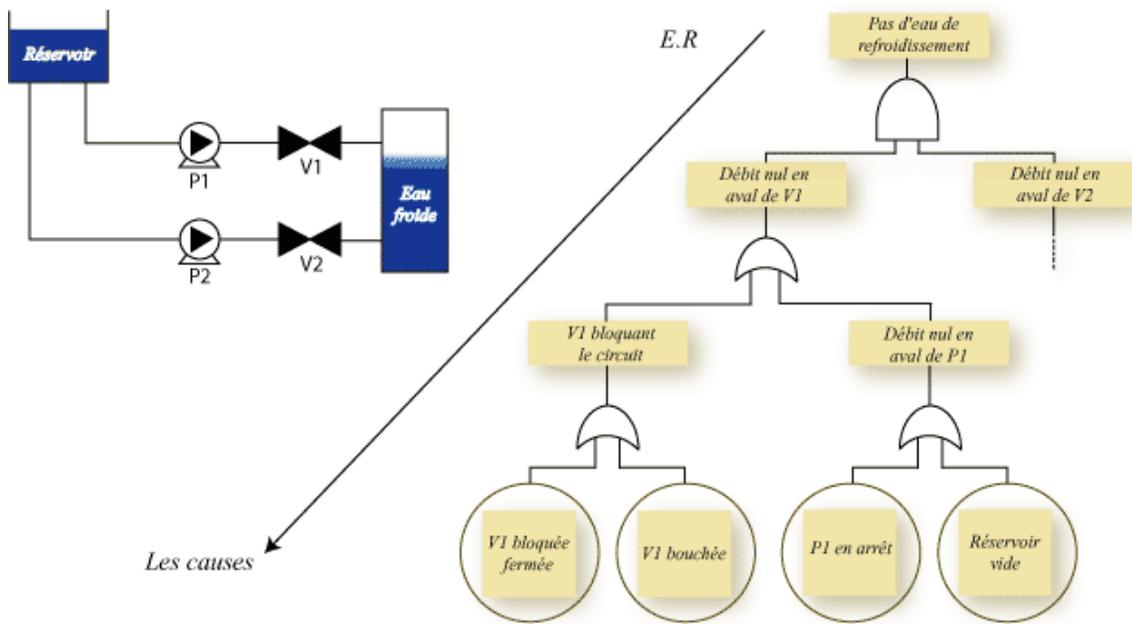


FIG. 1.11 – Exemple d'arbre de défaillance

## 1.4 Méthodes spécifiques à l'ingénierie logicielle

Dans cette section, nous parlerons de méthodes qui ont été développées dans le milieu du logiciel. Tout d'abord nous parlerons de la méthode Riskit qui est une méthode globale de management des risques avant de nous intéresser à des méthodes d'identification et d'analyse liées aux démarches qualité CMM (Taxonomie des risques du SEI) et SPICE (ISO 15504).

### 1.4.1 La méthode Riskit

Nous allons maintenant nous intéresser à une méthode de management des risques particulière qui est la méthode Riskit. Nous avons choisi de décrire cette méthode car elle est complète, c'est à dire qu'elle prend en compte le management des risques dans son ensemble et qu'elle s'adresse initialement au monde du logiciel.

Riskit a été développé par Jirki Kontio d'abord chez Nokia puis à l'université du Maryland(USA) et est décrite dans le document : "The Riskit Method for Software Risk Management" [46].

Cette méthode part des constats suivants :

- le risque est souvent une notion floue et imprécise,
- les méthodes de management des risques s'appuient souvent sur une évaluation quantitative souvent imprécise due à des données insuffisantes,
- la prise en compte des objectifs différents selon les décideurs n'est généralement pas traitée,
- l'évaluation des risques ne prend généralement en compte qu'un type d'effet (délai, coût, qualité du produit) mais rarement une combinaison et ignore des effets comme, par exemple, ceux impliquant l'image de marque,
- le management des risques est souvent perçu comme trop compliqué ou coûteux à mettre en œuvre.

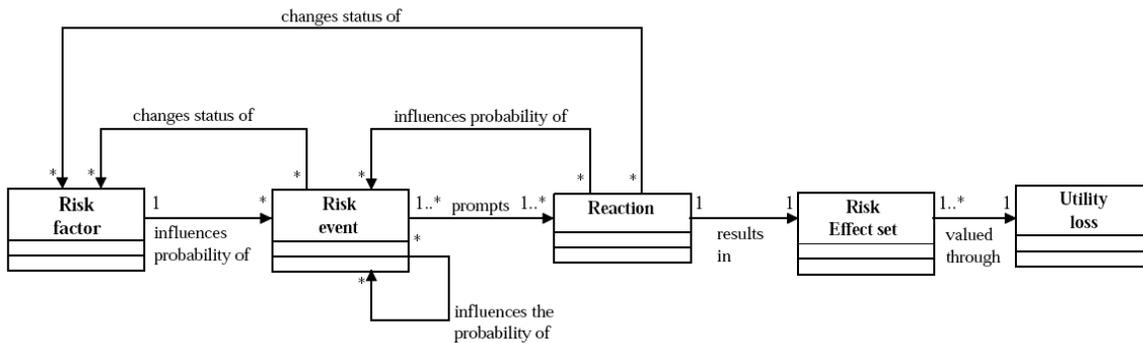


FIG. 1.12 – Les éléments du risque dans Riskit

La méthode proposée cherche à répondre à ces inconvénients. Pour ce faire, elle propose une modélisation rigoureuse du risque en considérant ses différents éléments et son contexte. Ainsi, Kontio propose deux méta-modèles du risque correspondant à une vue interne (figure 1.12) et externe (figure 1.13).

Le premier méta-modèle intègre les différents éléments du risque : facteurs de risque, l'évènement lui-même, les réactions possibles, leurs effets et les pertes qu'elles peuvent engendrer.

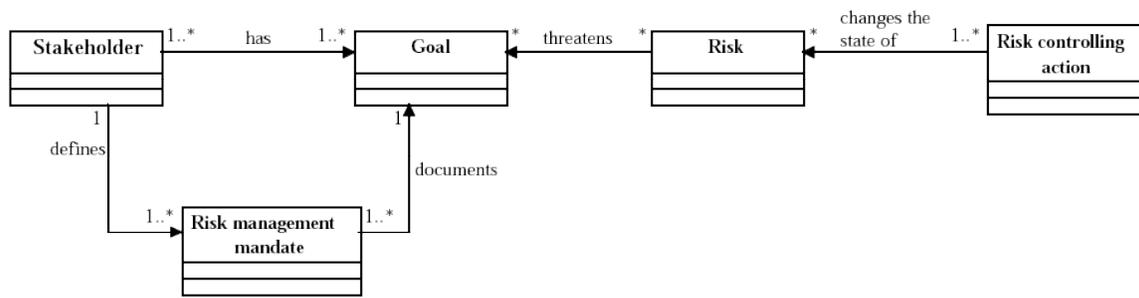


FIG. 1.13 – Le risque et son environnement dans Riskit

Le second méta-modèle décrit le risque dans son environnement : les décideurs, les buts et les actions de contrôle sur le risque..

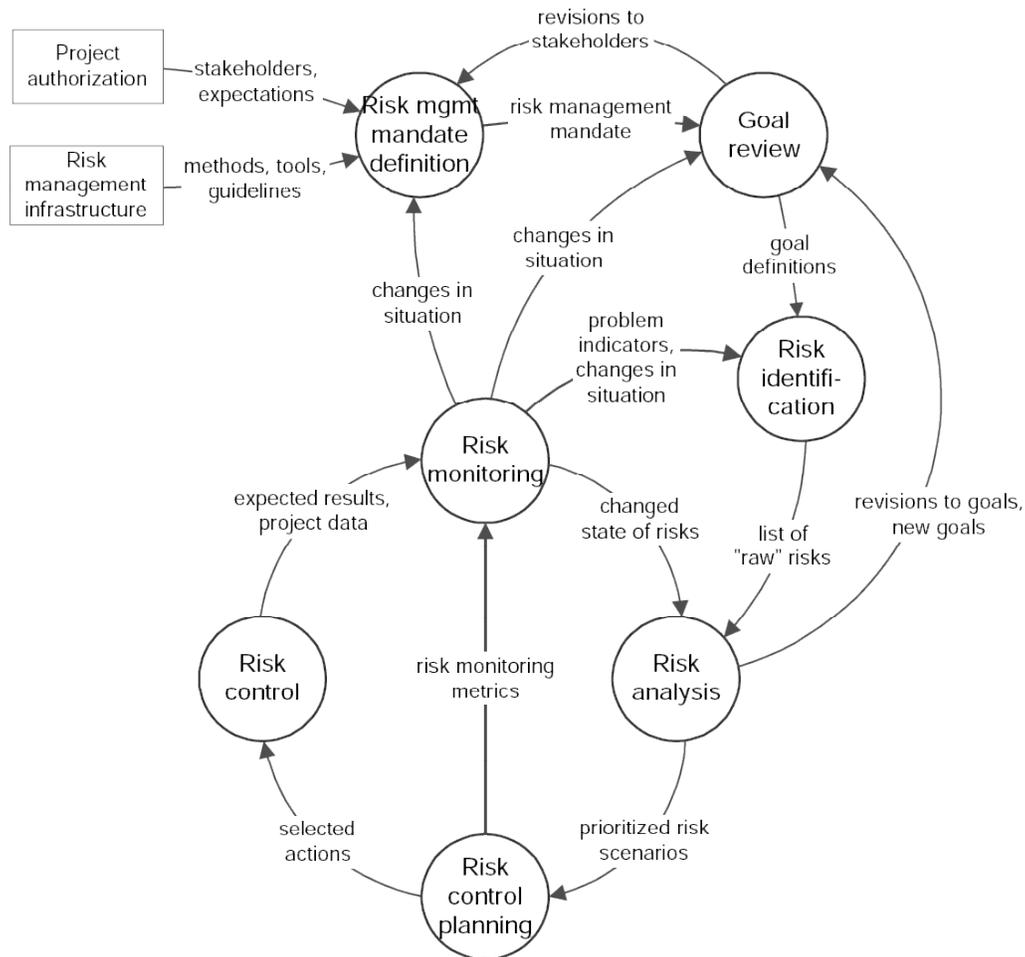


FIG. 1.14 – le processus de Riskit

## CHAPITRE 1. MANAGEMENT DES RISQUES DANS LES PROJETS : DÉFINITIONS ET MÉTHODES

---

Cette méthode propose aussi son propre processus (cf. figure 1.14) dans lequel on retrouve les différentes phases du processus que nous avons décrit précédemment. Chaque étape de ce “cycle de vie du management des risques” est décrite avec précision dans le guide de référence de même que les éléments de sorties des différentes activités.

A partir de l’identification des risques, on construit des graphes d’analyse de risques qui sont en fait l’instanciation du méta-modèle de la figure 1.12. Un exemple est donné à la figure 1.15.

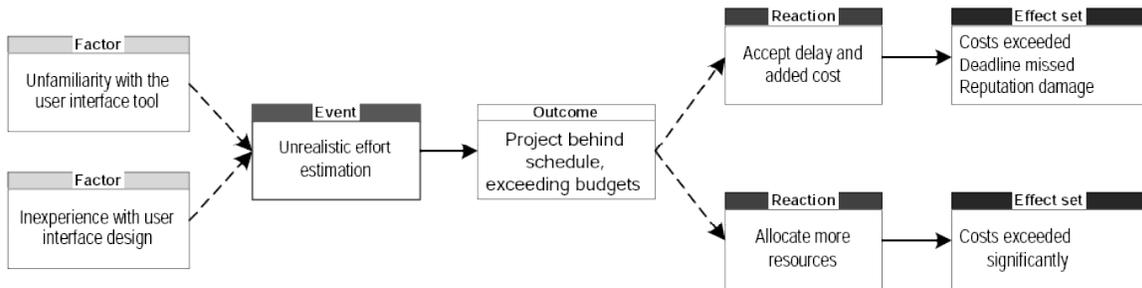


FIG. 1.15 – exemple de graphe d’analyse Riskit

Cette méthode fournit un cadre semi-formel rigoureux et complet mais qui peut être adapté au projet considéré. Cette méthode a été mise en œuvre avec des résultats satisfaisants dans un certain nombre de projets industriels [47, 29, 48].

### 1.4.2 La taxonomie des risques du SEI

En 1993, le SEI a publié un rapport technique intitulé “Taxonomy-Based Risk Identification” [15]. Ce rapport est consacré à l’identification des risques dans les projets de développement logiciel. La méthode proposée se base sur un découpage rigoureux des différents aspects d’un projet de développement logiciel et sur un questionnaire basé sur cette taxonomie qui permet d’identifier un maximum de risques.

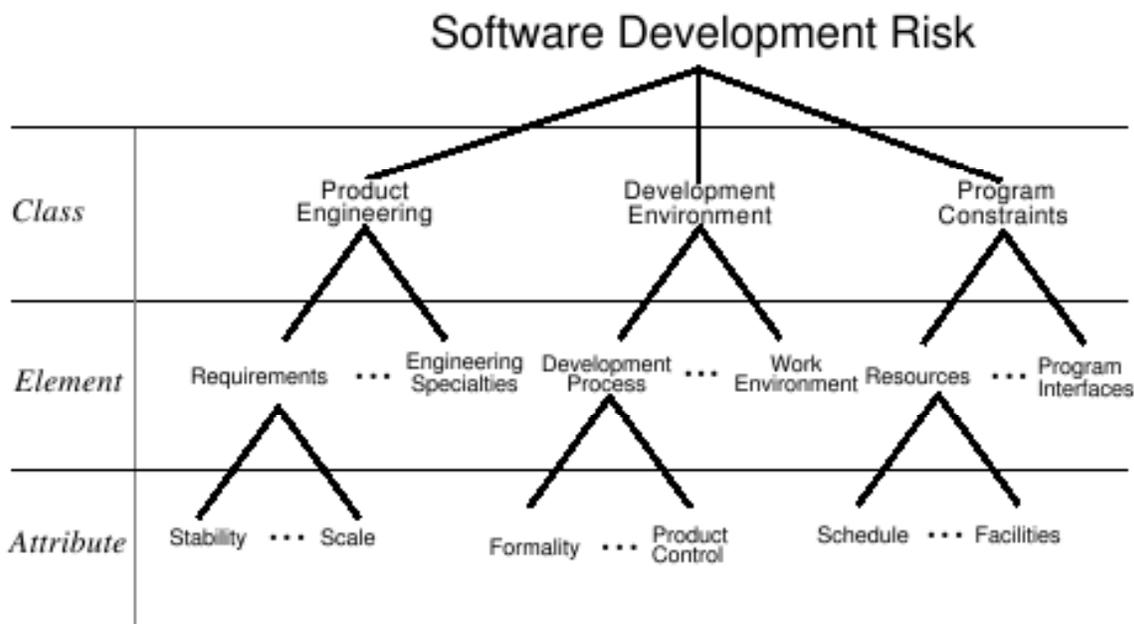


FIG. 1.16 – Structure de la taxonomie

La taxonomie proposée est une classification en trois niveaux : classes, éléments et attributs comme on peut le voir à la figure 1.16.

Les classes sont les grandes catégories d’éléments du projet. Elles sont au nombre de trois :

- *Ingénierie du produit*, qui regroupe les aspects ayant trait au développement lui-même
- *Environnement de développement* qui regroupe les aspects liés au contexte du développement
- *Contraintes du projet* qui regroupe tout ce qui a trait aux contraintes liées au projet et au produit à développer.

Les éléments sont des sous-domaines des classes : on y retrouve par exemple pour la classe *Ingénierie du produit* : *Exigences*, *Conception*, *Codage et test unitaire*, *Intégration et test* et enfin *Ingénieries spécifiques*.

Les attributs sont des aspects particuliers des éléments. Pour l’élément *Codage et test unitaire* par exemple, nous avons les attributs : *faisabilité*, *test* et *codage/implémentation*.

La liste complète est donnée à la figure 1.17.

Cette taxonomie a récemment été adaptée pour les processus dans le document “A Taxonomy of Operational Risks” [30].

## CHAPITRE 1. MANAGEMENT DES RISQUES DANS LES PROJETS : DÉFINITIONS ET MÉTHODES

---

- | A. Product Engineering        | B. Development Environment  | C. Program Constraints   |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1. Requirements               | 1. Development Process      | 1. Resources             |
| a. Stability                  | a. Formality                | a. Schedule              |
| b. Completeness               | b. Suitability              | b. Staff                 |
| c. Clarity                    | c. Process Control          | c. Budget                |
| d. Validity                   | d. Familiarity              | d. Facilities            |
| e. Feasibility                | e. Product Control          |                          |
| f. Precedent                  |                             | 2. Contract              |
| g. Scale                      | 2. Development System       | a. Type of Contract      |
|                               | a. Capacity                 | b. Restrictions          |
| 2. Design                     | b. Suitability              | c. Dependencies          |
| a. Functionality              | c. Usability                |                          |
| b. Difficulty                 | d. Familiarity              | 3. Program Interfaces    |
| c. Interfaces                 | e. Reliability              | a. Customer              |
| d. Performance                | f. System Support           | b. Associate Contractors |
| e. Testability                | g. Deliverability           | c. Subcontractors        |
| f. Hardware Constraints       |                             | d. Prime Contractor      |
| g. Non-Developmental Software | 3. Management Process       | e. Corporate Management  |
|                               | a. Planning                 | f. Vendors               |
| 3. Code and Unit Test         | b. Project Organization     | g. Politics              |
| a. Feasibility                | c. Management Experience    |                          |
| b. Testing                    | d. Program Interfaces       |                          |
| c. Coding/Implementation      |                             |                          |
|                               | 4. Management Methods       |                          |
| 4. Integration and Test       | a. Monitoring               |                          |
| a. Environment                | b. Personnel Management     |                          |
| b. Product                    | c. Quality Assurance        |                          |
| c. System                     | d. Configuration Management |                          |
|                               |                             |                          |
| 5. Engineering Specialties    | 5. Work Environment         |                          |
| a. Maintainability            | a. Quality Attitude         |                          |
| b. Reliability                | b. Cooperation              |                          |
| c. Safety                     | c. Communication            |                          |
| d. Security                   | d. Morale                   |                          |
| e. Human Factors              |                             |                          |
| f. Specifications             |                             |                          |

FIG. 1.17 – Taxonomie des risques pour le développement logiciel

Le SEI a aussi développé une méthode de management des risques pour le domaine du logiciel : “Software Risk Evaluation”(SRE) [83] qui est une méthode globale d’analyse des risques. Elle recommande l’utilisation de la taxonomie pour l’identification des risques. La SRE est accompagnée d’un guide [84] d’aide à la mise en place d’une SRE qui détaille les différentes étapes d’une SRE et, notamment, comment utiliser le questionnaire lié à la taxonomie.

### **1.4.3 Évaluation SPICE**

Le standard d’évaluation des processus logiciels ISO/CEI TR 15504 plus connu sous le nom de SPICE [39] propose dans une de ses parties un “Guide pour l’utilisation dans la détermination d’aptitude de processus de fournisseur” [41].

Ce document propose notamment une méthodologie qui permet, suite à une évaluation, de processus de déterminer le niveau de risque de ce processus. Cette méthode se base sur les écarts entre les résultats évalués et les résultats demandés que l’on qualifiera de cibles.

Un processus est évalué sur 9 attributs répartis sur cinq niveaux :

- niveau 1 : processus réalisé
  - attribut 1 : réalisation du processus
- niveau 2 : processus géré
  - attribut 2.1 gestion de la réalisation
  - attribut 2.2 gestion des produits
- niveau 3 : processus établi
  - attribut 3.1 définition du processus
  - attribut 3.2 ressources du processus
- niveau 4 : processus prévisible
  - attribut 4.1 mesurage du processus
  - attribut 4.2 maîtrise du processus
- niveau 5 : processus en optimisation
  - attribut 5.1 changement de processus
  - attribut 5.2 amélioration du processus

Les attributs sont évalués sur l’échelle suivante : non réalisé, partiellement réalisé, largement réalisé, pleinement réalisé (N,P,L,F).

Lorsqu’on évalue un fournisseur ou qu’on effectue une évaluation d’aptitude, on définit un profil cible sur un certain nombre de processus.

Un exemple de profil cible et de profil évalué est donné à la figure 1.18.



Nombre d'écarts individuels par niveau d'aptitude	Écart de niveau d'aptitude
Pas d'écart majeur ou mineur	Aucun
Seulement écarts mineurs	Léger
Un écart majeur aux niveaux 2-5	Significatif
Un seul écart majeur au niveau 1 ou plusieurs aux niveaux 2-5	Substantiel

FIG. 1.20 – Écarts associés au niveau d'aptitude

L'impact potentiel d'un problème précis dépend du niveau d'aptitude auquel un écart survient :

- un écart au niveau En Optimisation peut amener à une optimisation réduite du ratio coût/délais et une capacité réduite à intégrer les changements technologiques ;
- un écart au niveau Prévisible peut aussi amener à une incapacité à prévoir une réalisation ou à ne pas détecter un problème à temps ;
- un écart au niveau Établi peut amener, en plus des problèmes cités ci-dessus, une efficacité réduite des dépenses et une uniformisation réduite des pratiques, dans le temps et dans l'espace ;
- un écart au niveau Géré peut en plus amener à des dépassements de coûts et de délais ;
- un écart au niveau Réalisé peut également mener à tous les problèmes précédents et bien sûr, de façon plus critique, à une carence de produits du travail ainsi qu'à un niveau de qualité du produit inacceptable.

En fonction de l'écart et du niveau d'aptitude où il intervient, on peut déterminer le niveau de risque global du processus à l'aide d'une matrice similaire aux matrices d'exposition. Cette matrice est donnée à la figure 1.21

Localisation de l'écart de niveau d'aptitude(impact)	Amplitude de l'écart niveau d'aptitude(probabilité)			
	Aucun	Léger	Significatif	Substantiel
<b>En optimisation</b>	non identifiable	faible	faible	faible
<b>Prévisible</b>	non identifiable	faible	faible	moyen
<b>Établi</b>	non identifiable	faible	moyen	moyen
<b>Géré</b>	non identifiable	moyen	moyen	élevé
<b>Réalisé</b>	non identifiable	moyen	élevé	élevé

FIG. 1.21 – Détermination du niveau de risque global

#### **1.4.4 La méthode Risk for Spice (R4S)**

Anciennement appelée Spice-R, cette méthode développée par Synspace[79] combine à la fois la taxonomie du SEI et l'évaluation SPICE.

Pour chaque attribut de la taxonomie du SEI(étendue légèrement), R4S propose au moins un risque générique. Chaque risque est associé à un ou plusieurs processus du référentiel SPICE qui permettent de réduire ce risque.

En fonction de ces processus, et du niveau auxquels ils ont été évalués et des écarts de niveau avec la cible on obtient une valeur de vraisemblance (équivalente à une probabilité).

Cette valeur permet de situer le niveau de vraisemblance du risque sur une échelle qualitative (minimum, faible, moyen, fort, maximum).

Le niveau de gravité du risque (impact) qualitatif lui aussi (négligeable, significatif, majeur, critique et catastrophique) est estimé par des experts.

On peut alors combiner ces 2 valeurs pour déterminer une exposition en multipliant la gravité et la vraisemblance (en remplaçant les valeurs possibles par des nombres allant de 1 à 5).

On peut ensuite hiérarchiser les risques et définir des niveaux d'acceptabilité.

Cette méthode est notamment utilisée par l'Agence Spatiale Européenne dans le cadre de la maîtrise de ses sous-traitants

## Chapitre 2

# Caractérisation des risques projets

Comment mieux connaître les risques ? Quelles caractéristiques peut-on utiliser ? Quel est leur intérêt ? Nous essaierons de répondre à ces questions dans la première partie de ce chapitre. On peut retrouver ces travaux dans l'article "Bien caractériser les risques : un atout pour le processus de management des risques" [19] que nous avons présenté en 2002 aux Assises de l'ADELI. Nous nous intéressons ensuite à une expérimentation intéressante que nous avons menée : l'analyse de données des risques d'un projet d'amélioration qui a fait l'objet, elle aussi, d'une publication [21].

### 2.1 Caractéristiques des risques

Dans cette section, nous décrivons un certain nombre de caractéristiques des risques, certaines issues de l'état de l'art du domaine et d'autres que nous avons été amenés à introduire. Chaque caractéristique est définie et commentée. Nous avons choisi de séparer ces caractéristiques en deux catégories : les caractéristiques statiques qui n'évoluent pas au fil du temps et les caractéristiques dynamiques qui peuvent évoluer tout au long de la vie du projet. Toutes ces caractéristiques peuvent être tracées dans une fiche d'analyse de risques dont un exemple est donné à la figure 2.3 page 43.

#### 2.1.1 Caractéristiques statiques

**Le libellé:** *"Description succincte et non ambiguë du risque"*

Ce n'est pas une caractéristique à proprement parler mais c'est un élément essentiel qui décrit le risque. Cette description ne doit pas être trop générale. En effet, une description trop générale rendra difficile l'analyse du risque. Il est préférable de décomposer un risque trop général en plusieurs risques bien identifiés.

**Les causes:** *"Ce sont l'ensemble des événements, certains ou non, pouvant conduire à sa manifestation. Les causes d'un risque peuvent être de plusieurs natures. [...] Les causes d'un risque peuvent être des faits, des contraintes, d'autres risques." - DGA/AQ 924 [2]*

Les causes sont décrites de manière informelle. De même que chaque risque peut posséder plusieurs causes, plusieurs risques peuvent avoir des causes communes.

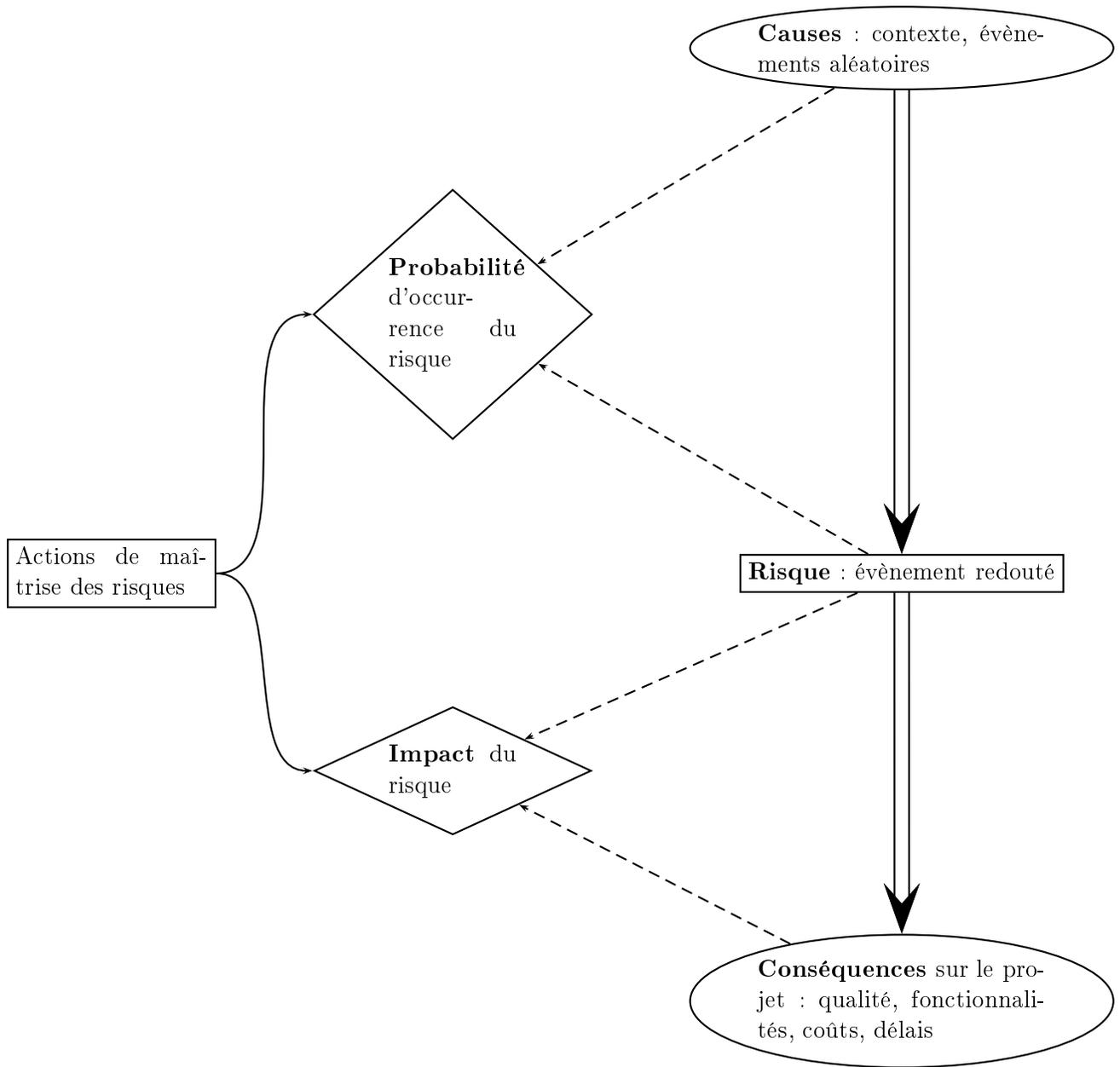


FIG. 2.1 – L'environnement du risque

**Les conséquences:** *"Résultat d'un événement" ISO 73 [43]*

Cette caractéristique décrit de manière informelle et succincte l'ensemble des impacts potentiels du risque sur le projet. Ces impacts peuvent affecter le budget, les délais, les charges du projet, la qualité ou les performances des logiciels produits, voire remettre en cause l'existence même du projet.

**La classe ou domaine:** *"Une classe regroupe un ensemble cohérent de risques quant à leur nature et aux responsabilités associées à leur management." - DGA/AQ 923 [1]*

Par exemple, la méthodologie RISKMAN [16] distingue les classes de risques suivantes : Stratégie, Marketing, Contrat, Finance, Planning, Définition, Procédé, Technique, Management, Humain, Mise en service, Maintenance et Externe.

Dans le domaine du développement logiciel, la Taxonomie des Risques développée par le SEI [15] répartit les risques en trois classes, Ingénierie du Produit, Environnement de développement, Contraintes liées au Projet, qui sont elles-mêmes subdivisées en différentes sous-classes. Ainsi, Exigences, Conception, Codage et Tests Unitaires sont les sous classes de Ingénierie du produit.

**Le propriétaire ou pilote:** *"Personne ayant les compétences et/ou l'autorité de recueillir des informations sur le risque, d'en assurer le suivi et d'indiquer des stratégies de réduction de ce risque." FD X 50 117 [5]*

Le propriétaire d'un risque est un élément clé du processus car c'est la personne qui a la meilleure connaissance du risque et il est important de l'associer aux différentes phases du processus.

Nous avons été amenés à définir les deux nouvelles caractéristiques suivantes que nous utilisons notamment dans la deuxième partie de ce chapitre.

**La répétabilité:** *"Aptitude du risque à se produire plusieurs fois."*

La valeur de cette caractéristique est binaire : le risque peut se répéter ou non. Par exemple, le risque "Départ d'un membre de l'équipe projet " est répétable.

**Le processus lié:** *"Processus dont le degré de maîtrise est le plus lié au risque"*

Cette caractéristique est applicable dans le cas où l'organisation (ou le projet) a mis en place un référentiel de processus pour les projets. Ce référentiel peut s'appuyer en particulier sur les modèles de processus définis au niveau de l'ISO, ISO/IEC 12207 [38] pour les processus du cycle de vie du logiciel, ISO/IEC 15288 [42] pour les processus du cycle de vie système. Le processus lié est alors celui dont la maîtrise insuffisante peut être une des causes de survenue du risque. Par exemple, le risque "Mauvaise estimation de la charge de travail relative à un lot du projet " est lié au processus Management de projet.

### 2.1.2 Caractéristiques dynamiques

**La probabilité d'apparition:** *"Degré de vraisemblance pour que le risque se produise." - ISO 73 [43]*

Cette probabilité peut être évaluée de manière qualitative ou quantitative. L'évaluation qualitative consiste à affecter une valeur sur une échelle ordinale (par exemple : très faible, faible, forte et très forte). L'évaluation quantitative quant à elle, affecte une valeur numérique à cette probabilité.

**L'impact ou gravité:** *"Mesure des conséquences du risque" BSI 6079-3 :2000 [36]*

Cette caractéristique donne une estimation des conséquences du risque. On peut considérer un impact sur les coûts, sur les délais et la qualité des résultats du projet, voire même sur l'existence du projet. On peut aussi, si l'on travaille en évaluation qualitative, considérer un impact global en lui attribuant une valeur sur une échelle ordinale (par exemple : très faible, faible, fort et très fort). Si l'on considère un impact quantitatif sur les coûts ou les délais, on peut donner une fonction de répartition statistique de l'impact (loi constante, normale, bêta, etc..)

**La détectabilité ou probabilité de détection:** *" Degré de vraisemblance pour que des signes précurseurs puissent être détectés. " - AFNOR FD X 50-117 [5]*

On peut considérer cette caractéristique soit comme binaire (facilement détectable, difficilement détectable) soit comme une probabilité que l'on peut évaluer qualitativement ou quantitativement.

**L'exposition ou criticité:** *" Niveau d'importance d'un risque résultant de la combinaison des caractéristiques quantifiées du risque, à savoir sa gravité, sa probabilité d'apparition et/ou sa probabilité de détection. " -AFNOR FD X 50 117 [5]*

Cette caractéristique est déterminée en fonction de la probabilité, de l'impact et/ou de la détectabilité du risque. Dans le cas d'une analyse qualitative, où l'impact est évalué de manière globale, on peut utiliser une matrice comme celle de la figure 1.5 pour la déterminer en lui attribuant une valeur sur une échelle ordinale. Cette caractéristique permet de hiérarchiser les risques en distinguant les risques acceptables de ceux qui sont inacceptables pour le projet et devront donc être traités en priorité.

**L'état:** *"L'état d'un risque se caractérise par l'un des trois attributs suivants : latent (le risque ne s'est pas encore manifesté), apparu (il s'est manifesté) ou disparu (on considère qu'il ne peut plus se manifester). " - DGA/AQ 924 [2]*

**La période active du risque:** *"La période active correspond à la période durant laquelle le risque est susceptible de se manifester. " - DGA/AQ 924 [2]*

Cette période active peut correspondre, soit à des intervalles temporels, soit à des phases ou des activités du projet.

**La tendance d'évolution:** *"La tendance d'évolution est un indicateur de l'évolution du risque. "*

Cette caractéristique du risque nous indique quelle est la tendance globale actuelle d'évolution du risque. Cette caractéristique peut prendre les valeurs suivantes : stable (pas de changement), en diminution (la probabilité et/ou l'impact du risque ont diminué), en augmentation (la probabilité et/ou l'impact du risque ont augmenté).

**Les actions de réduction associées au risque:** *"Ensemble des dispositions et des actions destinées à éviter son apparition ou à limiter son impact. " DGA/AQ 924 [2]*

Les actions indiquées ici concernent un risque en particulier mais une même action peut permettre de réduire plusieurs risques.

**Les indicateurs:** *"Information choisie, associée à un phénomène, destinée à en observer périodiquement les évolutions"*

Un indicateur est une donnée mesurable simplement destinée à faciliter la détection du risque.

### 2.2 Utilisation des caractéristiques dans le processus

Dans cette partie, nous décrivons comment les caractéristiques des risques interviennent, voire structurent les différentes phases du processus de management des risques d'un projet. Nous traiterons chaque phase l'une après l'autre. Le tableau de la figure 2.2 représente une synthèse du rôle des caractéristiques dans les différentes phases du processus de management des risques.

#### 2.2.1 Définition de la stratégie

Dans cette phase, on définit la stratégie du management des risques pour le projet, c'est à dire le champ d'action du management des risques du projet. Les modalités et, éventuellement, le mode de calcul ou de détermination de certaines caractéristiques sont définies.

Plus précisément, on définit :

- Les types de risques que l'on va gérer, c'est à dire les classes de risques auxquelles on va s'intéresser ou les processus sur lesquels on va concentrer l'effort, en fonction des objectifs, enjeux et contraintes du projet,
- Les caractéristiques qui seront utilisées. En effet, il faut savoir adapter le management des risques en fonction des spécificités, durée, contraintes, du projet,
- Les méthodes, procédures et outils qui seront utilisés et en particulier les méthodes d'identification et d'évaluation. Pour l'évaluation, il faudra en particulier définir les modalités ou valeurs de la probabilité, de l'impact et définir le mode de calcul de l'exposition,
- Les types de stratégies possibles pour le traitement des risques : transfert (assurance), traitement préventif (mise en place d'actions de prévention), traitement correctif (mise en place d'actions correctives) et acceptation passive.
- Les choix et définitions effectués ici sont documentés dans le "Plan de Management des Risques" du projet.

#### 2.2.2 Analyse des risques

Cette phase, élément central du processus de management des risques, est découpée en trois activités que nous traitons séparément.

**Identification des risques :** Cette activité a pour but d'identifier les risques du projet et ce conformément à la stratégie définie précédemment. Identifier les risques, c'est attribuer à un risque un libellé, mais aussi mettre en exergue ses causes et ses conséquences. On lui attribue alors une classe, un propriétaire et éventuellement un processus lié et d'autres caractéristiques comme sa période active et sa répétabilité.

Pour identifier les risques, un certain nombre de méthodes et techniques (cf chapitre 1) sont utilisées tels par exemple le brainstorming, les catalogues de risques, etc... Un grand nombre de ces méthodes peuvent être retrouvées dans les ouvrages tels que "La gestion des risques dans les projets" [23], le manuel de management des risques de la DGA [2], le Périscoppe 97 [24] ou le guide de management des risques proposé par le PMI [81].

Phases	Caractéristiques	Définition stratégie	Analyse			Traitement	Suivi	Capitalisation
			Identification	Évaluation	Hierarchisation			
Libellé			I	U	U	U	U	U
Causes			I,M	U		U	U	U
Conséquences			I,M	U		U	U	U
Probabilité		D		I,M	U		U	
Impact		D		I,M	U		U	
Exposition		D			I,M	U	U	
Classe		D	I,U					U
Propriétaire			I	U	U	U	U	
Période Active			I,M			U	U	
Répétabilité			I			U		
Tendance d'évolution						U	I,M,U	
Processus lié		D	I,U	U		U		U
Détectabilité				I,M	U	U	U	
État							I,M,U	U
Actions de Réductions		D				I,M,U	U	U
Indicateurs						I,M	M,U	U

Légende : D définit, I initialise, M modifie, U utilise

FIG. 2.2 – Caractéristiques et phases

Ces méthodes et techniques peuvent être mises en œuvre en utilisant une approche "caractéristiques". En effet, on peut identifier les risques en utilisant une structuration des check-listes ou questionnaires en fonction des classes de risques et processus identifiés comme pertinents pour le projet.

Considérons l'exemple d'un projet comportant un développement logiciel en partie sous-traité. On a retenu les classes de risques management, technique, contrat et humain. L'investigation peut alors être structurée soit en fonction de ces classes soit en fonction des processus (ISO 12207 [38]) liés à chaque classe : "management de projet" et "management des risques" pour la classe management, "acquisition" et "élicitation des exigences" pour la classe contrat par exemple. Une méthode d'identification des risques basée sur les processus a été développée dans le document ISO/CEI TR 15504-8 [41] et implémentée dans la méthode "R4S" [79]. Cette méthode se base sur une évaluation des processus selon le modèle SPICE [39] et, principalement, sur les écarts entre les niveaux d'aptitude cible et évalué.

**Évaluation des risques** Le but de cette activité est de donner une évaluation ou estimation de certaines caractéristiques du risque telles que la probabilité d'apparition, l'impact ou la détectabilité.

L'évaluation de ces caractéristiques est basée sur l'analyse des causes et des conséquences des risques. Le propriétaire est un acteur majeur de cette phase. L'évaluation peut être faite de manière qualitative ou de manière quantitative. Dans le cadre d'une estimation quantitative on donnera une valeur à la caractéristique : pourcentage pour la probabilité et la détectabilité, valeur financière pour l'impact coût, et nombre de jours ou de mois pour l'impact délai. Pour l'impact, on peut utiliser une fonction statistique de répartition (constante, normale,  $\beta$ , etc...). L'estimation qualitative quant à elle, fournit une valeur sur une échelle ordinale (cf. section Caractéristiques).

Une fois les risques évalués, on peut réaliser des simulations en utilisant par exemple la méthode de Monte-Carlo pour avoir des prévisions plus précises des impacts sur les délais et sur les coûts.

Si la démarche de management des risques est basée sur une approche processus, il est possible d'utiliser la méthode décrite dans le guide ISO/CEI 15504 -8[41], pour évaluer qualitativement les probabilités et impacts des risques en fonction des écarts entre les niveaux d'aptitude cibles des processus liés aux risques et les niveaux réels évalués.(cf. chapitre 1)

**Hiérarchisation des risques** L'objectif de cette activité est de classer les risques en fonction de leur dangerosité.

Pour ce faire, on utilise la caractéristique exposition. L'exposition est une caractéristique calculée à partir de la probabilité d'apparition, de l'impact et parfois de la détectabilité. La fonction ou matrice de calcul de l'exposition utilisée est déterminée lors de la phase de définition de la stratégie de management des risques.

### 2.2.3 Traitement des Risques

L'objectif de cette phase est de déterminer, pour chaque risque jugé inacceptable, le type de réponse ou stratégie permettant de le maîtriser et de définir les actions à mettre en œuvre.

Les risques jugés acceptables seront placés sous surveillance et réévalués périodiquement. Cette activité s'appuie principalement sur les caractéristiques suivantes :

- l'exposition, qui permet de déterminer quels sont les risques inacceptables et donc à réduire en priorité,
- le propriétaire du risque, qui sera un acteur majeur dans la définition des actions de maîtrise du risque,
- les causes, qui permettront de déterminer les actions à prévoir pour éliminer ou réduire la probabilité du risque, chaque action pouvant réduire ou éliminer une ou plusieurs causes,
- les conséquences seront considérées afin de prévoir des actions visant à réduire leur impact sur le projet,
- le processus lié.

La caractéristique processus lié pourra être utilisée dans le cas où on disposerait des résultats d'une évaluation d'aptitude de processus conduite suivant le modèle d'évaluation SPICE. Ces résultats comprennent une liste des points forts et des faiblesses identifiés dans les processus évalués ainsi qu'une liste d'orientations d'amélioration permettant de pallier ces faiblesses afin d'améliorer le processus et d'atteindre un niveau d'aptitude cible. Une approche similaire est décrite dans R4S [79].

*Par exemple, le risque "Évolution de l'expression du besoin du client" est lié au processus CUS.3, Élicitation des Exigences (ISO/CEI TR 15504, partie 5). Supposons que l'évaluation du processus au niveau 1 ait détecté les points faibles suivants :*

- *pas de mécanisme formalisé de suivi des évolutions des exigences*
- *pas de mécanisme de communication établi avec le client en cours de projet.*

*Afin de minimiser l'impact du risque sur le projet, les actions suivantes pourront être proposées :*

- *utiliser un outil logiciel de suivi des exigences*
- *prévoir des revues conjointes avec le client où seront passées en revue les demandes d'évolution des exigences et leur traitement.*

Les caractéristiques période active, répétabilité et tendance d'évolution seront utilisées afin de planifier les actions liées au traitement des risques.

Enfin, si la stratégie choisie consiste à surveiller le risque, des indicateurs devront être définis dans cette phase, en tenant compte de la détectabilité du risque. Par exemple le risque "Non-maîtrise du processus de modification/correction du logiciel en phase de maintenance" pourra être surveillé par la mise en place des indicateurs : "Délai de correction" et "Taux de

défauts mal corrigés”.

### 2.2.4 Suivi des risques

La phase de suivi des risques a pour but de surveiller les risques au jour le jour. On peut distinguer trois éléments différents dans le suivi :

- le suivi de l'évolution des risques et des actions ; pour cela on suit la probabilité, l'impact, et l'exposition des risques et la mise en place et l'efficacité des actions avec la tendance d'évolution des risques qui est mise à jour régulièrement (la tendance d'évolution est initialisée à stable en début de phase),
- la détection du risque : elle s'appuie sur la surveillance des causes des risques et des valeurs des indicateurs ; on porte une attention particulière aux risques de faible détectabilité ; si un risque se produit, on lance les actions correctives éventuelles et on met à jour son état (au début du suivi les états des risques sont initialisés à latent),
- le lancement périodique de phases d'analyse et de traitement.

On s'intéresse plus particulièrement aux risques dont la période active est en cours. Les propriétaires des risques jouent un rôle très important dans cette phase.

### 2.2.5 Capitalisation

L'objectif de cette phase est de constituer et enrichir des bases de connaissances portant sur les risques identifiés dans les projets de l'organisation. Cette phase a pour finalité d'améliorer la mise en œuvre et l'efficacité des phases d'identification, d'évaluation et de traitement des risques dans des projets ultérieurs.

Comme dans la phase d'identification des risques, les caractéristiques Classe et Processus lié permettent de structurer la démarche de capitalisation en regroupant des risques de nature voisine.

De plus, pour chaque risque identifié, on enregistrera :

- son libellé,
- ses causes,
- ses conséquences,
- les actions de réduction associées,
- éventuellement, les indicateurs liés aux risques.

Ces différentes informations seront rendues les plus génériques possibles en éliminant en particulier toute référence à des acteurs, phases, outils, produits spécifiques au contexte du projet. La caractéristique état sera utilisée afin d'évaluer l'efficacité (et éventuellement les limites) des actions de réduction associées.

<b>FICHE D'ANALYSE DE RISQUE</b>	
<b>Général :</b>	
Identifiant :	36
Nom :	Le produit logiciel ne correspond pas aux attentes des utilisateurs
Propriétaire :	Responsable support produit
Classe :	Technique
Période active :	Mise en exploitation du logiciel
Répétabilité :	Faible
Processus lié :	Élicitation des Exigences
<b>Causes :</b>	
30	Manque de support pour faire évoluer le produit
90	Dégradation des performances du serveur
137	Pas d'exigences formalisées sur le produit logiciel
177	Méconnaissance des besoins des utilisateurs
231	Profil utilisateur mal défini
<b>Conséquences :</b>	
	Les utilisateurs ne se servent plus du logiciel
<b>DéTECTABILITÉ :</b>	
	forte
<b>Indicateurs :</b>	
	Indice de satisfaction obtenu à partir de questionnaires de satisfaction utilisateurs
<b>Évaluation Initiale</b>	
Exposition :	inacceptable
Probabilité :	forte
Impact :	fort
<b>Évaluation Courante</b>	
Exposition :	acceptable
Probabilité :	faible
Impact :	fort
<b>Évolution :</b>	
	En diminution
<b>État :</b>	
	latent
<b>Stratégie :</b>	
	Réduire la probabilité du risque et le surveiller
<b>Actions :</b>	
168	Obtenir un consensus sur le profil des utilisateurs
110	Formaliser les exigences sur le produit
128	Identifier les utilisateurs du produit et clarifier leurs besoins
129	Garantir le support technique pour faire évoluer le produit
131	Communiquer auprès des utilisateurs sur l'existence du produit
170	Faire des enquêtes de satisfaction et analyser les résultats
<b>Suivi :</b>	
Date de création :	23/11/1999
Date de clôture :	
Date de mise à jour :	1/11/2000

FIG. 2.3 – Exemple de fiche de risque

### 2.3 Analyse de données dans un projet d'amélioration des processus logiciels

Durant notre étude des caractéristiques des risques, nous avons été amenés à travailler sur les risques d'un projet d'amélioration des processus logiciel de France Télécom R&D. Pour ce faire, nous avons effectué une analyse de données sur les risques de ce projet.

L'objectif initial de cette étude était de découvrir les relations possibles entre risques et de déterminer quelles sont les caractéristiques dont le pouvoir discriminant est le plus fort, c'est à dire celles sur lesquelles on peut s'appuyer pour une analyse de risques.

Dans cette section, nous décrivons le contexte de ce projet d'amélioration, la méthode utilisée ainsi que les résultats obtenus.

Ces travaux ont fait l'objet d'une publication intitulée "Analysis of Risks in a Software Process Improvement Programme" à l'occasion de la conférence PROFES 2002 à Rovaniemi en décembre 2002.

#### 2.3.1 La démarche d'amélioration de France Télécom R&D

France Télécom R&D, comme nombre d'entreprises, utilise une approche processus pour ses développements et a lancé une démarche d'amélioration de ses processus logiciels dans le but de mieux maîtriser coûts et délais. La démarche utilisée a fait l'objet de deux articles [50, 57] parus dans la revue *Software Process : Improvement and Practice*

Le modèle de processus utilisé à France Télécom R&D est basé sur celui défini par le standard ISO/IEC TR 15504 [39] plus couramment appelé SPICE. L'approche d'amélioration utilisée dans le projet d'amélioration est une méthodologie d'amélioration continue basée sur l'application de la roue de Deming, connue sous le nom de PDCA (Plan-Do-Check-Act).

- **P** - " Plan " - Planifier - consiste à définir et planifier les améliorations choisies
- **D** - " Do " - Faire - consiste en la mise en place des améliorations
- **C** - " Check " - Vérifier - est l'étape d'évaluation des résultats.
- **A** - " Act " - Agir- Si les objectifs d'amélioration sont atteints , en proposer de nouveaux sinon redéfinir le plan d'amélioration.

En fonction du contexte et des besoins spécifiques de France Télécom, un sous-ensemble des processus logiciels du modèle de processus SPICE a été retenu.

Cinq processus prioritaires ont été choisis :

- gestion de configuration,
- assurance qualité,
- acquisition,
- élicitation des exigences,
- management de projet logiciel.

Pour chaque processus, un niveau cible a été défini. Pour suivre l'amélioration des processus, des évaluations de processus logiciels conformes au modèle SPICE (ISO/IEC/TR 15504 parties 2,3 [39, 40]) ont été réalisées périodiquement dans les unités opérationnelles. Les résultats de ces évaluations sont des profils de processus qui mesurent la maturité de chaque

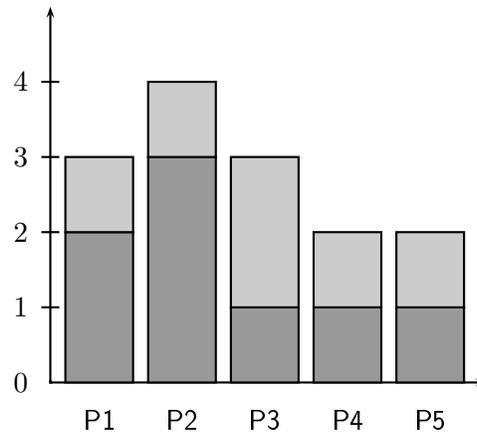


FIG. 2.4 – Exemple de profil d’amélioration

processus sur une échelle à cinq niveaux mais aussi une liste de forces et faiblesses à partir desquelles on peut construire un plan d’amélioration pour chaque processus. La figure 2.4 représente un exemple de profil. La partie inférieure correspond au niveau évalué pour chaque processus et la partie supérieure au niveau cible.

La structure au cœur du projet est le SEPG (Software Engineering Process Group). Celui-ci est constitué des pilotes de processus ainsi que des correspondants “amélioration” des unités opérationnelles.

Les rôles et responsabilités du SEPG sont les suivants :

- aider les unités opérationnelles à définir leurs processus,
- coordonner les sessions de formations sur les processus,
- réaliser des mesures systématiques des processus logiciels par l’intermédiaire d’évaluations conformes à SPICE et en collectant les métriques relative aux processus et projets dans les unités opérationnelles (comme les délais et les dépassements de budgets par exemple),
- aider les unités opérationnelles à construire et mettre en œuvre leurs plans d’amélioration.

Pour chaque processus prioritaire, un **pilote de processus** est responsable pour l’activité d’amélioration de ce processus au sein de France Télécom R&D.

En plus de cette structure, une **équipe de projet d’amélioration** a été mise en place dans le but de manager le projet d’amélioration et de fournir des activités de support comme l’assurance qualité, les évaluations, les formations, la documentation, la gestion de configuration et le **management des risques**.

Le projet en lui même a été structuré en 5 lots :

- management de projet,
- management du référentiel (définition et maintenance du référentiel de processus logi-

- ciels),
- support pour l'amélioration (incluant l'évaluation de processus et le support à l'élaboration de plans d'amélioration),
- management de la formation,
- management des mesures.

Chaque lot est sous la responsabilité d'un responsable de lot (membre du SEPG). Le projet est sous la responsabilité d'un chef de projet. Ce projet est sponsorisé par le directeur de la Stratégie de France Télécom R&D.

### 2.3.2 Le management des risques dans le projet d'amélioration

Le processus de management des risques mis en œuvre dans le projet d'amélioration est identique à celui que nous avons décrit au chapitre précédent. Nous indiquons ici pour chaque phase du processus comment cette phase a été implémentée dans le projet d'amélioration.

**Définition de la stratégie :** La stratégie définie pour le projet d'amélioration est la suivante :

1. Réalisation d'une première analyse des risques par une équipe d'évaluation externe afin de bénéficier d'une vue externe sur le projet d'amélioration et afin de développer les compétences internes en management des risques.
2. Suivi des risques, par un membre spécifique de l'équipe projet tout au long du projet d'amélioration.
3. Formalisation des dispositions prises au cours de cette phase dans le plan de management des risques du projet (PMR).

Quatre classes de risques ont été prises en considération : contrat, humain, management et technique.

**Analyse des risques :** L'identification et l'estimation des risques ont été réalisées en combinant les résultats des interviews des acteurs principaux du projet, l'analyse de la documentation projet et des sessions de brainstorming.

L'estimation de l'impact et de la probabilité a été réalisée sur une échelle symbolique à quatre niveaux *très faible, faible, fort, très fort*. Quatre niveaux d'exposition ont été définis. Ces niveaux sont donnés par la matrice d'exposition de la figure 2.5.

**Traitement :** Dans le projet d'amélioration, la stratégie de traitement consiste à réduire la probabilité du risque à chaque fois que cela est possible en identifiant des actions spécifiques qui visent à diminuer voire supprimer les causes des risques. Nous gardons en mémoire le fait qu'une action peut agir sur plusieurs risques et plusieurs causes.

Les risques d'exposition majeures et inacceptables sont traités en priorité.

**Suivi :** L'état et l'évolution des risques ainsi que la clôture des actions sont suivis tout au long du projet. La communication sur les risques est un point clé du projet d'amélioration. Des rapports sur l'évolution des risques et des actions sont produits régulièrement.

	PROBABILITÉ D'OCCURRENCE			
IMPACT	<i>Très faible</i>	<i>Faible</i>	<i>Forte</i>	<i>Très Forte</i>
<i>Très faible</i>	mineure	mineure	acceptable	acceptable
<i>Faible</i>	mineure	acceptable	acceptable	<b><i>inacceptable</i></b>
<i>Fort</i>	acceptable	acceptable	<b><i>inacceptable</i></b>	<b><i>majeure</i></b>
<i>Très fort</i>	acceptable	<b><i>inacceptable</i></b>	<b><i>majeure</i></b>	<b><i>majeure</i></b>

FIG. 2.5 – Matrice d'exposition du projet d'amélioration

Comme le processus de management des risques est itératif, impliquant l'identification continue de nouveaux risques, des revues périodiques ont lieu tous les 3 mois et une analyse complète est lancée chaque année.

**Capitalisation** La fin du projet d'amélioration a amené une réflexion sur la capitalisation des risques qui a permis l'élaboration d'un catalogue de risques génériques.

**Résultats** Durant l'analyse initiale réalisée par une équipe externe, 33 risques ont été identifiés :

- 5 risques majeurs,
- 17 risques inacceptables,
- 11 risques acceptables.

La plupart des risques appartenait aux classes management et techniques. Les 5 risques majeurs appartenait à ces deux classes.

De nouveaux risques ont été identifiés tout au long du projet. Au moment où cette étude a eu lieu, deux ans et demi après le lancement du projet, 66 risques avaient été identifiés dont 33 étaient clos.

Ces nouveaux risques concernaient spécifiquement :

- les méthodes d'évaluation et le planning des évaluations,
- le développement et la maintenance du référentiel de processus,
- la mise en œuvre des plans d'amélioration..

Ces risques appartenait principalement aux classes technique et humain. Globalement, 201 causes et 170 actions de réduction ont été identifiées.

L'expérience a montré que la mise en place du management des risques dans le projet a apporté les bénéfices suivants :

- amélioration de la communication entre les différents acteurs du projet,
- aide à la compréhension et à la résolution de problèmes,
- meilleure allocation des ressources,

- meilleure capacité à gérer des évolutions rapides dans le projet.

Cependant, certains risques identifiés au départ sont toujours actifs et d'autres sont apparus malgré les actions planifiées pour leur réduction. Afin d'avoir une meilleure compréhension de l'évolution des risques et de l'influence des caractéristiques, nous avons choisi de soumettre les risques de ce projet à une analyse de données.

### 2.3.3 L'analyse de données

#### Données d'entrée

Les données d'entrée sont constituées de 66 individus décrits par 13 variables. Les individus correspondent aux risques et les variables aux caractéristiques.

Chacun des 66 risques de notre étude est décrit par les caractéristiques suivantes qui sont listées avec leurs catégories (valeurs prises par la caractéristique).

- Classe : management, technique, humain, contrat.
- Lot du projet : mesures, référentiel, management projet, support amélioration, formation.
- Phase : préparation du projet, définition de la stratégie d'amélioration, déploiement de l'amélioration, évaluation.
- Propriétaire du risque : correspond à différents rôles dans le projet (chef de projet, responsables de lots, sponsor du projet, . . .). Dix catégories ont été observées.
- Exposition Initiale : majeure, inacceptable, acceptable, mineure.
- Exposition Courante : majeure, inacceptable, acceptable, mineure.
- État : clos, actif.
- Occurrence : produit, non produit.
- Détectabilité : faible, forte.
- Persistance : persistant, non persistant.
- Répétabilité : répétable, non répétable.
- Tendance d'évolution : contrôlé (l'exposition du risque a diminué et est devenue acceptable), stable, en réduction (l'impact et/ou la probabilité du risque diminue), abandonné.
- Processus lié : processus appartenant au modèle de référence ISO/IEC 15504 partie 2 [39]. Quatorze catégories ont été observées. Ces processus sont par la suite identifiés par leur acronyme dans le modèle ISO 15504. Ainsi MAN.2 désigne le processus de management de projet.

La persistance est une caractéristique qui indique si les conséquences d'un risque sont durables ou non.

La figure 2.6 donne un exemple de risque avec ses caractéristiques.

#### Méthode d'analyse

Vu la nature des données, qui sont principalement qualitatives, la procédure d'analyse choisie a consisté à soumettre l'ensemble des risques à une analyse des correspondances multiples (ACM) puis à une classification hiérarchique. Ces méthodes permettent de résumer et

*"Manque d'efficacité d'une réunion du SEPG"*

<b>Classe</b> : Management	<b>Propriétaire</b> : Chef de projet
<b>Lot</b> : référentiel	<b>Phase</b> : Définition de la stratégie d'amélioration
<b>Processus</b> : Management de projet(MAN.2)	<b>Répétabilité</b> : Oui
<b>Persistance</b> : Non Persistant	<b>DéTECTABILITÉ</b> : Faible
<b>Exposition initiale</b> : Inacceptable	<b>Exposition Courante</b> : Acceptable
<b>Tendance d'évolution</b> : Contrôlé	<b>Occurrence</b> : Non
<b>État</b> : Actif	

FIG. 2.6 – Exemple de risque avec ses caractéristiques

d'expliquer les informations contenues dans un ensemble de données tel que l'ensemble des risques du projet et, en même temps, de fournir une représentation visuelle ou géométrique claire de l'information [51, 22, 70, 12].

**Analyse des correspondances multiples (ACM) :** L'ACM [33] est la méthode la plus fertile de l'analyse de données. Cette méthode sied particulièrement bien au traitement de questionnaires et à l'exploitation de sondages quand toutes les variables sont symboliques.

Cette méthode est l'application de l'analyse des correspondances à l'étude de tables incluant plus de deux variables symboliques. Tandis que l'analyse des correspondances étudie les relations entre deux caractéristiques I et J observées sur une population donnée, l'ACM étudie les relations entre un nombre non spécifié de caractéristiques  $J_1, \dots, J_k$ .

L'ACM repose principalement sur l'interprétation d'axes appelés axes principaux. En effet, l'objectif est de donner du sens à ces axes pour mettre en évidence des oppositions entre groupes de catégories et groupes d'individus.

La première étape de la méthode consiste à définir les éléments caractéristiques de chaque axe principal à savoir :

1. les catégories actives qui sont explicatives pour cet axe ; ces catégories sont celles qui servent à déterminer les axes principaux,
2. les catégories illustratives, qui sont significatives pour cet axe ; les catégories illustratives ne sont pas utilisées pour la détermination des axes mais sont reliées aux axes a posteriori,
3. les individus explicatifs pour cet axe, i.e. les mieux représentés sur l'axe.

Ensuite, la projection de l'ensemble des catégories et des individus sur les axes permet de définir des relations entre les divers éléments.

Enfin, les résultats d'une ACM sont illustrés par des graphiques représentant les configurations des individus et des catégories en projection sur le plan formé par les axes principaux

pris deux à deux.

Le logiciel que nous avons utilisé pour cette analyse est SPAD<sup>1</sup>

**Classification Hiérarchique(CH) :** Les méthodes de classification [34] sont largement utilisées dans la conception de questionnaires ainsi que dans la définition et la classification des unités enquêtées ainsi que dans la codification des réponses. Elles permettent en fait de déterminer une définition et un découpage simplificateur de la “réalité” étudiée.

La CH est utilisée pour regrouper des objets ou individus décrits par des variables ou caractéristiques. Cette méthode donne relativement rapidement des résultats économiques, rapides et facilement interprétables.

De plus, une ACM ne fournissant que rarement une analyse exhaustive d’un ensemble de données, il est parfois utile d’utiliser en complément une méthode de classification ce qui permet de réduire la complexité de l’analyse. Un avantage supplémentaire est d’utiliser une méthode de classification ce qui permet de résumer la configuration des points obtenus par une ACM. En d’autres mots, une réduction supplémentaire de la dimension des données conduit vers des résultats plus faciles à interpréter.

L’algorithme le plus ancien et le plus systématique pour la classification hiérarchique est celui de Lance et Williams. Il crée un arbre hiérarchique des individus. En effectuant des coupes dans cet arbre, on obtient une partition de l’ensemble des individus, rendant possible la formation de groupes homogènes d’individus.

### Interprétation des résultats

Dans un premier temps, nous présentons les résultats de l’ACM, puis les groupes obtenus par la classification hiérarchique avant de discuter les résultats obtenus.

**Résultats de l’ACM :** Le principe est d’interpréter les axes principaux, afin de mettre en avant des oppositions entre groupes de risques. Nous remarquons que la proportion d’information attribuée aux trois premiers axes principaux est plus importante que celle regroupant les autres axes et donc nous nous concentrerons sur l’analyse de ces trois axes.

Le premier axe oppose :

- les risques liés à l’évaluation : ils dépendent du lot support à l’amélioration et sont liés au processus d’évaluation de processus (ORG.2.2) et au responsable du lot support. De plus ces risques sont largement caractérisés par une exposition courante mineure et leur non-persistance. Un exemple de ces risques est : “*Manque de disponibilité d’un évaluateur*”
- les risques liés au management : ils dépendent du lot référentiel et du lot management. Ils sont décrits par une faible détectabilité et ont la propriété de ne pas se répéter. De plus, ils sont liés au chef de projet et au processus de management de projet (MAN.2).

---

<sup>1</sup>SPAD est un logiciel édité par le CISIA(Centre International de Statistiques et d’Informatique Appliquée)

Un exemple significatif est le risque : *“Sous-évaluation de la charge de travail des unités opérationnelles pour le projet d’amélioration”*

Le second axe oppose

- les risques liés aux ressources humaines : ils dépendent des lots formation et management, du processus de management des ressources humaines(ORG.3) et sont associés au responsable de la Formation ainsi qu’au gestionnaire des Ressources Humaines. De plus ces risques sont caractérisés par une exposition initiale et courante majeure et une évolution “en réduction”. Ils sont souvent arrivés et sont toujours actifs. Le risque *“Turn-over d’acteurs clés du SEPG”* est un exemple significatif.
- les risques techniques, fortement liés au lot référentiel. Ils sont liés au responsable du lot référentiel et au processus établissement des processus(ORG.2.1). Ces risques sont généralement clos. *“ Difficulté à faire converger le référentiel”* en est un bon exemple.

Enfin, le troisième axe ne montre pas de réelle opposition mais caractérise les risques liés au lot mesures, au processus Mesure(ORG.5) et au responsable du lot mesure. ils sont caractérisés par une évolution stable et un statut actif. On peut noter une légère opposition avec les risques clos. *“Rejet des indicateurs du projet d’amélioration par les unités organisationnelles”* est un risque appartenant à ce groupe.

On peut visualiser ces oppositions de groupes de risques et de catégories sur des plans de projection formés par les 3 axes principaux pris deux à deux. Par exemple la figure 2.7 montre la projection de l’ensemble des catégories sur les 2 premiers axes principaux.

**Résultats de la classification hiérarchique** La classification hiérarchique a mis en avant une partition des risques du projet en 6 groupes. Chaque groupe est caractérisé par un certain nombre de catégories. En les combinant avec les résultats de l’ACM nous avons affiné les résultats afin d’obtenir les 6 groupes suivants :

1. Risques liés aux management et à la communication. Les caractéristiques principales de ce groupe sont :
  - le processus de management de projet(MAN.2),
  - le chef de projet et le responsable de la communication,
  - appartenance au lot management de projet
  - le fait d’être non répétables
  - une faible détectabilité
  - un risque typique de cette classe est : *“Sous-estimation de la charge de travail des unités opérationnelles dans le projet d’amélioration”*
2. Risques liés au déploiement de l’amélioration dont les caractéristiques sont :
  - Le processus d’amélioration(ORG.2.3) et d’acquisition(CUS.1)
  - l’appartenance au lot support
  - la classe contrat
  - une exposition courante inacceptable
  - De plus, on peut remarquer que ces risques sont particulièrement liés aux difficultés à tenir les délais du projet. Un risque caractéristique de ce groupe est *“Transmission tardive des plans d’amélioration des unités opérationnelles”*
3. Risques liés au référentiel caractérisés par :
  - le responsable de la tâche référentiel

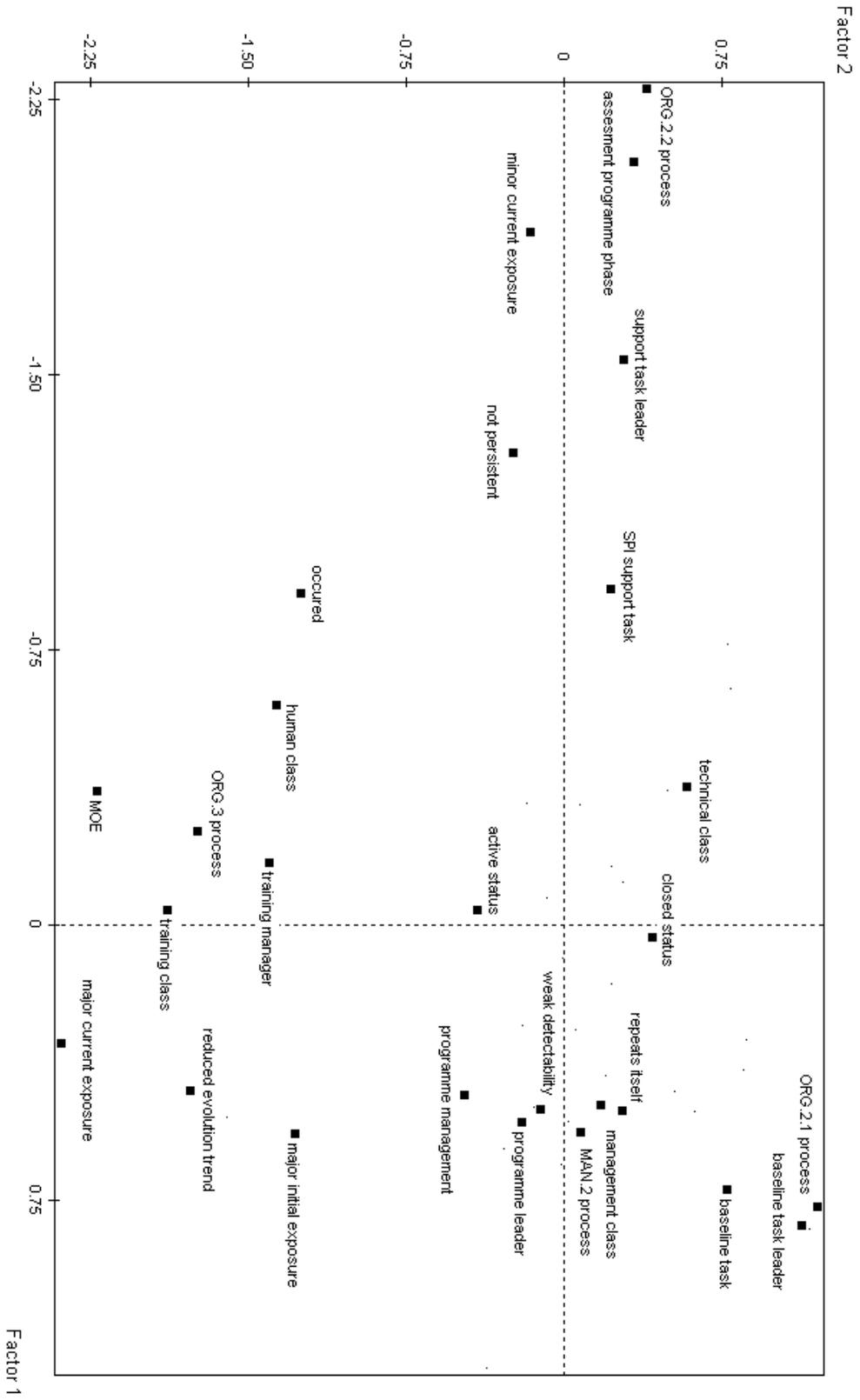


FIG. 2.7 – Projection des catégories sur les 2 premiers axes

- le processus d'établissement de processus(ORG.2.1)
  - le lot du projet relatif à la définition de la stratégie d'amélioration
  - un état clos
  - *“Difficulté à faire converger le référentiel”* est un risque représentatif de ce groupe
4. Risques liés aux ressources humaines dont les caractéristiques sont :
- le processus de gestion des ressources humaines(ORG.3)
  - le gestionnaire RH et le responsable formation
  - l'appartenance aux lots management et formation
  - le risque s'est produit
  - des expositions courante et initiale majeures
  - une tendance d'évolution : “en réduction”
  - un état actif
  - le risque *“Départ de membres clés du SEPG”* est un bon exemple de ce groupe
5. Risques liés au lot mesures. les caractéristiques de ces risques sont :
- le responsable de la tâche mesures
  - le processus de mesures(ORG5)
  - une tendance d'évolution stable
  - un état actif
  - ce groupe est bien illustré par le risque *“Rejet des indicateurs du projet d'amélioration par les unités organisationnelles”*
6. Risques liés aux évaluations caractérisés par :
- le processus d'évaluation(ORG.2.2)
  - la tâche support de l'amélioration et son responsable
  - leur non-persistance
  - une exposition courante mineure
  - un exemple caractéristique de ce groupe est le risque *“Manque de disponibilité d'un évaluateur”*

La figure 2.8 montre la représentation des risques sur le plan formé par les deux premiers axes factoriels. Chaque risque y est représenté par le numéro du groupe auquel il appartient. L'observation de ce schéma confirme la pertinence des groupes formés.

### 2.3.4 Discussion

Les résultats de l'ACM combinés à ceux de la classification hiérarchique ont montré un découpage en six groupes distincts basés à la fois sur des caractéristiques statiques et dynamiques des risques.

Ces résultats ont été présentés au chef de projet ainsi qu'aux responsables de lots qui ont jugé que les résultats donnaient une vraie représentation du projet en soulignant quels furent les succès et les difficultés rencontrés dans le projet. Ces résultats donnent donc une vision synthétique du projet.

Il peut donc être très intéressant lors d'un bilan de projet, qu'il soit intermédiaire ou final, d'utiliser ce type de techniques.

Même si cette étude ne nous a pas apporté beaucoup d'information quant aux relations entre caractéristiques, elle a mis en évidence le caractère discriminant de la caractéristique “processus lié” dans le cas où l'organisation suit une démarche qualité basée sur une approche processus.

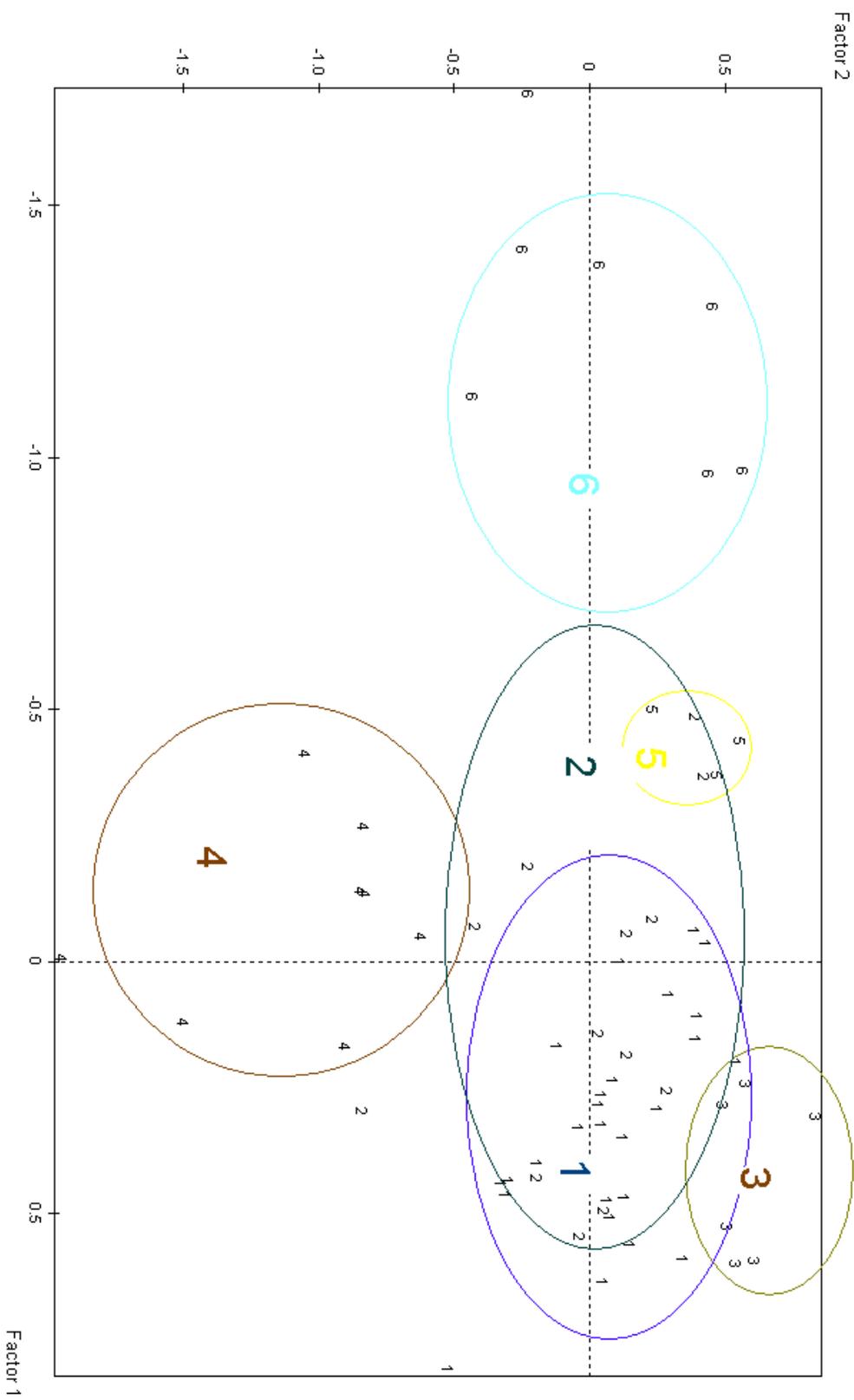


Fig. 2.8 – Projection des groupes sur les 2 premiers axes

On peut noter que la méthodologie R4S décrite dans l'article [79] utilise aussi le processus lié comme caractéristique principale du risque.



## Chapitre 3

# Calcul de la durée d'un projet/processus

Dans le cadre des projets logiciels, une des contraintes majeures est la contrainte temporelle. Les délais qui sont en effet un élément critique lors d'un projet de développement sont souvent contractualisés et les dépassements font l'objet de pénalités de retard importantes.

Dans un tel contexte, nous nous sommes rendu compte de l'importance de connaître l'influence que les risques ont sur la durée d'un projet. Nous avons donc développé une méthode permettant de connaître la distribution probabiliste de la durée d'un projet en fonction des risques identifiés au sein de ce projet.

Cette méthode est aussi adaptée aux risques d'un processus. Par la suite, nous ne parlerons que de projet pour simplifier mais on peut à tout moment remplacer projet par processus.

Dans ce chapitre, nous nous attacherons tout d'abord à décrire globalement la méthode et les éléments sur lesquels elle est fondée. Nous proposerons ensuite une description formelle des éléments utilisés avant de décrire précisément les différentes étapes de la méthode. Nous proposerons enfin un exemple d'application de la méthode.

### 3.1 Description de la méthode

La méthode que nous avons développée repose sur deux éléments principaux que sont la planification du projet sous la forme d'un diagramme PERT (Program Evaluation and Review Technique) et la méthode d'évaluation des risques utilisée. Nous commencerons par décrire ces éléments de base de la méthode avant de décrire le principe de la méthode.

#### 3.1.1 Diagramme PERT

Pour la planification du projet, nous avons retenu les diagrammes PERT, d'une part car ils sont largement utilisés et, d'autre part car leur formalisme est assez simple.

Le diagramme PERT [82] a été mis au point dans les années 50 par l'armée américaine dans le projet de réalisation de missiles à ogives nucléaires POLARIS. C'est une "méthode consistant à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leur dépendance et à leur chronologie concourent toutes à l'obtention d'un produit fini".

On distingue deux types de diagrammes PERT : les PERT-transitions et les PERT-états. Pour les premiers, les activités sont représentées sous la forme de transitions et pour les

seconds, les activités sont représentées par des nœuds du diagramme. Ces deux formes sont équivalentes.

Dans notre cas, nous utiliserons la représentation du PERT-transitions.

### 3.1.2 Méthode d'évaluation

Nous avons constaté que les méthodes habituelles définissent généralement une probabilité et un impact globaux du risque sur le projet ou alors considèrent pour chaque activité, soit un triplet de durées minimale, moyenne et maximale, soit une fonction de distribution de la durée. C'est notamment le cas pour des outils tels que le défunt Riskman [16] ou @Risk for Project<sup>1</sup>. La prise en compte du risque se fait alors par la détermination des valeurs du triplet ou de la fonction de distribution. Le livre de Vose [80] est très riche d'informations à ce sujet.

Ces méthodes mettent en oeuvre une simplification de la réalité qui ne tient pas compte des variations de probabilité d'un même risque pour des activités différentes.

Nous avons donc été amenés à définir une méthode d'évaluation originale permettant une meilleure abstraction de la réalité. Elle consiste à définir pour chaque risque sa probabilité d'apparition et l'impact délai correspondant et ce pour chaque activité du diagramme PERT.

### 3.1.3 Décomposition de la méthode

La méthode que nous avons élaborée se décompose en deux étapes principales.

La première étape consiste à calculer pour chaque activité la distribution de sa durée. Cette étape est détaillée à la section 3.3.

La deuxième étape consiste à combiner les distributions de durée des différentes activités en fonction de la structure du diagramme PERT afin d'obtenir la distribution de la durée globale du projet. Cette étape est développée à la section 3.4.

## 3.2 Formalisme

Dans cette section, nous présentons les divers formalismes que nous utilisons dans notre méthode.

Nous introduisons dans un premier temps les notions de probabilité et d'impact puis dans un deuxième temps nous donnons une définition formelle des diagrammes PERT avant de finir par l'introduction du formalisme des T-distributions qui sont des distributions probabilistes.

### 3.2.1 Probabilité et impact

Comme nous l'avons déjà énoncé au début de ce chapitre, nous associons à chaque couple risque/activité une probabilité d'occurrence et un impact.

Nous définissons donc les fonctions *proba* et *impact* de la manière suivante :

$$\begin{cases} \textit{proba} & : \mathfrak{R} \times \mathfrak{A} \mapsto \mathbb{P} \\ \textit{impact} & : \mathfrak{R} \times \mathfrak{A} \mapsto \mathbb{T} \end{cases}$$

---

<sup>1</sup>logiciel édité par Palisade URL : <http://www.palisade-europe.com/risk/fr/>

Dans les définitions précédentes,  $\mathfrak{R}$  et  $\mathfrak{A}$  sont respectivement l'ensemble des risques et l'ensemble des activités,  $\mathbb{P}$  est l'ensemble des probabilités i.e. le sous ensemble de  $\mathbb{R}$  correspondant à l'intervalle  $[0,1]$  et  $\mathbb{T}$  est l'ensemble des valeurs que peut prendre l'impact. Dans notre méthode, nous nous restreignons aux impacts temporels donc on a par exemple :  $\mathbb{T} = \mathbb{N}$  si on considère le temps de manière discrète ou  $\mathbb{T} = \mathbb{R}^+$  si on considère le temps de manière continue.

La fonction  $proba(r, a)$  donne la probabilité d'occurrence du risque  $r$  pendant l'activité  $a$  tandis que  $impact(r, a)$  donne l'impact du risque  $r$  si il se produit au cours de l'activité  $a$ .

### 3.2.2 Diagramme PERT

Un **diagramme PERT** (P-Chart) est un graphe orienté acyclique (DAG) dont les transitions sont étiquetées par l'activité correspondante et par la durée nominale de cette activité. Ce type de graphe est caractérisé par la présence d'un nœud initial et d'un nœud final (nœud puits).

Un P-Chart est un n-uplet :

$$(\mathcal{N}, \mathcal{T}, n_i, n_f)$$

où  $\mathcal{N}$  est l'ensemble des nœuds,  $\mathcal{T}$  est l'ensemble des transitions,  $n_i$  le nœud initial et  $n_f$  le nœud final.

Une transition est un quadruplet :

$$(n_1, n_2, a, d) \text{ avec } \begin{cases} n_1, n_2 \in \mathcal{N} \\ a \in \mathfrak{A} \\ d \in \mathbb{T} \end{cases}$$

De plus, un diagramme PERT possède une sémantique implicite de coordination. Cette sémantique stipule qu'une transition sortante d'un nœud peut être franchie si et seulement si toutes les transitions entrantes sont terminées i.e. que toutes les activités correspondantes sont terminées.

Un exemple de diagramme PERT est donné à la figure 3.1.

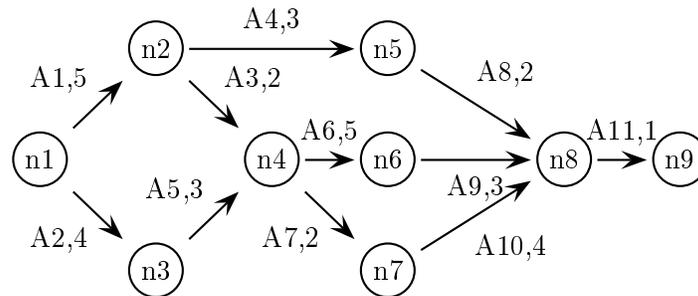


FIG. 3.1 – Exemple de diagramme PERT

### 3.2.3 T-Distributions

Pour manipuler les distributions de durée, nous définissons un formalisme ad-hoc : les T-Distributions.

Une **T-Distribution** est une fonction qui associe à des durées la probabilité de les obtenir :  $\mathbb{T} \rightarrow \mathbb{P}$ .

On représente une T-Distribution par un ensemble de couples (durée, probabilité).

Si la somme des probabilités de toutes les valeurs d'une T-Distribution est égale à 1, on parlera alors de T-Distribution totale.

$$\sum_{(imp_i, prob_i) \in D} prob_i = 1 \Leftrightarrow D \text{ est totale.}$$

Soit  $\mathcal{D}$  l'ensemble des T-Distributions et  $\mathcal{D}_T$  l'ensemble des T-Distributions totales.

Quand on construit une T-Distribution, on ajoute les éléments à l'aide de la fonction *add* définie par la Fonction 1.

**Fonction 1** :  $add(duration : \mathbb{T}, proba : \mathbb{P}, D : \mathcal{D}) : \mathcal{D}$

---

```

si  $\exists (d, p) \in D \mid d = duration$  alors
     $D \leftarrow (D \setminus \{(d, p)\}) \cup \{(d, p + proba)\}$ 
sinon
     $D \leftarrow D \cup \{(proba, impact)\}$ 
fin si
renvoyer  $D$ 

```

---

**Note :**

Si une durée appartient déjà à l'ensemble, la probabilité de celle-ci est incrémentée de la valeur donnée en paramètre. Sinon, on ajoute un couple (durée probabilité) à la distribution.

## 3.3 Distributions d'activité

Dans cette section, nous expliquons comment construire la distribution de durée de chaque activité du diagramme PERT. L'idée est de considérer toutes les combinaisons possibles de risques pour cette activité (cas) et pour chaque combinaison calculer sa probabilité et l'impact correspondant. Les différents résultats sont ensuite regroupés afin d'obtenir la distribution d'activité.

La notion de **cas** est définie comme suit.

Un cas associe à chaque risque du projet/processus un booléen représentant son occurrence ou non. C'est une combinaison possible des risques. Il y a  $2^{|\mathfrak{R}|}$  cas possibles.

Un cas est décrit par un ensemble de couples  $(r, F(r))$  où  $F$  représente la projection de  $\mathfrak{R}$  dans  $\mathbb{B} = \{0, 1\}$  ensemble des booléens pour ce cas.

$$\begin{cases} F : \mathfrak{R} \mapsto \mathbb{B} \\ Cas_F = \{(r, F(r)), r \in \mathfrak{R}\} \end{cases}$$

Pour chaque activité et chaque cas nous calculons une probabilité de cas et un impact de cas de la façon suivante :

$$prob\_case(a, c) = \prod_{r \in \mathfrak{R}} \begin{cases} proba(r, a) & \text{si } occur(r, c) \\ 1 - proba(r, a) & \text{sinon} \end{cases}$$

$$imp\_case(a, c) = \sum_{r \in \mathfrak{R}} \begin{cases} impact(r, a) & \text{si } occur(r, c) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

avec :

$$occur(r, c) = true \text{ si } (r, true) \in c$$

Les fonctions *proba* et *impact* sont définies à la section 3.2.1.

**Note :**

Les calculs effectués ici sont exacts car notre méthode repose sur l'hypothèse forte que les risques sont indépendants ce qui permet des calculs de probabilités et d'impact relativement simples.

Maintenant, construisons la distribution (T-Distribution) correspondant à chaque transition du diagramme PERT et par conséquent pour chaque activité correspondante. Pour cela la méthode est donnée par la fonction 2.

Soit  $Tr$  l'ensemble des transitions du diagramme PERT et soit  $C$  l'ensemble de tout les cas.

**Fonction 2 : *construct\_dist*( $t : Tr$ ) :  $\mathcal{D}_T$**

---

```

dist ← {}
pour tout  $c \in C$  faire
   $a \leftarrow activity(t)$ 
   $d \leftarrow nominal\_duration(t)$ 
   $dist \leftarrow add(impact\_case(c, a) +$ 
     $d, proba\_case(c, a), dist)$ 
fin pour
renvoyer dist

```

---

où *add* est défini à la section 3.2.3.

A partir de maintenant, on appellera *dist*( $t$ ) la T-Distribution construite à l'aide de la fonction *construct\_dist*( $t$ ). Si  $i$  et  $j$  sont respectivement le nombre de risques et le nombre d'activités, la complexité au pire pour calculer toutes les distributions sera en  $O(j.i.2^i)$ .

### 3.4 Distribution Globale

Une fois que nous avons construit les T-Distributions de toutes les transitions, nous calculons la distribution globale, c'est-à-dire la T-Distribution de la durée d'atteinte du nœud final. Le but ici est de calculer la distribution globale pour le projet ou processus entier : c'est la distribution globale du nœud initial.

Pour calculer cette distribution, nous proposons une construction inductive à partir du diagramme PERT. De cette construction résulte un algorithme décrit à la section 3.4.2.

#### 3.4.1 Construction Inductive

Une construction inductive est une construction qui part des cas simples ou particuliers puis qui propose une généralisation. La construction inductive se fait ici en quatre étapes du cas le plus simple au plus complexe. Ces quatre étapes sont décrites ci après :

##### Étape 1

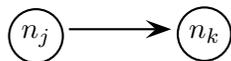
La distribution globale du nœud final est :

$$Global\_dist(n_f) = \{(0, 1)\}$$

En effet, la durée pour se rendre à l'état final est toujours nulle.

##### Étape 2

Considérons un nœud avec une seule transition sortante :



Supposons  $Global\_dist(n_k)$  connue, on a alors :

$$Global\_dist(n_j) = sum(dist(t_{jk}), Global\_dist(n_k))$$

où  $sum$  est définie comme suit :

**Fonction 3** :  $sum(A, B : \mathcal{D}_T) : \mathcal{D}_T$

---

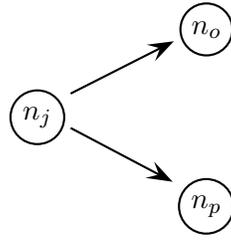
```

D ← empty_dist()
pour tout (d_a, p_a) ∈ A faire
  pour tout (d_b, p_b) ∈ B faire
    D ← add(d_a + d_b, p_a * p_b, D)
  fin pour
fin pour
renvoyer D
  
```

---

##### Étape 3

Considérons maintenant un nœud avec deux transitions sortantes,



Si l'on suppose  $GD_p = Global\_dist(n_p)$  et  $GD_o = Global\_dist(n_o)$  connues, nous avons alors :

$$Global\_dist(n_j) = Max\_dist(sum(dist(t_{jo}), GD_o), sum(dist(t_{jp}), GD_p))$$

avec :

**Fonction 4 :**  $Max\_dist(A, B : \mathcal{D}_T) : \mathcal{D}_T$

---

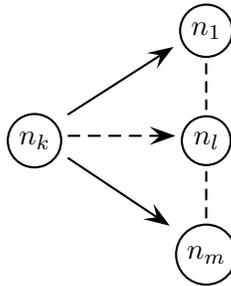
```

D = {}
pour tout (d_a, p_a) ∈ A faire
  pour tout (d_b, p_b) ∈ B faire
    D ← add(max(d_a, d_b), p_a * p_b, D)
  fin pour
fin pour
renvoyer D
  
```

---

#### Étape 4

Généralisons maintenant à un noeud qui possède  $n$  transitions en sortie :



Considérons  $Global\_dist(n_1), \dots, Global\_dist(n_m)$  connues, On a alors :

Soit  $D_i = sum(dist(t_{ij}), Global\_dist(n_j))$ ,

$$Global\_dist(n_j) = Max\_Set(\{D_1, \dots, D_m\})$$

où  $Max\_Set$  est l'extension de la fonction  $Max\_Dist$  à un ensemble de T-Distributions totales et définie de la manière suivante :

Soit  $E = \{D_1, \dots, D_n\}$  un ensemble de T-Distributions totales.

$$Max\_Set(E) = \begin{cases} D_1 & \text{if } |E| = 1 \\ Max\_dist(D_1, Max\_Set(E \setminus D_1)) & \text{else} \end{cases}$$

**Note :**

L'utilisation de fonctions de type max quand il y a plus d'une transition sortante pour un nœud permet de prendre en compte la sémantique de "coordination" des diagrammes PERT. En effet, on ne pourra commencer les activités suivantes que si toutes les activités précédentes sont terminées et donc quand la plus longue d'entre elles est terminée.

### 3.4.2 Algorithme de calcul de la distribution globale

La construction inductive de la section précédente nous permet d'établir un algorithme pour calculer la distribution globale. Cet algorithme est mis en œuvre par la fonction suivante :

**Fonction 5 :**  $Global\_dist(n : \mathcal{N}) : \mathcal{D}$

---

```

si  $n$  is the final node alors
  return  $\{(1, 0)\}$ 
sinon
   $E \leftarrow \emptyset$ 
  let Succ the set of  $n$  successors,
  pour tout  $k \in Succ$  faire
     $D_k \leftarrow sum(dist(t_{sk}), Global\_dist(k))$ 
     $E \leftarrow E \cup D_k$ 
  fin pour
  renvoyer  $Max\_Set(E)$ 
fin si

```

---

Pour obtenir la distribution globale du projet/processus, on exécute  $Global\_dist(s_i)$ .

**Note :**

Cet algorithme peut être optimisé si l'on évite de recalculer les distributions globales. Pour cela, on stocke les distributions une fois calculées et quand on doit en calculer une, on regarde si elle a déjà été calculée. Si c'est le cas, on l'utilise sinon on la calcule.

## 3.5 Exemple

Dans cette section, afin d'illustrer nos propos, nous allons donner un exemple de mise en œuvre de notre méthode sur un processus.

Le processus crée pour cet exemple à l'avantage à la fois d'être simple mais aussi d'avoir des propriétés structurales intéressantes (un nœud de synchro avec plusieurs activités en entrée et un avec plusieurs activités en sortie).

Le processus choisi est un processus d'autorisation d'emprunt dans une bibliothèque professionnelle. L'emprunt d'un livre nécessite d'y être autorisé (gestion de droits) et de plus que celui-ci ne soit pas déjà réservé.

Le processus consiste donc à lancer en parallèle deux requêtes sur des serveurs distants et à analyser leurs résultats.

Le diagramme PERT de notre processus est donné à la figure 3.2.

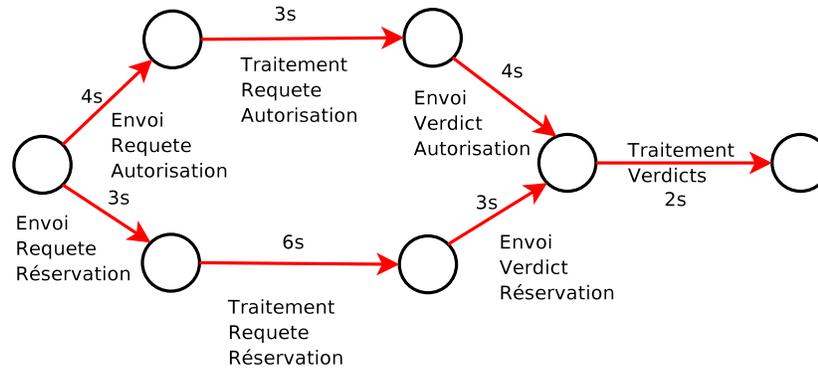


FIG. 3.2 – Diagramme PERT du processus d'autorisation d'emprunt

### 3.5.1 Analyse des risques

Sur ce processus nous avons identifié les risques suivants :

- R1 : Saturation du réseau
- R2 : Mise à jour de la base de données
- R3 : Saturation du serveur

L'évaluation des risques par activité a donné les résultats suivants

- R1 :
  - Envoi requête autorisation proba=0.2 impact=3s
  - Envoi verdict autorisation proba=0.2 impact=2s
  - Envoi requête réservation proba=0.1 impact=2s
  - Envoi verdict réservation proba=0.1 impact=1s
- R2 :
  - Traitement Requête autorisation proba=0.1 impact=6s
  - Traitement Requête réservation proba=0.05 impact=10s
- R3 :
  - Traitement Requête autorisation proba=0.1 impact=2s
  - Traitement Requête réservation proba=0.1 impact=6s

Pour tous les autres couples (risque,activité), on a proba=0 et impact=0s.

### 3.5.2 Résultats obtenus

La méthode a été implémentée en utilisant le langage de programmation Objective Caml [52]. Sur cet exemple, l'exécution prend quelques secondes au maximum.

Les valeurs obtenues sont des valeurs précises. Cependant, même si ces valeurs sont présentées avec de nombreux chiffres après la virgule, ces chiffres ne sont pas significatifs mais informatifs.

Les distributions de durée de chaque activité calculées sont :

– Envoi requête autorisation :

```
Value= 4 Proba= 0.800000 Cum.Proba= 0.800000
Value= 7 Proba= 0.200000 Cum.Proba= 1.000000
```

– Traitement Requête autorisation :

```
Value= 3 Proba= 0.810000 Cum.Proba= 0.810000
Value= 5 Proba= 0.090000 Cum.Proba= 0.900000
Value= 9 Proba= 0.090000 Cum.Proba= 0.990000
Value= 11 Proba= 0.010000 Cum.Proba= 1.000000
```

– Envoi verdict autorisation :

```
Value= 4 Proba= 0.800000 Cum.Proba= 0.800000
Value= 6 Proba= 0.200000 Cum.Proba= 1.000000
```

– Envoi requête réservation :

```
Value= 3 Proba= 0.900000 Cum.Proba= 0.900000
Value= 5 Proba= 0.100000 Cum.Proba= 1.000000
```

– Traitement Requête réservation :

```
Value= 6 Proba= 0.815000 Cum.Proba= 0.805000
Value= 12 Proba= 0.095000 Cum.Proba= 0.900000
Value= 18 Proba= 0.095000 Cum.Proba= 0.995000
Value= 22 Proba= 0.005000 Cum.Proba= 1.000000
```

– Envoi verdict réservation :

```
Value= 3 Proba= 0.900000 Cum.Proba= 0.900000
Value= 4 Proba= 0.100000 Cum.Proba= 1.000000
```

– Traitement verdicts :

```
Value= 2 Proba= 1.000000 Cum.Proba= 1.000000
```

Une fois les distributions de chaque activité calculées, nous calculons la distribution globale à l'aide de l'algorithme de la section précédente. Les résultats sont présentés à la figure 3.3.

Des résultats on peut déduire que notre processus peut prendre de 14s à 33s mais que dans plus de 99% des cas on obtient une durée inférieure à 25s

**Note :**

Le processus utilisé ici est tout à fait fictif de même que les risques identifiés et leurs évaluation. L'unique but était d'illustrer nos propos et non de donner un exemple réel.

Value= 14	Proba= 0.359018	Cum.Proba= 0.359018
Value= 15	Proba= 0.183941	Cum.Proba= 0.542959
Value= 16	Proba= 0.163996	Cum.Proba= 0.706955
Value= 17	Proba= 0.019453	Cum.Proba= 0.726408
Value= 18	Proba= 0.040014	Cum.Proba= 0.766422
Value= 19	Proba= 0.049248	Cum.Proba= 0.815670
Value= 20	Proba= 0.076765	Cum.Proba= 0.892435
Value= 21	Proba= 0.027750	Cum.Proba= 0.920185
Value= 22	Proba= 0.022032	Cum.Proba= 0.942217
Value= 23	Proba= 0.002463	Cum.Proba= 0.944680
Value= 24	Proba= 0.041375	Cum.Proba= 0.986055
Value= 25	Proba= 0.004048	Cum.Proba= 0.990104
Value= 26	Proba= 0.004446	Cum.Proba= 0.994550
Value= 27	Proba= 0.000450	Cum.Proba= 0.995000
Value= 30	Proba= 0.004050	Cum.Proba= 0.999050
Value= 31	Proba= 0.000450	Cum.Proba= 0.999500
Value= 32	Proba= 0.000450	Cum.Proba= 0.999950
Value= 33	Proba= 0.000050	Cum.Proba= 1.000000

FIG. 3.3 – Distribution Globale de la durée du processus

## 3.6 Formalisation de la sémantique de coordination dans le diagramme PERT

Nous avons vu que le formalisme utilisé pour représenter un diagramme PERT possède une sémantique implicite de coordination au niveau des noeuds. Afin de formaliser cette sémantique, nous avons introduit le concept des Diagramme PERT colorés et mis au point l'algorithme de coloration adéquat.

La coloration des diagrammes PERT permet de rajouter des conditions sur les noeuds qui garantit que tant que toutes les conditions ne sont pas réunies (terminaison des activités entrantes), on ne peut lancer une nouvelle activité.

Dans cette section nous présentons tout d'abord le formalisme des diagrammes PERT colorés puis l'algorithme de coloration qui garantit la sémantique de coordination.

### 3.6.1 Formalisme choisi

Pour prendre en compte de manière explicite la sémantique de coordination du diagramme PERT, nous avons étendu le formalisme de la section 3.1.1 en nous inspirant des réseaux de Petri colorés [44, 14]. Nous avons emprunté au formalisme des réseaux de Petri, les notions de marquage et les conditions de franchissement des transitions liées au marquage.

**Def. 1. Diagramme PERT Coloré :**

Un Diagramme de Pert Coloré (DPC) est un septuplet

$$(\mathcal{N}, \mathcal{T}, n_i, n_f; Pre, Post, M_0)$$

où :

- $\mathcal{N}$  est un ensemble fini de nœuds,
- $\mathcal{T}$  est un ensemble fini de transitions,
- $n_i$  le nœud initial,
- $n_f$  le nœud final,
- $Pre$  est la fonction de franchissement des transitions :  $\mathcal{T} \rightarrow \wp(\mathfrak{C})$ ,
- $Post$  est la fonction de sortie des transitions :  $\mathcal{T} \rightarrow \wp(\mathfrak{C})$ ,
- et  $M_0$  la fonction de marquage initial :  $\mathcal{P} \rightarrow \wp(\mathfrak{C})$ .

Une transition est un quadruplet  $(n_1, n_2, a, d)$  tel que  $n_1, n_2 \in \mathcal{N}$  avec  $n_1$  origine de la transition,  $n_2$  cible de la transition,  $a \in A$  l'activité liée et  $d \in \mathfrak{t}$  la durée de la transition.

$\mathfrak{C}$  est l'ensemble des couleurs et  $\mathfrak{T}$  est l'ensemble des durées possibles (on a souvent  $\mathfrak{T} = \mathbb{R}$  ou  $\mathfrak{T} = \mathbb{N}$ ).

Un DPC doit en plus vérifier les propriétés suivantes :

Soient  $To(n)$ , l'ensemble des transitions ayant pour cible le nœud  $n$  et  $From(n)$  l'ensemble des transitions ayant le nœud  $n$  pour origine, on a alors pour tout  $n \in (\mathcal{N} \setminus \{n_i, n_f\})$  :

$$\begin{cases} \forall tr_1, tr_2 \in From(n), Pre(tr_1) \cap Pre(tr_2) = \emptyset \\ \forall tr_1, tr_2 \in To(n), Post(tr_1) \cap Post(tr_2) = \emptyset \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\forall tr_1 \in From(n), \forall tr_2 \in To(n), Pre(tr_1) \cap Post(tr_2) \neq \emptyset \quad (3.2)$$

$$\bigcup_{t \in To(n)} Pre(t) = \bigcup_{t \in From(n)} Post(t) \quad (3.3)$$

Les équations (3.1) signifient que les sorties des transitions entrantes d'une part et les entrées des transitions sortantes d'autre part sont incompatibles deux à deux.

L'équation (3.2) implique qu'au moins une couleur en sortie d'une transition entrante est présente dans chaque transition sortante et vice-versa tandis que (3.3) indique que toute couleur appartenant à une des sorties des transitions entrantes appartient aussi à l'entrée d'une des transitions sortantes.

Soit  $M(n)_t$  le marquage d'un nœud  $n$  à l'instant  $t$ , une transition  $tr \in From(n)$  est franchissable si et seulement si  $Pre(tr) \subseteq M(n)_t$ . On a alors :

$$\begin{aligned} M(n)_{t+\epsilon} &= M(n)_t \setminus Pre(tr) \\ M(but(tr))_{t+duree(tr)} &= M(but(tr))_{t+duree(tr)-\epsilon} \cup Post(tr) \end{aligned}$$

### 3.6.2 Algorithme de coloration

Pour satisfaire les propriétés énoncées dans la section précédente, nous avons mis au point un algorithme de coloration qui, à partir d'un DPC sans marquage, permet de calculer le coloriage adéquat. On a donc au départ :

$$\begin{aligned} \forall t \in \mathcal{T}, Pre(t) = Post(t) = \{\} \\ \forall n \in \mathcal{N}, M_0(n) = \{\} \end{aligned}$$

L'algorithme a été découpé en 2 fonctions *coloration* et *colore*. Il est basé sur un parcours en profondeur d'abord du Diagramme Pert. Pour obtenir la coloration, on effectue :

$$M_0(n_i) = Coloration()$$

**Fonction 6** : *Coloration()* :  $\wp(\mathfrak{C})$

---

```

E ← {}
c ← 1
Trans ← From(ni)
tant que Trans ≠ {} faire
    soit ti ∈ Trans
    Pre(ti) ← {c}
    Post(ti) ← {c}
    E ← E ∪ {c}
    c ← Colore(ti, c)
    c ← c + 1
    Trans ← Trans \ ti
fin tant que
renvoyer E
    
```

---

**Fonction 7** :  $Colore(tr : \mathcal{T}, c : \mathcal{C}) : \mathcal{C}$

---

```

si  $but(tr) \neq n_f$  alors
   $Trans \leftarrow From(but(tr))$ 
  soit  $t_1 \in Trans$ 
   $Pre(t_1) \leftarrow Pre(t_1) \cup Post(tr)$ 
  si  $|Pre(t_1)| = 1$  alors
     $Post(t_1) \leftarrow Pre(t_1)$ 
     $c \leftarrow Colore(t_1, c)$ 
  fin si
   $Trans \leftarrow Trans \setminus t_1$ 
  tant que  $Trans \neq \{\}$  faire
     $c \leftarrow c + 1$ 
    soit  $t_i \in Trans$ 
     $Pre(t_i) \leftarrow Pre(t_i) \cup \{c\}$ 
     $Post(tr) \leftarrow Post(tr) \cup \{c\}$ 
    si  $|Pre(t_i)| = 1$  alors
       $Post(t_i) \leftarrow Pre(t_i)$ 
       $c \leftarrow Colore(t_i, c)$ 
    fin si
     $Trans \leftarrow Trans \setminus t_i$ 
  fin tant que
fin si
renvoyer  $c$ 

```

---

La figure 3.4 donne un exemple d'application de l'algorithme de coloration.

## Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une méthode originale qui peut être très utile à des managers de projet ou de processus afin de mieux cibler la durée réelle du projet ou du processus afin de le calibrer en conséquence.

Pour la mettre au point, nous avons formalisés un certain nombre d'objets ou concepts : Diagramme PERT, distributions, Diagramme PERT Colorés,...

Cette méthode est un vrai complément au management des risques aussi bien pour un projet qu'un processus et peut être utilisée régulièrement tout au long du projet. Elle est notamment très utile après une réévaluation des risques ou pour simuler les effets d'actions de traitement globalement sur le projet.

La complexité de cette méthode peut amener à craindre une explosion combinatoire si le nombre de risques est important et c'est probablement le cas. Cependant, dans le cas de projets ou processus réels, du moins pour des projets de taille raisonnable, le nombre de risques n'est pas très élevé, surtout si l'on considère le nombre de risques pour chaque activité ce qui limite la possibilité d'explosion combinatoire.

La limite principale de cette méthode vient de l'hypothèse forte d'indépendance des risques. Bien que souvent fausse, cette hypothèse est généralement utilisée car la prise en compte des

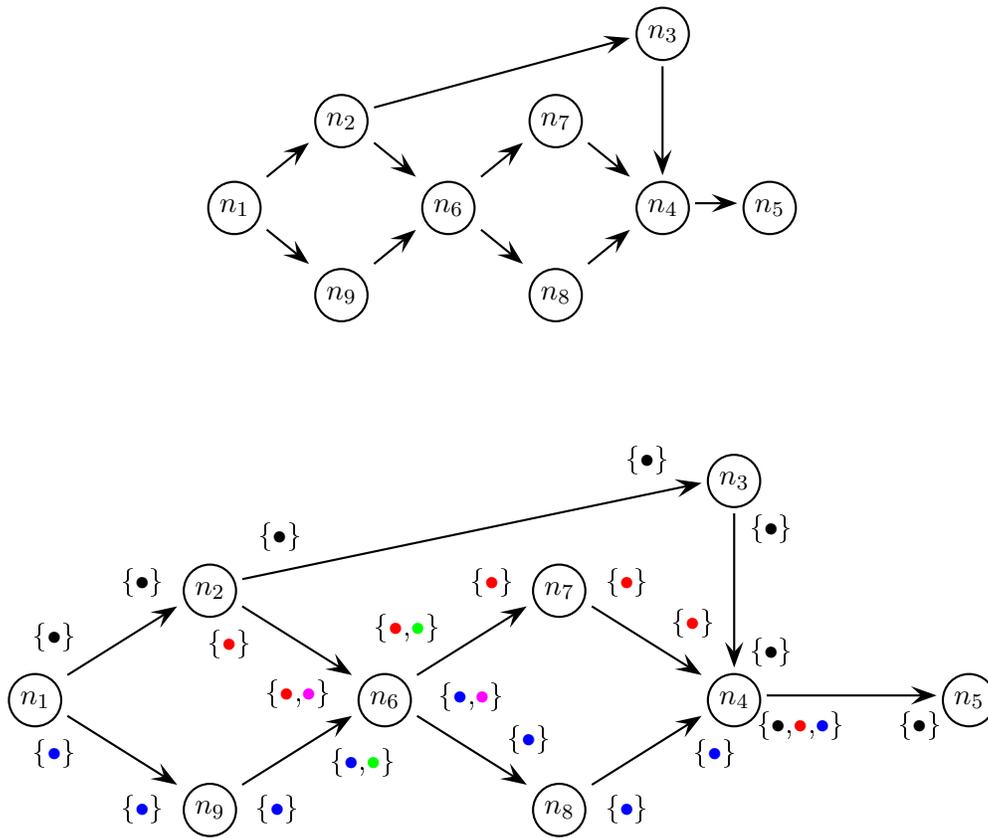


FIG. 3.4 – Exemple de coloration d'un diagramme PERT par l'algorithme de coloration

dépendances entre risques n'est pas triviale et complique sérieusement la manipulation des probabilités.

Dans le chapitre suivant, nous présentons une méthode permettant de s'affranchir de cette hypothèse restrictive et d'obtenir des estimations plus réalistes de la distribution de la durée d'un projet ou d'un processus.



## Chapitre 4

# Dépendances entre risques

Dans le chapitre précédent nous avons utilisé l'hypothèse de l'indépendance des risques. Cette hypothèse, largement utilisée de par ses vertus simplificatrices, est souvent erronée. En effet, dans la réalité, les risques sont souvent interdépendants.

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord notre vision des dépendances et de leur représentation. Dans un second temps, nous proposerons une méthode qui permet, tout comme celle proposée dans le chapitre précédent, de calculer la distribution de la durée d'un projet en fonction de ses risques mais en prenant en compte la dépendance entre ces risques.

### 4.1 Notion de dépendances entre risques

“Les risques sont indépendants” : cette affirmation de par les simplifications (probabilistes notamment) qu'elle entraîne est souvent utilisée comme hypothèse de base dans le management des risques. Cette hypothèse est cependant bien souvent erronée.

La notion de dépendance entre risques est relativement absente de la littérature en management des risques. On la retrouve essentiellement sous deux formes différentes :

- représentation de relations entre risques et notamment des risques imbriqués afin de proposer des méthodes pour contrôler et limiter les effets “boules de neige” ou “risques en cascade”. C'est notamment le cas de l'article de Kuismanen, Saari et Vähäkylä : “Risk interrelation management : Controlling the snowball effect” [49] présenté au congrès PMI Europe à Cannes en 2002.
- une approche statistico-probabiliste visant à modéliser les dépendances sous forme mathématique en utilisant des corrélations. Ces approches sont essentiellement utilisées dans les domaines de la finance et des assurances. Schönbucher dans “Factor Models For Portfolio Credit Risk” [71] et Albrecher dans “Dependant Risks and Ruin Probabilities in Insurance” [6] mettent en oeuvre ce type d'approche

Ces approches ne correspondent pas à notre manière d'appréhender les dépendances. C'est pourquoi nous avons choisi de proposer notre vision des dépendances ainsi qu'un modèle correspondant qui sont décrits dans les sections suivantes.

## 4.2 Approche proposée pour la prise en compte des dépendances

Pour prendre en compte les dépendances, il est essentiel de se demander à quel moment cette dépendance intervient et quels effets un risque peut avoir sur un autre.

L'approche que nous avons choisie consiste à dire qu'une dépendance n'est effective qu'au moment où le risque qui induit la dépendance se produit. c'est ce que nous appelons une **dépendance à l'occurrence**.

Une autre approche aurait pu être de considérer les risques comme corrélés, la modification de la probabilité ou de l'impact d'un risque entraînant la modification des risques qui dépendent de lui. Outre la difficulté de mise en œuvre d'une telle approche, celle-ci ne permet pas la prise en compte d'apparition de nouveaux risques ou la disparition d'autres.

La question que nous nous sommes posée est la suivante : quelles catégories de dépendances peut-on et veut-on prendre en compte ? Nous avons retenu les catégories suivantes que nous illustrons par des exemples :

- les dépendances destructrices : ce type de dépendance implique que lorsque un risque se produit, un ou plusieurs autres risques n'ont plus de raisons d'être et disparaissent donc. Par exemple, si on considère que le risque "*achat d'un nouveau serveur impossible*" se produit, le risque "*incompatibilité de la plate-forme avec le nouveau serveur*" n'a plus lieu d'être et disparaît.
- les dépendances créatrices : ce type de dépendance implique que l'occurrence d'un risque entraîne l'apparition d'un nouveau risque. Ainsi, le risque "*panne du serveur*" implique l'apparition du risque "*réparation du serveur impossible*".
- les dépendances modificatrices : ce sont les dépendances les plus courantes. L'occurrence d'un risque va augmenter la probabilité d'apparition ou l'impact d'un autre risque. Un bon exemple de cette dépendance est le risque "*achat d'un nouveau serveur impossible*" qui va entraîner l'augmentation de la probabilité du risque "*saturation du serveur*".

Nous nous limitons à ces 3 catégories de dépendances, mais on pourrait en imaginer d'autres comme par exemple la mise en quarantaine (désactivation du risque pour une durée donnée).

Cette approche et cette catégorisation des dépendances nous paraît une solution à la fois relativement simple et couvrant le maximum de cas possibles.

## 4.3 Dépendances et graphe de dépendance

Pour représenter les dépendances telles qu'elles sont décrites précédemment, nous avons choisi le formalisme des graphes orientés. Ces graphes que nous appelons **graphes de dépendance** sont constitués de sommets représentant les risques (ou comme pour la méthode du chapitre 3, les couples risques/activités) et d'arcs. Les arcs représentent les dépendances entre les risques et peuvent être de 3 types différents (un par type de dépendance).

Les arcs sont étiquetés par un triplé (type,p,i). L'élément *type* correspond au type de l'arc et peut prendre les valeurs D,C ou M pour destruction, création et modification.

Pour les arcs de type modification, p et i sont des valeurs pouvant être aussi bien positives que négatives et représentent les modifications apportées respectivement à la probabilité

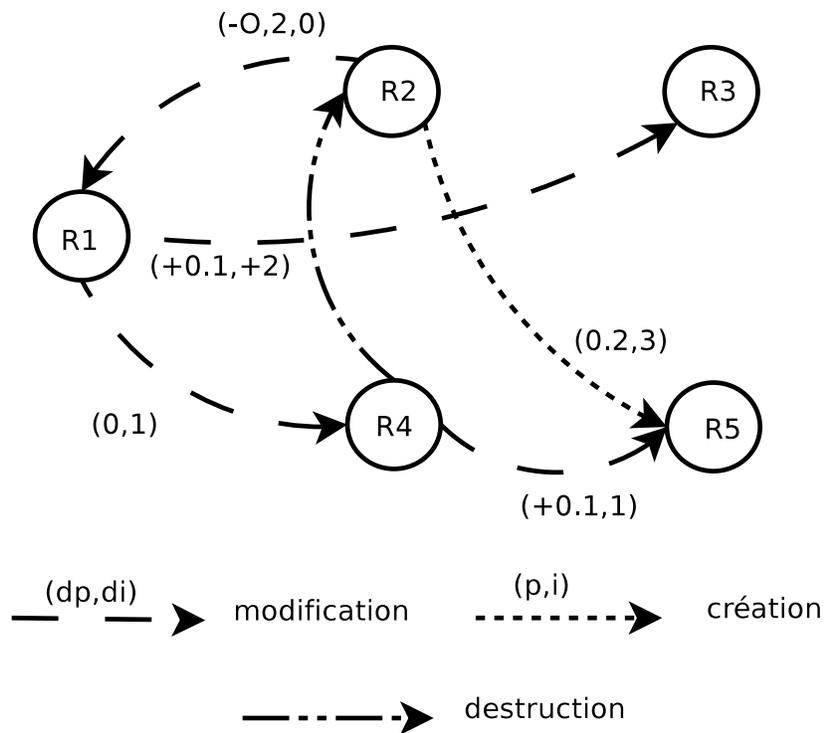


FIG. 4.1 – Exemple de graphe de dépendance

d'apparition et à l'impact du risque récepteur de l'arc.

Pour les arcs de type création  $p$  et  $i$  sont des valeurs positives représentant la probabilité d'apparition et l'impact du nouveau risque.

Pour les arcs de type destruction les valeurs  $p$  et  $i$  ne sont pas importantes. Pour simplifier, on pose  $p = 0$  et  $i = 0$

La figure 4.1 donne un exemple de représentation d'un graphe de dépendance. Ainsi l'occurrence du risque R4 va entraîner la disparition du risque R2 ; l'occurrence de R2 conduira à la création du risque R5 avec une probabilité de 0.2 et un impact de 3 ; la survenue du risque R1 va augmenter la probabilité du risque R3 et l'impact des risques R3 et R4.

De manière plus formelle :

Posons  $\mathfrak{R}$  ensemble des risques du projet/processus,  $\mathfrak{A}$  ensemble des activités du projet/processus,  $\mathfrak{P}$  ensemble des probabilités et  $\mathfrak{P}^{+-}$  ensemble des variation de probabilité. c'est à dire le sous ensemble de  $\mathbb{R}$  tel que  $\mathfrak{P}^{+-} = [-1, 1]$ .

**Def. 2. Dépendance :**

- Une dépendance  $d$  est un quintuplé  $\langle r_i, r_o, T, p, i \rangle$  où :*
- $r_o, r_i \in \mathfrak{R}$  sont les risques initiateur et objet de la dépendance, si l'on considère les dépendances entre risques
  - $r_o, r_i \in \mathfrak{R} \times \mathfrak{A}$  sont les risques initiateur et objet de la dépendance, si l'on considère les dépendances entre couples risque/activité
  - $T \in \{D, C, M\}$  est le type de la dépendance,
  - si  $T = D$  alors  $p = 0$  et  $i = 0$
  - si  $T = C$  alors  $p \in \mathfrak{P}$  est une probabilité et  $i \in \mathbb{N}$  est un entier représentant un impact
  - si  $T = M$  alors  $p \in \mathfrak{P}^{+-}$  est une variation de probabilité et  $p \in \mathbb{Z}$  est un entier relatif représentant une variation d'impact.

**Def. 3. Graphe de dépendance :**

- Soit  $\mathfrak{D}$  l'ensemble des dépendances entre risques du projet/processus, le graphe de dépendance du projet est alors :*
- le couple  $G_d = (\mathfrak{R}, \mathfrak{D})$  si l'on considère les dépendances entre risques.
  - le couple  $G_d = (\mathfrak{R} \times \mathfrak{A}, \mathfrak{D})$  si l'on considère les dépendances entre couples risque/activité.

Par la suite nous ne considérerons que les dépendances entre couples risque/activité.

## 4.4 Méthode de calcul de la distribution de la durée d'un projet ou d'un processus en fonction des risques et de leurs dépendances

Au chapitre précédent, nous avons proposé une méthode permettant de calculer la distribution de la durée d'un projet en fonction des risques et ce dans le cas où l'on considère les risques comme étant indépendants. Le but de cette section est de proposer une méthode ayant les mêmes objectifs que la précédente mais en prenant en compte les dépendances telles que décrites dans les sections précédentes.

Le problème majeur dans la prise en compte des dépendances est le fait que désormais l'ordre d'apparition des risques et le moment où ils apparaissent sont des éléments importants qui empêchent de pouvoir traiter les activités séparément. Il faut donc considérer le projet dans sa globalité.

On peut donc voir le projet et ses risques comme un système dont l'état varie.

Nous allons dans un premier temps étudier les différents éléments permettant de caractériser un état, définir la notion de graphe d'états de notre système et enfin proposer une méthode permettant le calcul de la distribution de la durée du projet/processus.

Dans cette méthode, nous réutiliserons la méthode d'évaluation et les définitions de diagramme PERT et distributions du chapitre précédent.

### 4.4.1 Caractérisation d'un état

Nous cherchons ici à caractériser un état de notre système et donc à déterminer quelles sont les caractéristiques et variables que l'on doit inclure dans un état.

A un instant donné, il y a des activités en attente, des activités terminées et, bien sûr, des activités en cours. Les activités en attente et les activités en cours sont caractérisées par leur durée prévue et en sus pour les activités en cours par le temps passé dans l'activité.

Nous caractériserons cela par un vecteur qui associe à chaque activité un triplé (état, durée totale, temps écoulé) où état peut prendre les valeurs : en attente, en cours ou terminée.

De plus le système est caractérisé par les valeurs de la probabilité et de l'impact de chaque couple risque/activité.

On représentera donc ces valeurs sous la forme d'une matrice qui à chaque risque et chaque activité associe un couple (probabilité, impact).

Le système est aussi caractérisé à tout moment par le graphe de dépendances (risques, activité) ainsi que par le diagramme PERT (du moins sa structure) du projet.

Ces deux éléments étant définis une fois pour toutes et étant communs à tout les états, ne seront pas considérés comme éléments caractéristiques d'un état.

Enfin un élément important du système est le temps écoulé depuis son démarrage.

Pour résumer un état du système projet/processus est caractérisé par :

- un vecteur *activités* de triplet (état, durée totale, temps écoulé),
- une matrice *risques/activités* de couples (probabilité, impact),
- le temps écoulé depuis le démarrage du système.

### 4.4.2 Graphe d'état du système

Afin de pouvoir calculer une distribution de la durée du projet, il nous faut connaître toutes ses évolutions possibles. Il s'agit donc de construire un graphe d'état. Ce graphe représente l'ensemble des états accessibles et comment passer d'un état à un autre. De plus, dans notre cas, il est primordial de connaître la probabilité de passer d'un état à un autre. Ce graphe d'état sera donc un graphe probabiliste.

Dans un premier temps, l'aspect probabiliste nous a conduit à nous intéresser aux modèles de Markov et notamment aux Modèles de Markov Cachés (HMM) [67]. C'est d'ailleurs la piste que nous avons présentée dans nos articles au workshop EDSE [18] et au Lambda-Mu 14 [20]. Après une étude approfondie, nous nous sommes aperçus que le système n'a pas réellement un comportement markovien et que l'inclusion du temps dans l'état rendait cette modélisation peu adaptée.

Nous nous sommes ensuite intéressés aux automates probabilistes. Ces automates qui sont équivalents aux HMMs, sous-entendent qu'une action, une donnée fait passer le système d'un état à un autre. L'ensemble de ces actions/données forme un alphabet. Dans la plupart des définitions d'automates probabilistes, on associe à cet alphabet une distribution de la probabilité d'apparition d'un élément de l'alphabet. Dans notre cas, il est possible de déterminer un alphabet (ensemble de risques pouvant se produire) mais la distribution varie. Nous avons donc choisi de ne pas utiliser ce formalisme.

Enfin, la solution que nous avons retenu est l'utilisation d'un graphe d'état probabiliste. C'est un graphe orienté dont les sommets représentent les états du système et la présence d'un arc entre deux sommets indique que l'on peut passer de l'état correspondant au sommet initial à celui correspondant au sommet destination. Ces arcs sont étiquetés par une probabilité qui

représente la probabilité de passer d'un état à un autre. La somme des probabilités des arcs sortant d'un sommet est égale à 1.

Plus formellement :

**Def. 4. Graphe d'état probabiliste :**

*Un graphe d'état probabiliste est un quadruplé  $\langle Q, T, q_0, Q_f \rangle$  où :*

- $Q$  est l'ensemble des états du système ;
- $q_0 \in Q$  est l'état initial du système ;
- $Q_f$ , sous-ensemble de  $Q$  regroupant les états finaux ;
- $T$  est l'ensemble des transitions du système.

*Une transition est un triplet  $\langle q_i, q_d, p \rangle$  où :*

- $q_i, q_d \in Q$  sont respectivement les états initial et destination de la transition.
- $p \in ]0, 1]$  est la probabilité de la transition.

De plus, un graphe probabiliste doit respecter la contrainte suivante :

$$\forall q \in Q \setminus Q_f, \quad \sum_{\langle q_i, q_d, p \rangle \in T | q_i = q} p = 1$$

De plus, l'état de notre système incluant le temps écoulé depuis le démarrage du système et la transition d'un état à un autre impliquant une augmentation du temps, le graphe d'état probabiliste est un Graphe Orienté Acyclique ou GOA (DAG en anglais).

### 4.4.3 Construction du graphe d'état

Pour construire le graphe d'état du système, nous allons partir de l'état initial du système et construire tous les états dans lesquels le système peut se trouver.

A partir d'un état, nous déterminons l'ensemble des couples risques/activités actifs. Pour chaque combinaison possible de couples actifs, nous construisons un nouvel état en suivant les étapes suivantes :

- application des impacts des couples risque/activité,
- application des dépendances dans l'ordre suivant : destructions, créations et modifications,
- incrémentation du temps,
- prise en compte de la terminaison éventuelle d'activités,
- prise en compte du démarrage de nouvelles activités.

Nous allons maintenant expliciter chaque étape.

#### Détermination des couples actifs

L'ensemble des couples actifs est l'ensemble  $C_{actifs}$  des couples risque/activité correspondant aux activités en cours et dont la probabilité n'est pas nulle. Soit :

$$C_{actifs} = (r, a), r \in \mathfrak{R}, a \in \mathfrak{A}, \exists p \in ]0, 1], \exists i \in \mathbb{N} | etat\_act(a) = \text{En cours et } M(r, a) = (p, i)$$

$etat\_act$  est une fonction qui donne l'état de l'activité passée en paramètre. Pour tout  $C \subset C_{actifs}$ , nous construisons un nouvel état. On appellera  $C$  un cas.

La probabilité de la transition de l'état actuel au nouvel état aussi appelée probabilité de cas qui est en fait un taux est calculé comme suit :

$$p_t(C) = \prod_{(r,a) \in C} proba(r,a)/t_{max}(a) * \prod_{(r,a) \in C_{actifs} \setminus C} (1 - p(r,a))/t_{max}(a)$$

Pour ce faire, nous avons émi l'hypothèse que durant une unité de temps, les risques sont indépendants. De plus, afin de simplifier le calcul de probabilité, nous avons utilisé une fonction de répartition constante de la probabilité sur l'activité. Il est imaginable de pouvoir utiliser d'autres fonctions de répartition mais cela complique grandement les calculs.

Afin de limiter le nombre d'états on peut éventuellement utiliser l'hypothèse/contrainte supplémentaire qui consiste à dire que durant une unité de temps, seuls  $n$  risques peuvent se produire. Dans ce cas, l'ensemble des combinaisons possibles devient

$$\mathfrak{C} = \{C \subset C_{actifs} \mid |C| \leq n\}$$

et la probabilité de transition devient :

$$p'(C) = p_t(C) \div \sum_{c \in \mathfrak{C}} p_t(c)$$

Ayant éliminé un certain nombre de possibilités (cas où le nombre de risques survenant au même moment est supérieur au  $n$  fixé), la somme des probabilités n'est plus égale à 1. Cette condition doit toujours être respectée pour notre graphe. Il devient donc nécessaire de normaliser ces probabilités.

### Application des impacts

Pour chaque nouvel état, nous appliquons les impacts des risques qui sont survenus. Pour chaque couple risque/activité qui s'est produit, la durée prévue de l'activité correspondante sera incrémentée de la valeur de l'impact. De plus, nous considérons qu'un couple risque/activité une fois arrivé ne se reproduira plus, donc on lui attribue une probabilité et un impact nuls.

Cette hypothèse limite certes fortement le fait qu'un risque puisse avoir plusieurs occurrences durant la même activité mais, si elle n'est pas appliquée, le calcul sera infini. En effet, il y aura toujours un cas pour lequel le risque se produira et, si il a un impact non nul, on rentre dans une boucle infinie.

$$\begin{aligned} \forall (r,a) \in C, \text{ si } M(r,a) = (p,i) \text{ et } A(a) = (\text{En cours}, t, t_f) \\ \text{alors } A(a) \leftarrow (\text{En cours}, t, t_f + i) \\ \text{et } M(r,a) \leftarrow (0,0) \end{aligned}$$

Cette étape correspond à la fonction *Applic\_impact*.

### Application des dépendances

Nous traitons les dépendances dans l'ordre destruction, création et modification afin de gérer certains conflits qui pourraient subvenir.

Déterminons tout d'abord les couples risque/activité à détruire.

$$RaD = \{\forall d \in \mathcal{D} \text{ tel que } origine(d) \in C \text{ et } type(d) = D, objet(d)\}$$

Pour tout couple risque/activité appartenant à cet ensemble, on value la probabilité et l'impact à 0.

$$\forall (r, a) \text{ in } RaD, M(r, a) \leftarrow (0, 0)$$

Pour toute dépendance créatrice, si le couple risque/activité est inactif (probabilité nulle), nous lui affectons la probabilité et l'impact étiquetant la dépendance, sinon nous affectons à son impact et à sa probabilité le max des valeurs actuelles et de celles étiquetant la dépendance.

$$\begin{aligned} &\forall d \in \mathcal{D} \text{ tel que } type(d) = C \text{ et } origine(d) \in C, \\ &\text{posons } d = ((r, a), (r', a'), C, p, i) \\ &\text{si } M(r', a') = (0, 0) \text{ alors } M(r', a') \leftarrow (p, i) \\ &\text{sinon } M(r', a') \leftarrow (max(p, proba(r, a)), max(i, impact(r, a))) \end{aligned}$$

Pour la prise en compte des dépendances de type modification, pour chaque couple risque/activité nous appliquons les variations de probabilité et d'impact prévues. Il convient de vérifier que la probabilité résultante soit comprise entre 0 et 1 et que de même l'impact soit positif ou nul.

$$\begin{aligned} &\forall d \in \mathcal{D} \text{ tel que } type(d) = M \text{ et } origine(d) \in C, \\ &\text{posons } d = ((r, a), (r', a'), C, p, i) \\ &M(r', a') \leftarrow ([proba(r, a) + p]_{0 \leq x \leq 1}, [impact(r, a) + i]_{\geq 0}, \text{actif}) \end{aligned}$$

$[val]_{0 \leq x \leq 1}$  signifie que si  $val < 0$  on remplace val par 0, et si  $val > 1$  on remplace val par 1.

$[val]_{\geq 0}$  signifie que si  $val < 0$  on remplace val par 0.

Cette étape correspond à la fonction *Applic\_dep*.

### Incrémentation du temps

Cette étape consiste à incrémenter le temps global du projet et le temps passé dans les activités en cours.

$$\begin{aligned} &t \leftarrow t + 1 \\ &\text{pour tout } a \in \mathcal{A} \text{ tel que } etat(a) = \text{En cours}, \\ &\text{posons } a = (t, t_f, \text{En cours}) \\ &A(a) \leftarrow (t + 1, t_f, \text{En cours}) \end{aligned}$$

Cette étape correspond à la fonction *Inc\_temps*.

### Terminaison d'activités

Pour cette étape, nous allons vérifier si des activités se terminent et modifier leur état en conséquence. Construisons tout d'abord  $A_{fin}$  l'ensemble des activités qui se terminent, c'est à dire celles dont le temps écoulé est égal à la durée prévue.

$$A_{fin} = \{a \in \mathfrak{A} \text{ tel que } etat(a) = \text{En cours et } t(a) = t_f(a)\}$$

Changeons maintenant les états des activités se terminant.

$$\begin{aligned} &\text{Pour tout } a \in A_{fin}, \\ &\text{posons } A(a) = (\text{En cours}, t_f, t_f) \\ &A(a) \leftarrow (\text{Terminée}, t_f, t_f) \end{aligned}$$

Cette étape correspond à la fonction *Term\_activ*.

### Démarrage d'activités

Pour pouvoir lancer une nouvelle activité, il faut que toutes les activités (transitions) arrivant sur un noeud du diagramme PERT soient terminées. Nous allons donc vérifier pour chaque activité qui se termine si toutes les activités arrivant sur le même noeud sont terminées.

Pour ce faire, pour chaque activité de  $A_{fin}$ , nous déterminons le noeud d'arrivée de cette activité, nous construisons l'ensemble des activités ayant ce noeud comme arrivée et nous vérifions si l'état de toutes ces activités est "terminée". Si c'est le cas nous démarrons les activités ayant ce noeud comme point de départ.

Soit P le diagramme PERT.

$$\begin{aligned} &Noeuds = \{\text{pour tout } ainA_{fin}, arrive(a, P)\} \\ &\text{pour tout } n \in Noeuds, \\ &\text{si } \forall a' \in entrants(n), etat(a') = \text{Terminée} \\ &\text{alors } \forall a'' \in sortants(n), \\ &\text{si on pose } A(a'') = (0, t_f, \text{En attente}) \\ &A(a'') \leftarrow (0, t_f, \text{En cours}) \end{aligned}$$

Cette étape correspond à la fonction *Dem\_activ*.

### Fonction de construction d'un état

On peut résumer la création d'un nouvel état par la fonction suivante :

**Fonction 8** : *Construire\_etat*( $e$  : *etat*,  $Gd$  : *dep\_graphe*,  $P$  : *pert*,  $C$  : *cas*)

---

**Paramètre:**  $e$  Etat  
**Paramètre:**  $Gd$  graphe de dépendance  
**Paramètre:**  $P$  PERT  
**Paramètre:**  $C$  Cas  
*/\* Copie des valeurs \*/*  
 $M \leftarrow \text{Matrice}(e)$   
 $A \leftarrow \text{Activ}(e)$   
 $t \leftarrow t(e)$   
*/\* Application des impacts*  
 $\text{Applic\_impact}(C, A)$   
*/\* Application des dépendances \*/*  
 $\text{Applic\_dep}(C, M, Gd)$   
*/\* Gestion des activités \*/*  
 $\text{Inc\_temps}(t)$   
 $\text{Term\_activ}(A)$   
 $\text{Dem\_activ}(A, P)$   
*/\* Renvoi de l'état modifié*  
**renvoyer**  $\text{Nouvel\_etat}(M, A, t)$

---

Les fonctions utilisées implémentent les différentes étapes explicitées plus haut. *Nouvel\_etat* est une fonction qui crée un nouvel état à partir d'une matrice risque/activité, d'un vecteur d'activité et d'un temps

### Fonction de construction du graphe

A partir de la fonction précédente nous allons pouvoir construire le graphe de manière récursive. Ceci est réalisé par la fonction 9.

**Fonction 9** : *Construction\_graphe*

---

**Paramètre:**  $Gd$  Graphe de dépendance  
**Paramètre:**  $P$  PERT  
**Paramètre:**  $e_0$  Etat  
 $ge \leftarrow \text{Nouveau\_graphe}(e_0, ,)$   
 $\text{Construire\_graphe}(Gd, P, e_0)$   
**renvoyer**  $ge$

---

**Fonction 10 : *Construire\_graphe***

---

**Paramètre:** *Gd* Graphe de dépendance

**Paramètre:** *P* PERT

**Paramètre:** *e* Etat

*Actifs* = *cpl\_actif*(*e*)

**pour tout**  $C \subset \textit{Actifs}$  **faire**

$e' \leftarrow \textit{Construire\_etat}(e, Gd, P, C)$

*Ajouter\\_etat*( $e', ge$ )

*Ajouter\\_trans*( $e, e', p(C), ge$ )

**si** *etat\_final*( $e'$ ) **alors**

*Ajouter\\_final*( $e', ge$ )

**sinon**

*Construire\_graphe*( $e', Gd, P, ge$ )

**fin si**

**fin pour**

---

Les fonctions *Ajouter\\_etat*, *Ajouter\\_trans* et *Ajouter\\_final* rajoutent au graphe d'état passé en paramètre respectivement un état, une transition et un état final.

La fonction booléenne *Etat\_final* détermine si un état est final. Pour ce faire, elle va vérifier que l'état de toutes les activités soit "terminée". si c'est le cas elle renverra vrai et sinon faux.

Pour construire le graphe complet, il suffit d'appliquer la fonction avec comme paramètre l'état initial, le graphe de dépendance et le diagramme PERT.

Le graphe obtenu est un arbre.

#### 4.4.4 Méthode de Calcul

L'objectif de la méthode est d'obtenir une distribution de la durée du projet/processus.

Pour ce faire il faut connaître la probabilité et le temps correspondant à chaque état final du système.

Plutôt que de créer le graphe dans un premier temps puis le parcourir en un deuxième temps, nous proposons une méthode permettant le calcul à la volée. Il s'agit d'une modification de la fonction de création de graphe d'état précédente.

**Fonction 11 : *Dist*(*Gd*, *P*,  $e_0$ )**

---

**Paramètre:** *Gd* Graphe de dépendance

**Paramètre:** *P* PERT

**Paramètre:**  $e_0$  Etat

$D \leftarrow \textit{Distribution\_vide}$

*Calcul\\_dist*( $e_0, Gd, P, 1$ )

**renvoyer** *D*

---

**Fonction 12 :** *Calcul\_dist*

---

**Paramètre:** *Gd* Graphe de dépendance  
**Paramètre:** *P* PERT  
**Paramètre:** *e* Etat  
*Actifs* = *Cpl\_actif*(*e*)  
**pour tout**  $C \subset \textit{Actifs}$  **faire**  
     $e' \leftarrow \textit{Construire\_etat}(e, Gd, P, C)$   
    **si** *etat\_final*( $e'$ ) **alors**  
         $D \leftarrow \textit{Ajouter\_dist}(t(e'), p * p(C), D)$   
    **sinon**  
         $\textit{Calcul\_dist}(e', Gd, P, p * p(C))$   
    **fin si**  
**fin pour**

---

*Ajouter\_dist* est la fonction d'ajout d'un couple probabilité/valeur dans une distribution (*T\_Dist*) définie au chapitre précédent.

Un inconvénient majeur de cette méthode réside dans le fait que l'on génère un grand nombre d'états identiques (doublons) et qu'on recalcule tout les états qui en découlent ce qui rend l'exécution très longue (plusieurs heures sur l'exemple sans dépendance proposé plus loin dans ce chapitre).

On parle ici et ce sera encore le cas par la suite de temps d'exécution et non de complexité car la complexité des algorithmes proposés est difficilement calculable.

Pour diminuer le temps d'exécution, il nous faut éliminer les doublons dans le graphe d'état.

## Optimisation

Pour ce faire nous avons exploré deux approches. La première consiste à vérifier lors de la création d'un état si celui-ci a déjà été traité. Cela revient à transformer la fonction de création du graphe en la fonction suivante :

**Fonction 13** : *Construire\_graphe2*( $Gd : dep\_graphe, P : pert, e : etat$ )

---

**Paramètre:**  $Gd$  Graphe de dépendance

**Paramètre:**  $P$  PERT

**Paramètre:**  $e$  Etat

$Actifs = Cpl\_actif(e)$

**pour tout**  $C \subset Actifs$  **faire**

$e' \leftarrow Construire\_etat(e, Gd, P, C)$

**si**  $etat\_existant(e', ge)$  **alors**

$e'' \leftarrow Etat\_doublon(e', ge)$

$Ajouter\_trans(e, e'', p(C), ge)$

**sinon**

$Ajouter\_etat(e', ge)$

$Ajouter\_trans(e, e', p(C), ge)$

**si**  $Etat\_final(e')$  **alors**

$Ajouter\_final(e', ge)$

**sinon**

$Construire\_graphe2(Gd, P, e')$

**fin si**

**fin si**

**fin pour**

---

Cette approche pose deux problèmes. Le premier problème est le fait que l'on doit comparer les états créés avec tous les états existants ce qui est assez consommateur de temps et il faut en permanence stocker l'ensemble des états créés.

Le second problème réside dans la difficulté de mettre en place une méthode de calcul à la volée. En effet, on ajoute des transitions à un état dont on a déjà parcouru la descendance, ce qui modifie donc toutes les probabilités d'accéder à ces états, impose un nouveau parcours et rend la suppression des doublons caduque.

Prenant en compte ces problèmes, nous avons mis au point une autre approche. Cette approche se base sur le fait que les états doublons ne peuvent être situés qu'à la même profondeur dans l'arbre. L'idée est d'effectuer un parcours en largeur d'abord. Nous créons donc tout les états d'un niveau puis nous fusionnons les doublons. De cette manière, on obtient le même graphe d'état que par l'approche précédente en limitant les tests d'équivalence pour les doublons. De plus, avec cette approche on peut facilement calculer la distribution à la volée en stockant les probabilités avec les états et en faisant la somme des probabilités lors d'une fusion. La fonction 14 permet le calcul de la distribution.

Les figures 4.2 et 4.3 montrent un exemple de fusion. Dans cet exemple,, l'étiquetage des arcs dans le graphe indique les cas survenus à chaque unité de temps.  $\emptyset$  indique qu'aucun risque ne s'est produit,  $a$  que le risque 1 s'est manifesté sur l'activité 1,  $b$  que le risque 1 s'est manifesté sur l'activité 4 et  $ab$  que le risque 1 s'est manifesté sur les activités 1 et 4. Comme l'on ne considère pas les dépendances sur cet exemple, les états équivalents seront les états pour lesquels les mêmes risques se sont manifestés sur les mêmes activités. donc ici on retrouvera les états suivants : aucun risque n'est survenu,  $a$  est survenu,  $b$  est survenu et  $a$  et  $b$  sont survenus.

Fonction 14 : *Calcul\_dist2*

Paramètre: *Gd* : graphe de dépendance

Paramètre: *P* : PERT

Paramètre: *epset* : ensemble de couple (état, probabilité)

$epset_1 \leftarrow \{\}$

$epset_2 \leftarrow \{\}$

**pour tout**  $(e, p) \in epset$  **faire**

$Active = Cpl\_actifs(e)$

**pour tout**  $C \subset Actifs$  **faire**

$e' \leftarrow Construire\_etat(e, Gd, P, C)$

$epset_1 \leftarrow epset_1 \cup \{(e', p(C))\}$

**fin pour**

**fin pour**

$epset_1 \leftarrow Fusion(epset_1)$

**pour tout**  $(e, p) \in epset_1$  **faire**

**si**  $etat\_final(e)$  **alors**

$add\_dist(t(e), p, D)$

**sinon**

$epset_2 \leftarrow epset_2 \cup \{(e, p)\}$

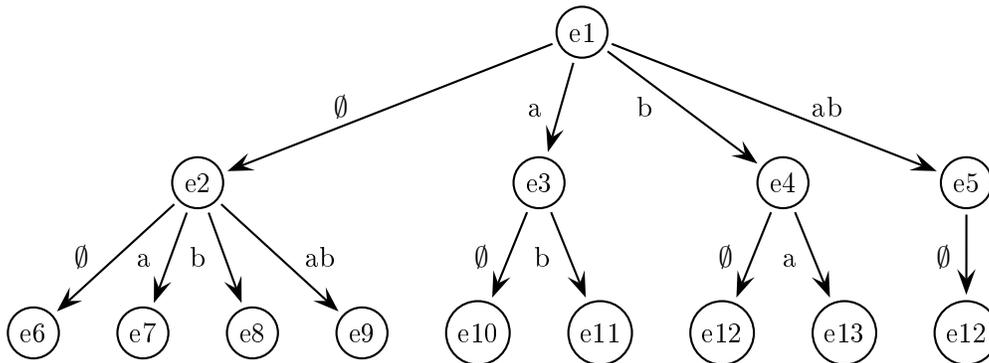
**fin si**

**fin pour**

**si**  $epset_2$  non vide **alors**

$Calcul\_dist2(Gd, P, epset_2)$

**fin si**



$a = \{(R1, A1)\}$ ,  $b = \{(R1, A4)\}$ ,  $ab = \{(R1, A1), (R1, A4)\}$

FIG. 4.2 – Exemple de Fusion : Avant fusion

où

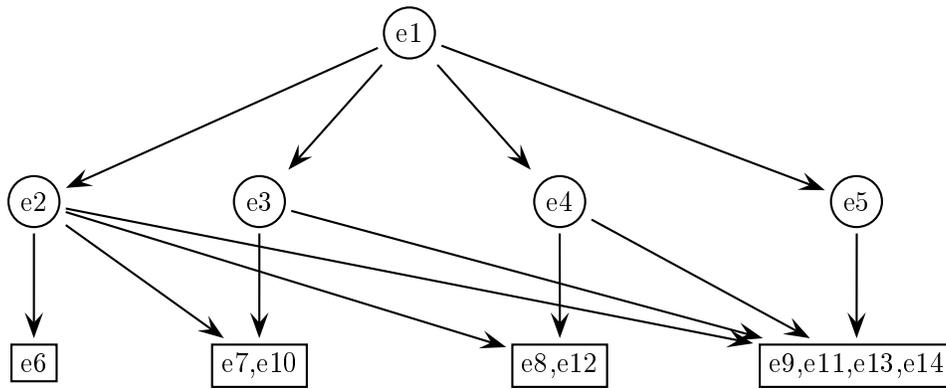


FIG. 4.3 – Exemple de fusion : Après fusion

**Fonction 15 : Fusion**

**Paramètre:**  $epset$  : ensemble de couple (état, probabilité)

$epset' \leftarrow \emptyset$

**tant que**  $epset \neq \emptyset$  **faire**

  soit  $(e, p) \in epset$

$epset \leftarrow epset \setminus \{(e, p)\}$

$p_{fusion} \leftarrow p$

**pour tout**  $(e', p') \in epset$  **faire**

**si**  $e = e'$  **alors**

$p_{fusion} \leftarrow p_{fusion} + p'$

$epset \leftarrow epset \setminus \{(e', p')\}$

**fin si**

**fin pour**

$epset' \leftarrow epset' \cup \{(e, p_{fusion})\}$

**fin tant que**

**renvoyer**  $epset'$

Le calcul de la distribution de la durée du projet/processus avec cette méthode donne les mêmes résultats qu'avec la méthode initiale. Le temps d'exécution est divisé par un facteur assez important. En effet sur le même exemple que précédemment on passe de plusieurs heures à quelques secondes.

## 4.5 Exemple

Dans cette section, nous présentons un exemple d'application de la méthode proposée précédemment. Nous reprenons le même exemple qu'au chapitre précédent, à savoir le processus d'autorisation d'emprunt d'une bibliothèque professionnelle.

Nous rappelons tout d'abord les éléments caractéristiques de ce processus, c'est à dire le diagramme PERT du processus (figure 4.4) et les risques identifiés et évalués pour celui-ci.

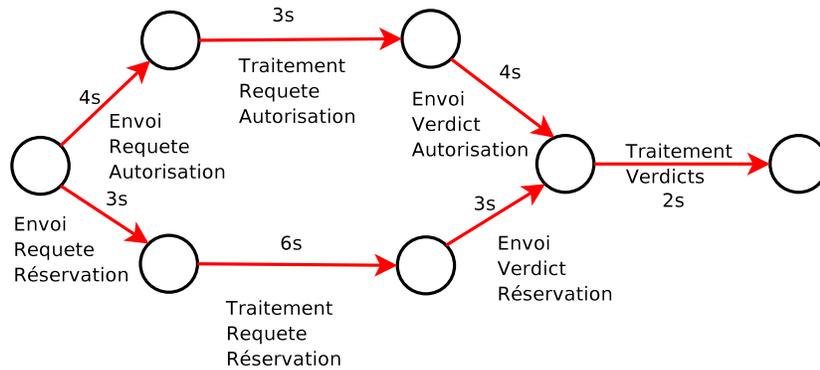


FIG. 4.4 – diagramme PERT du processus

Risques identifiés :

- R1 : Saturation du réseau
- R2 : Mise à jour de la base de données
- R3 : Saturation du serveur

Évaluation des risques par activité :

- R1 :
  - Envoi requête autorisation proba=0.2 impact=3s
  - Envoi verdict autorisation proba=0.2 impact=2s
  - Envoi requête réserveation proba=0.1 impact=2s
  - Envoi verdict réserveation proba=0.1 impact=1s
- R2 :
  - Traitement Requête autorisation proba=0.1 impact=6s
  - Traitement Requête réserveation proba=0.05 impact=10s
- R3 :
  - Traitement Requête autorisation proba=0.1 impact=2s
  - Traitement Requête réserveation proba=0.05 impact=6s

Pour tous les autres couples (risque,activité), on a proba=0.

Considérons le cas où il n'y a pas de dépendance ou, plus précisément, où l'on a un graphe de dépendances sans aucune dépendance. On obtient alors la distribution de la figure 4.5.

Si on compare les résultats de la figure 4.5 à ceux de la figure 3.3 obtenus avec la méthode du chapitre précédent on peut remarquer que, à défaut d'être strictement identiques, les distributions sont assez proches.

Considérons maintenant les dépendances représentées à la figure 4.6 :

Value= 14	Percent = 0.379759	Cum.Percent = 0.379759
Value= 15	Percent = 0.180238	Cum.Percent = 0.559998
Value= 16	Percent = 0.159157	Cum.Percent = 0.719155
Value= 17	Percent = 0.017841	Cum.Percent = 0.736996
Value= 18	Percent = 0.035191	Cum.Percent = 0.772188
Value= 19	Percent = 0.047700	Cum.Percent = 0.819887
Value= 20	Percent = 0.072702	Cum.Percent = 0.892589
Value= 21	Percent = 0.028987	Cum.Percent = 0.921576
Value= 22	Percent = 0.019682	Cum.Percent = 0.941257
Value= 23	Percent = 0.003037	Cum.Percent = 0.944294
Value= 24	Percent = 0.039766	Cum.Percent = 0.984060
Value= 25	Percent = 0.003729	Cum.Percent = 0.987789
Value= 26	Percent = 0.004253	Cum.Percent = 0.992042
Value= 27	Percent = 0.000399	Cum.Percent = 0.992441
Value= 30	Percent = 0.006168	Cum.Percent = 0.998609
Value= 31	Percent = 0.000660	Cum.Percent = 0.999269
Value= 32	Percent = 0.000660	Cum.Percent = 0.999929
Value= 33	Percent = 0.000071	Cum.Percent = 1.000000

FIG. 4.5 – Distribution de la durée du processus sans prise en compte des dépendances

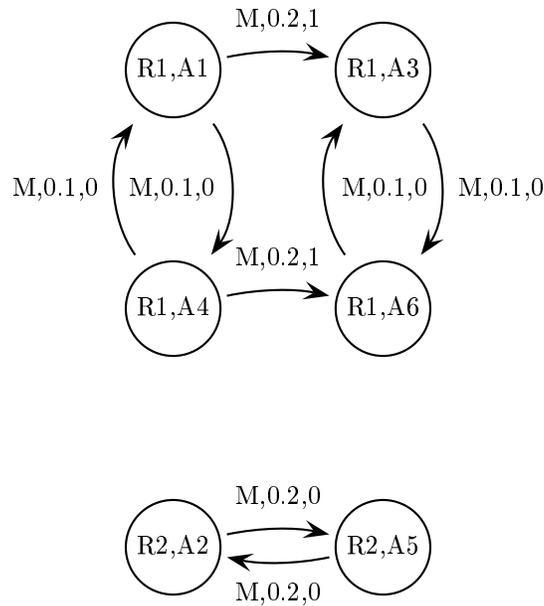


FIG. 4.6 – Graphe de dépendance pour le processus d'autorisation d'emprunt

Dans la figure 4.6, les activités A1 à A6 correspondent aux activités suivantes :

- A1 : Envoi requête autorisation
- A2 : Traitement Requête autorisation
- A3 : Envoi verdict autorisation
- A4 : Envoi requête réservation
- A5 : Traitement Requête réservation
- A6 : Envoi verdict réservation

Les dépendances ne sont que des dépendances de type modification.

La première partie du graphe modifie les probabilités/impacts des couples correspondant au risque R1. La signification de ces dépendances est que si le réseau est encombré, la probabilité qu'il soit encombré dans l'activité parallèle ou lors du retour d'information augmente.

La deuxième partie du graphe exprime le fait que si une des bases de données est mise à jour, la probabilité que la base sur l'autre serveur soit mise à jour aussi augmente.

L'application de notre méthode donne la distribution donnée à la figure 4.7.

Value= 14	Percent = 0.379759	Cum.Percent = 0.379759
Value= 15	Percent = 0.180017	Cum.Percent = 0.559776
Value= 16	Percent = 0.124029	Cum.Percent = 0.683806
Value= 17	Percent = 0.010883	Cum.Percent = 0.694688
Value= 18	Percent = 0.028702	Cum.Percent = 0.723391
Value= 19	Percent = 0.088493	Cum.Percent = 0.811884
Value= 20	Percent = 0.067459	Cum.Percent = 0.879343
Value= 21	Percent = 0.033666	Cum.Percent = 0.913009
Value= 22	Percent = 0.015664	Cum.Percent = 0.928673
Value= 23	Percent = 0.002083	Cum.Percent = 0.930756
Value= 24	Percent = 0.042859	Cum.Percent = 0.973614
Value= 25	Percent = 0.010700	Cum.Percent = 0.984314
Value= 26	Percent = 0.003837	Cum.Percent = 0.988151
Value= 27	Percent = 0.001064	Cum.Percent = 0.989215
Value= 28	Percent = 0.001560	Cum.Percent = 0.990775
Value= 30	Percent = 0.007292	Cum.Percent = 0.998067
Value= 31	Percent = 0.000955	Cum.Percent = 0.999022
Value= 32	Percent = 0.000696	Cum.Percent = 0.999718
Value= 34	Percent = 0.000282	Cum.Percent = 1.000000

FIG. 4.7 – Distribution de la durée du processus avec prise en compte des dépendances

Si on compare cette distribution avec la précédente, on s'aperçoit que les dépendances sont bien prises en compte. L'apparition de nouvelles valeurs est due à la modification d'impact.

Les distributions ont été calculées à l'aide d'un prototype réalisé en Objective Caml(OCaml). Ce prototype permet la saisie assistée des données d'entrée (PERT, Matrice risque/activité, dépendances) et le calcul de la distribution de la durée du projet sous trois formes : calcul sans dépendance implémentant la méthode du chapitre précédent, calcul avec la méthode proposée dans ce chapitre avec ou sans dépendances(graphe de dépendances sans arcs).

## 4.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons explicité la notion de dépendance entre risques, proposé une représentation et surtout décrit une méthode originale permettant le calcul de la distribution de la durée d'un projet/processus en fonction de ses risques et de leurs dépendances.

Nous avons réalisé une optimisation de l'algorithme qui limite les possibilités d'explosion combinatoire pour le temps de calcul.

Cette méthode originale fournit au praticien un outil d'estimation de la durée du projet très intéressant et qui peut permettre de meilleures prévisions.

Cependant, le coût de mise en place de la méthode (estimation des risques par activités, identification et estimation des dépendances) n'est pas nul et l'utilisation la plus appropriée serait celle d'un processus fortement répétitif pour lequel on dispose de données précises sur les occurrences de risques, leur impact sur la durée des activités ainsi que leurs dépendances.

On peut imaginer un certain nombre d'améliorations à notre méthode comme par exemple l'utilisation de fonctions de répartition de la probabilité différentes, la prise en compte d'un modèle de processus avec des alternatives ou d'autres extensions qui pourraient faire l'objet de futurs travaux.



## Chapitre 5

# Risques et modélisation

Dans les chapitres précédents, nous avons étudié les différentes caractéristiques associées aux risques et proposé des méthodes permettant de calculer la distribution probabiliste de la durée d'un projet en fonction de ses risques dans le cas de risques indépendants tout d'abord, puis en prenant en compte la notion de dépendance.

Dans ce chapitre, nous proposons une modélisation du projet/processus et des risques associés permettant de prendre en compte les travaux présentés dans les chapitres précédents.

Modéliser un projet ou un processus est aujourd'hui devenu une étape incontournable de leur élaboration. Cette étape permet à la fois une structuration de ce qu'est censé faire celui-ci mais permet aussi de communiquer. En effet, des formalismes "visuels" tels qu'UML permettent à des non-spécialistes (supérieurs hiérarchiques, décideurs, ...) de se faire rapidement une idée du projet ou du processus.

Après avoir fait le point sur ce qui existe en terme de modélisation des risques et des processus, nous proposerons un modèle simple se basant sur les formalismes de description de projet/processus utilisés (diagrammes PERT) dans les méthodes décrites précédemment puis introduirons de manière incrémentale les notions de risques et de dépendances dans ce modèle.

### 5.1 Travaux existants dans le domaine de la modélisation des risques et des processus

#### 5.1.1 Modélisation des risques

La modélisation des risques en utilisant notamment une notation semi-formelle telle que le langage UML [63] est une problématique qui n'est pas nouvelle. Parmi les auteurs qui ont contribué à cette thématique de recherche, on peut citer :

- Tah et Carr dans leurs articles "Towards a framework for project risk knowledge management in the construction supply chain" [76], "Towards object models for integrated intelligent project management" [74] et "Information modelling for project risk analysis and management" [75] proposent un méta-modèle complet du processus de management des risques ;
- Kontio, dans la méthode Riskit [46] dont nous avons déjà parlé dans le premier chapitre propose lui aussi une méthode de management des risques basée sur une modélisation du processus de management et qui prend en compte le risque et son contexte.

Les deux modélisations précédentes prennent en compte la notion de dépendance.

Un autre exemple de travaux intéressants sont les travaux réalisés dans le cadre du projet européen CORAS [28, 8, 54, 53]. Le projet CORAS a conduit à la réalisation d'un framework d'évaluation de la sécurité basé sur des modèles et contient notamment une méthodologie d'évaluation des risques basée sur des modèles.

Cependant aucune de ces méthodes ne propose de modéliser le risque comme élément d'un processus.

### 5.1.2 Modélisation de projet et de processus

Dans la littérature, on trouve peu de choses en terme de modélisation de projet proprement dit, même si il existe de nombreux travaux sur la planification de projet.

La modélisation de processus quand à elle est largement abordée dans la littérature. De nombreux langages existent pour modéliser les processus. Nous ne retiendrons que le plus répandu : UML(Unified Modelling Language) [63] standardisé par l'OMG(Object Management Group).

Ce standard permet de modéliser des processus via un langage graphique. La version 2.0 est très complète et offre un vaste panel de possibilités.

Dans le domaine du logiciel, l'OMG a aussi standardisé un profil spécifique appelé SPEM (Software Process Engineering Metamodel) [64]. D'autres profils dédiés à la modélisation des processus métier(Buisness Process) ont été élaborés ou sont en cours de développement à l'OMG comme par exemple BPDM(Business Process Design Model) [62].

Nous nous sommes inspiré du profil SPEM pour concevoir notre propre méta-modèle.

## 5.2 Modélisation de processus

L'objectif de cette section est de proposer un méta-modèle de processus à la fois simple, expressif et respectant une compatibilité avec le formalisme utilisé dans nos méthodes à savoir les diagrammes PERT.

Avant toute chose, on peut se poser les questions suivantes : De quoi avons nous besoin ? Quels éléments allons nous prendre en compte dans ce modèle ?

Les éléments à considérer en premier lieu sont des éléments que nous qualifierons d'**éléments de structure**. Ces éléments tels les activités et les points de synchronisation nous permettent de constituer le squelette du projet/processus.

Une activité est l'élément de base de tout projet et processus, c'est un sous-ensemble cohérent d'un projet ou processus ayant un objectif propre.

Les points de synchronisation permettent l'articulation des différentes activités entre elles. Ils correspondent aux noeuds des diagrammes PERT et ont la sémantique suivante : toute activité en sortie d'un point de synchronisation ne peut démarrer tant que que toutes les activités en entrée ne sont pas terminées.

Si nous ne voulons pas aller plus loin que le strict minimum nous permettant d'utiliser nos méthodes, ces éléments de structure suffisent.

Même si nous souhaitons proposer un modèle simple pour décrire projets et processus, nous souhaitons aussi inclure d'autres informations dans ce modèle. En effet, la description graphique du processus permet une meilleure compréhension globale du processus. Ajouter des éléments à notre modèle permet donc une expressivité plus grande de celui-ci.

Les éléments que nous souhaitons ajouter à notre modèle sont de deux types :

- des éléments représentant les entrées et sorties d’une activité. Nous désignerons ces éléments par le terme **produits du travail**. Cette appellation couramment utilisée est notamment présente dans SPEM. Ces produits du travail peuvent être des documents, du code source, un code exécutable pour citer des exemples propres au domaine du logiciel.
- des éléments représentant les **acteurs** intervenant sur une activité. Ces acteurs peuvent être des éléments physiques (réseau, serveurs, etc..) ou des personnes désignées nominativement ou par le rôle qu’elles occupent.

Ce modèle, via une transformation automatique du formalisme en données de base pourrait utiliser automatiquement les méthodes développées précédemment.

Dans la section suivante, nous allons détailler ces différents éléments.

### 5.2.1 Éléments de structure

Comme nous l’avons dit précédemment, les éléments de structure représentent l’articulation du projet/processus. Ces éléments sont les activités et les points de synchronisation.

#### Activités

Pour créer la classe Activité nous devons nous interroger sur les différentes caractéristiques d’une activité. Ces caractéristiques formeront les attributs de la classe.

Les caractéristiques que nous avons retenues sont les suivantes :

- un identifiant
- un titre
- une description détaillée du contenu de l’activité.
- la durée prévue pour cette activité

On peut donc représenter la classe activité par la figure 5.1.

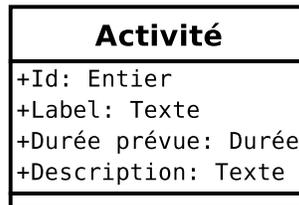


FIG. 5.1 – La classe Activité

### Points de synchronisation

Un point de synchronisation n'a pas vraiment de caractéristiques propres si ce n'est un identifiant. Il fait simplement le lien entre plusieurs activités et permet de mettre en avant la sémantique de "synchronisation".

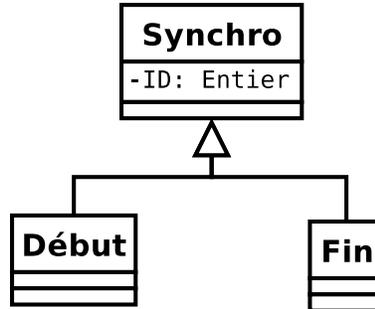


FIG. 5.2 – La classe Synchro

On remarquera qu'il existe deux types de points de synchronisation particuliers que nous avons choisi de différencier qui sont le point de démarrage et le point de terminaison du projet/processus.

Nous représentons donc les points de synchronisation par la classe synchro et ses filles données à la figure 5.2

### 5.2.2 Produits du travail

Les produits du travail sont aussi bien les éléments pré-requis par une activité ou produits par celle-ci. Un produit du travail est caractérisé par :

- un identifiant,
- son type (rapport, code source, etc...),
- un titre
- une description détaillée.

Cela donne la classe représentée à la figure 5.3

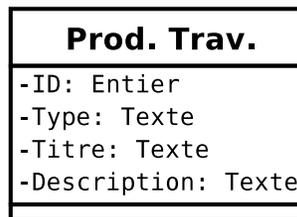


FIG. 5.3 – La classe Prod. Trav.

### 5.2.3 Acteur

Les acteurs sont les éléments humains ou physiques qui interviennent sur les activités du processus/projet. Comme nous l'avons déjà dit précédemment, un acteur peut être un élément physique (réseau, serveur, ...), une personne nommée ou désignée par un rôle. Pour ce faire, on crée une classe Acteur qui hérite de 3 classes correspondant aux 3 types d'acteurs.

Ces 3 classes ont comme attribut commun un identifiant et posséderont respectivement les attributs : Désignation, Nom et Fonction.

Ce qui donne les classes équivalentes représentées à la figure 5.4

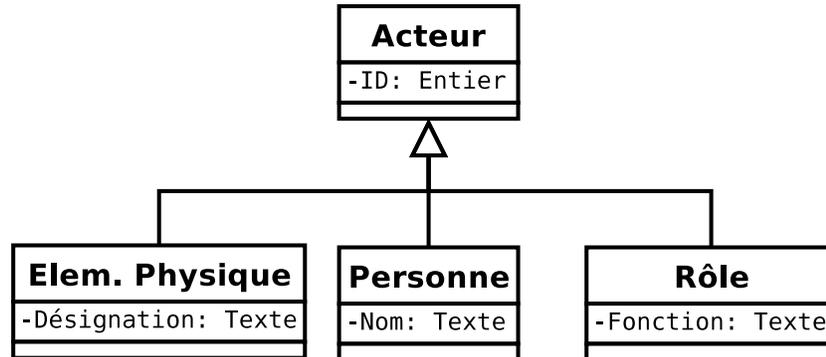


FIG. 5.4 – La classe Acteur et ses filles

### 5.2.4 Méta-modèle

Maintenant que nous disposons des différents éléments de notre modèle, nous allons les regrouper et créer les associations entre les différentes classes.

On a les relations suivantes :

- entre la classe activité et la classe point de synchronisation, nous avons les associations *en entrée* et *en sortie*. Cela permet de définir les activités en entrée et en sortie d'un point de synchronisation ;
- entre la classe activité et la classe produit du travail, nous avons aussi 2 associations, *en entrée de* qui indique que le produit du travail est un pré-requis à une activité et *produit* qui indique que le produit du travail est un résultat d'une activité ;
- entre la classe acteur et la classe activité, nous avons l'association *participe* qui indique qu'un acteur intervient sur une activité ;
- les classes personne et rôle ont en commun l'association *est responsable de* avec la classe activité qui signifie qu'une personne ou un rôle est responsable de l'activité ;

Le méta-modèle ainsi obtenu est donné à la figure 5.5.

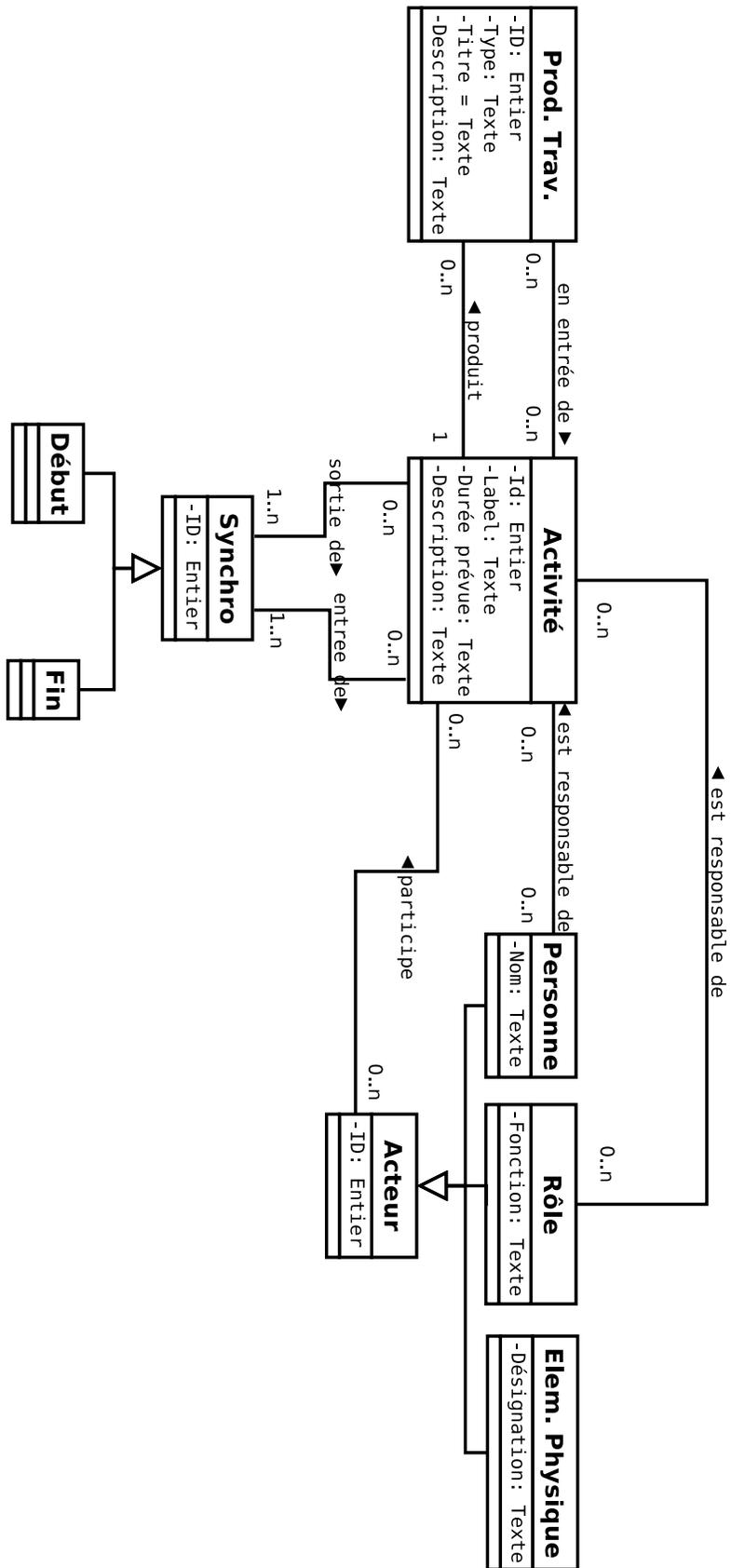


FIG. 5.5 – Méta-modèle de description de processus

Activité	
Synchro	
Debut	
Fin	
Produit du Travail	
Personne	
Rôle	
Element Physique	

FIG. 5.6 – Correspondances classes/symboles

### 5.2.5 Profil

Par rapport à la description d'un processus/projet, un diagramme de classe UML standard peut être difficile à appréhender et n'est pas très visuel. C'est pourquoi on utilise des profils. Un profil permet de remplacer un élément d'une méta-classe donnée par un symbole représentatif de celle-ci. Ainsi la description du processus peut être comprise rapidement et de manière plus intuitive.

Nous avons donc choisi de réaliser un profil pour notre méta-modèle. Les associations méta-classes/symboles sont données dans le tableau de la figure 5.6.

Pour illustrer notre propos, nous avons repris l'exemple de la demande d'emprunt dans une bibliothèque professionnelle qui nous a servi de fil rouge dans les deux chapitres précédents. Nous avons approfondi la description en ajoutant des produits du travail et des acteurs "éléments physiques". Le résultat est donné à la figure 5.7

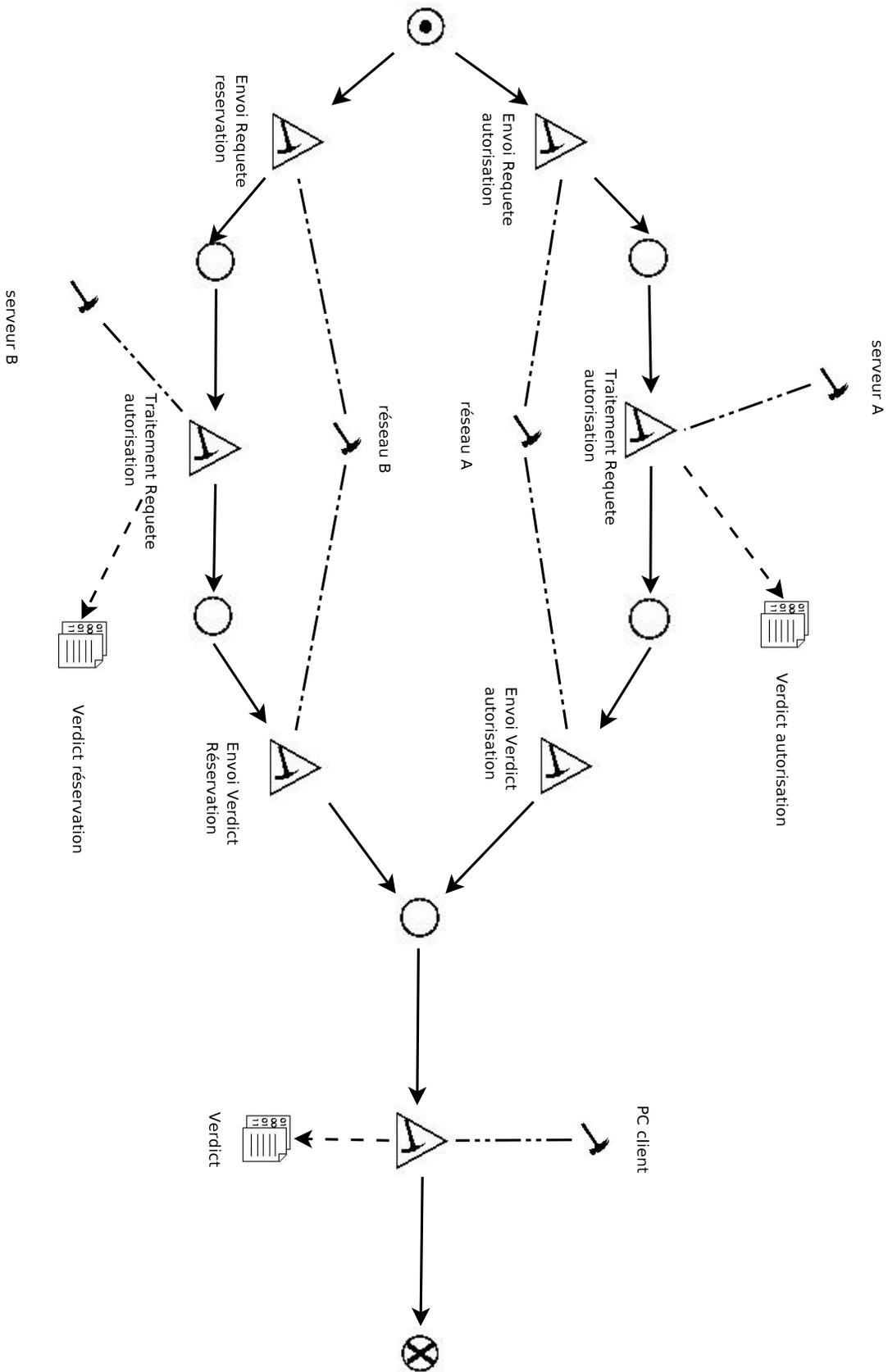


Fig. 5.7 – Modélisation de l'exemple en utilisant notre profil

### 5.3 Intégration des risques au modèle

L'objectif de ce chapitre est de proposer un méta-modèle et un profil pour modéliser un projet ou un processus logiciel en y intégrant les risques. La modélisation doit permettre d'utiliser facilement les méthodes de calcul avec ou sans prise en compte de la dépendance développées dans les chapitres 3 et 4.

Dans un premier temps, nous étudions comment les caractéristiques du risque décrites au chapitre 2 peuvent être prises en compte dans le méta-modèle avant de nous concentrer sur l'intégration du risque proprement dit au méta-modèle.

#### 5.3.1 Intégration du risque et caractéristiques

Dans le chapitre 2 nous avons retenu un certain nombre de caractéristiques possibles d'un risque à savoir :

Caractéristiques statiques :

- libellé
- causes
- conséquences
- classe
- pilote
- répétabilité
- processus lié

Caractéristiques dynamiques :

- probabilité
- impact
- détectabilité
- exposition
- état
- période active
- tendance d'évolution
- actions de réduction
- indicateurs

Dans notre contexte, à savoir la description de processus ou de projet, un certain nombre de ces caractéristiques n'est pas très utile ici. Seules les caractéristiques suivantes ont été retenues car elles ont un sens pour la suite de l'étude. Selon le contexte du projet/processus, on peut choisir un sous-ensemble approprié de ces caractéristiques mais les caractéristiques en italique forment le noyau minimal.

- *libellé ou titre*
- classe
- pilote
- processus lié
- *probabilité*
- *impact*

- détectabilité
- exposition
- *période active*

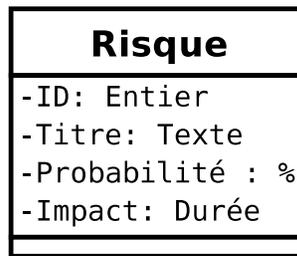


FIG. 5.8 – La classe Risque

Considérons dans un premier temps le cas où le risque et son évaluation sont considérés de façon globale. On peut alors représenter le risque dans notre modèle par une classe risque qui aurait pour attributs les caractéristiques retenues à l'exception du pilote et de la période active qui sont représentés respectivement par une association *pilote* entre une personne ou un rôle et le risque et par des associations *actif durant* entre la classe risque et la classe activité. On obtient donc la classe risque donnée à la figure 5.8 et le méta-modèle devient celui de la figure 5.9

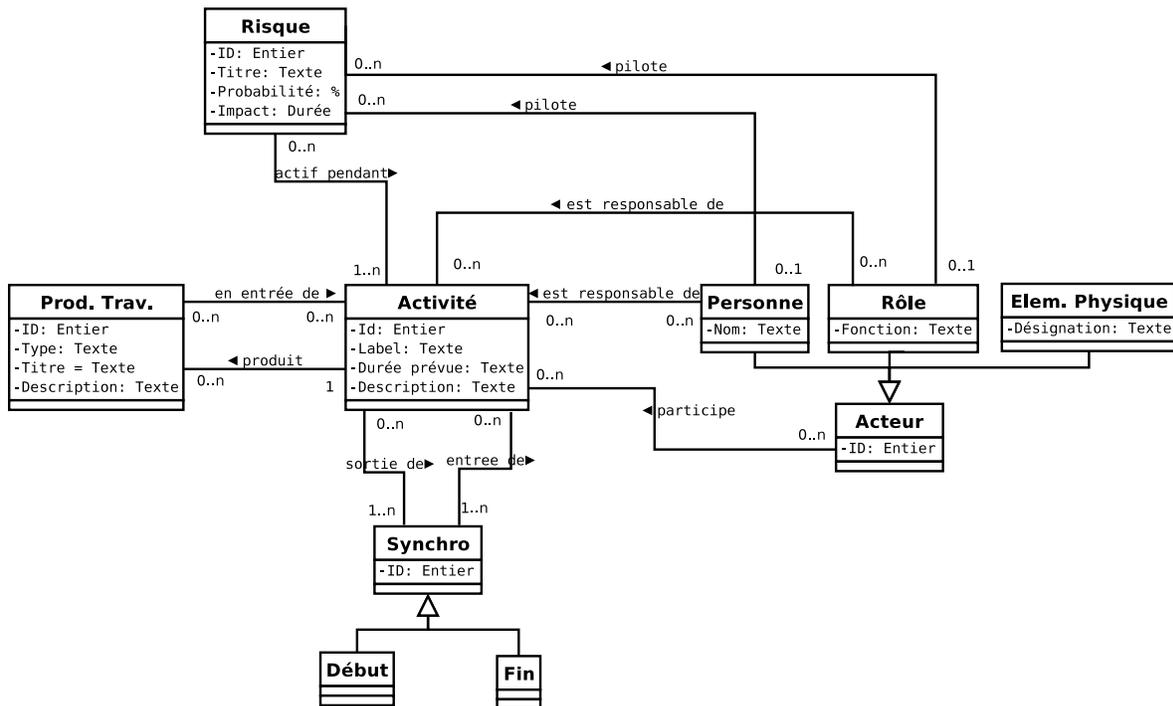


FIG. 5.9 – Méta-modèle avec prise en compte du risque

### 5.3.2 Couples risque/activités et dépendances

#### Notion de couple risque-activité

Dans nos méthodes de calcul de la distribution de la durée d'un projet ou d'un processus, nous avons décidé de partir d'une évaluation de la probabilité pour chaque risque et chaque activité. Pour ce faire, nous avons introduit la notion de couple risque/activité.

Dans notre modèle, les caractéristiques statiques qui sont propres au risque restent des attributs de la classe risque et les caractéristiques dynamiques deviennent attributs du couple risque/activité.

Le couple sera modélisé par une classe-association c'est à dire une association qui a ses propres attributs. Pour simplifier nous considérons que le couple correspond à la classe-association *actif pendant*.

On obtient alors le sous-modèle de la figure 5.10. Le méta-modèle obtenu est alors celui donné par la figure 5.11.

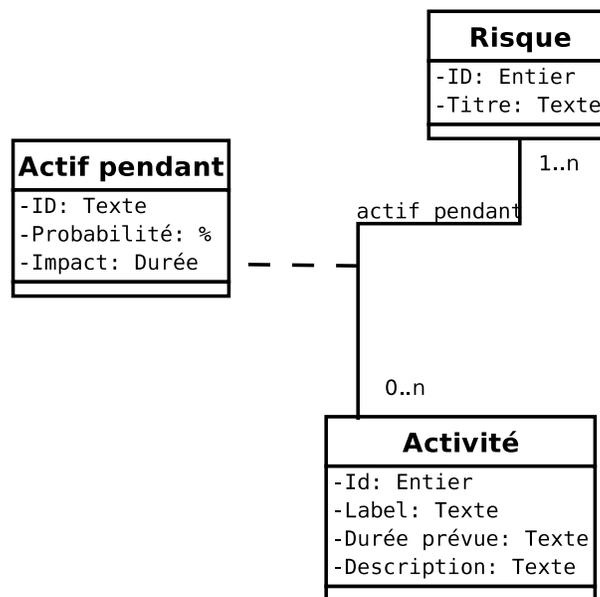


FIG. 5.10 – La classe-association *actif pendant*

Avec un tel modèle, il devient facile d'utiliser la méthode de calcul sans dépendances.



### Modélisation des dépendances

Une dépendance est une association entre deux couples risque/activité ou plus exactement entre deux entités de la méta-classe *Actif Pendant*. Comme nous l'avons dit au chapitre précédent, nous avons retenu trois types de dépendances : destruction, création et modification, qui ont des caractéristiques différentes. On utilisera donc une classe-association dépendance avec trois classes correspondant aux trois types de dépendances qui héritent de cette classe, ce qui donne le sous-modèle de la figure 5.12

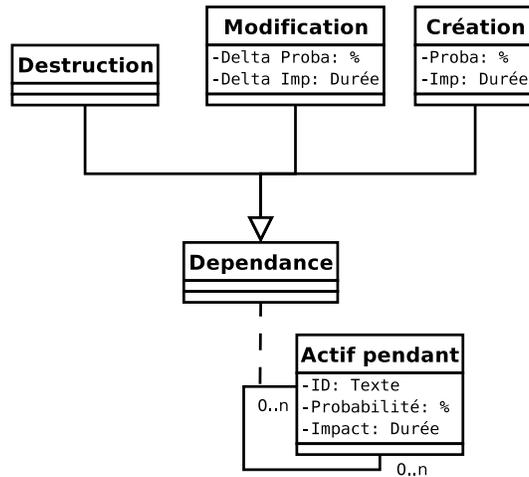


FIG. 5.12 – La classe-association dépendance

On peut alors construire le méta-modèle complet, présenté à la figure 5.13

Pour une modélisation plus facile et plus lisible et pour rester cohérent avec la méthode de calcul, nous modéliserons les dépendances à part dans un modèle de dépendances.



### 5.3.3 Profil

Précédemment, nous avons déjà attribué des symboles aux différents éléments du méta-modèle. Complétons maintenant le profil avec les nouveaux éléments (figure 5.14). Les derniers

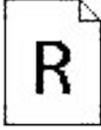
risque	
Actif pendant	
Création	
Destruction	
Modification	

FIG. 5.14 – Extension du profil

éléments seront utilisés pour le graphe de dépendance.

### 5.3.4 Modélisation de l'exemple

Reprenons notre exemple en y ajoutant les risques et les dépendances tels qu'on les a identifiés dans les chapitres précédents. On obtient alors le modèle de la figure 5.15 et le graphe de dépendance de la figure 5.16

## 5.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons construit un méta-modèle de processus/projet prenant en compte les risques. Ce modèle a été réalisé avec une démarche incrémentale. Tout en restant simple, il permet une adaptation facile vers les formalismes utilisés dans les méthodes de calcul et a un pouvoir d'expression assez important.

Le méta-modèle obtenu est une base solide mais laisse la porte ouverte à de possibles futurs travaux tels que la prise en compte des alternatives dans la modélisation de projets et de processus ou l'automatisation des calculs à partir du modèle d'un projet ou d'un processus.

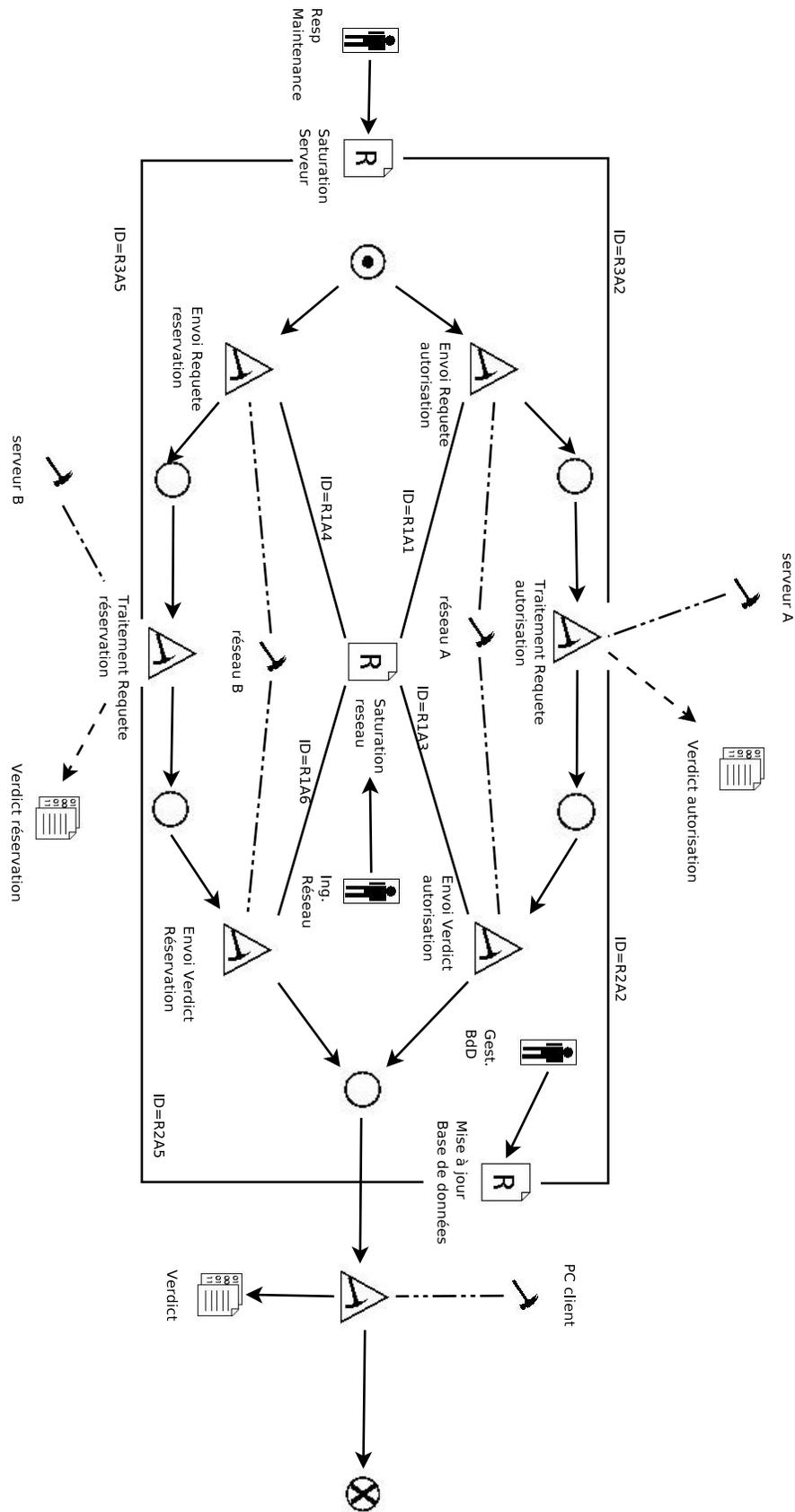


FIG. 5.15 – Modélisation de l'exemple en intégrant les risques

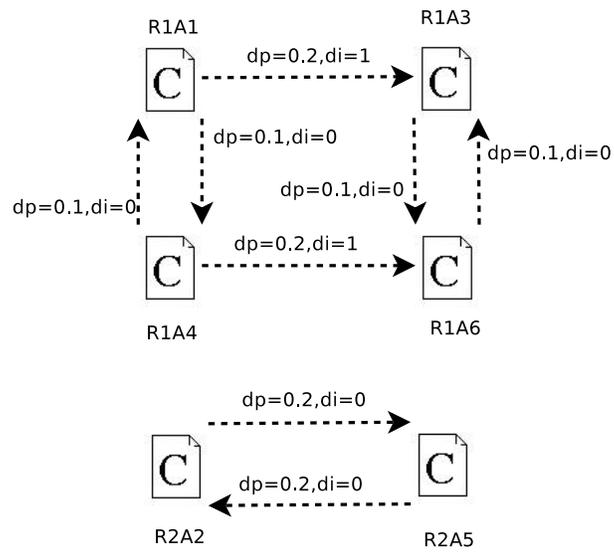


FIG. 5.16 – Modélisation des dépendances



# Conclusion

Dans cette thèse qui s'inscrit dans le domaine du management des risques dans les projets et processus logiciels, nous nous sommes attachés à apporter notre part d'analyse et d'innovation.

Nous avons en premier lieu, fait le point sur l'existant en terme de management des risques dans les projets. Nous avons donc synthétisé différentes définitions, approches, méthodes et outils pour le management des risques en général et pour le domaine du logiciel en particulier. Le premier chapitre propose donc un panorama qui se veut le plus simple et le plus complet possible du management des risques dans les projets logiciels.

Nous avons ensuite approfondi notre analyse en nous focalisant sur les caractéristiques des risques. Le chapitre 2 propose donc un certain nombre de caractéristiques possibles des risques. Ces caractéristiques sont réparties en deux catégories "caractéristiques dynamiques" et "caractéristiques statiques" et sont pour certaines assez originales. Nous avons proposé pour chacune d'elles une définition et avons étudié leur utilité intrinsèque et leur rôle dans le processus. L'intérêt principal de cette étude est de permettre l'adaptation du choix des caractéristiques au contexte et aux objectifs du projet. De ce fait, cette étude permet d'apporter un plus dans l'activité "Définition de la stratégie" du processus de management des risques.

Dans le même esprit, nous avons ensuite réalisé une expérience d'analyse statistique des données des risques d'un projet d'amélioration des processus logiciels. Cette expérience nous a permis de donner une classification des risques donnant une image très réaliste du projet et de mettre en avant le caractère discriminant de la caractéristique "processus lié" pour ce type de projet. Utiliser une telle méthode peut être très utile dans les phases "suivi des risques" et "capitalisation" du processus de management des risques.

Dans les projets du domaine logiciel, le temps est un facteur très important, c'est pourquoi nous nous sommes intéressé aux impacts temporels des risques et à leur influence sur la durée totale du projet. Nous avons donc mis au point une méthode permettant le calcul de la distribution probabiliste de la durée d'un projet en fonction de ses risques. C'est là l'apport majeur de cette thèse.

Cette méthode originale décrite au chapitre 3 nécessite la description d'un projet sous le formalisme classique de description de projet et de processus des diagrammes PERT et repose sur aussi une technique d'évaluation des risques originale. Cette technique consiste à évaluer les risques non pas globalement mais pour chaque activité, ce qui est d'après nous plus réaliste qu'une technique d'évaluation globale.

L'idée générale de cette méthode est de calculer les distributions pour chaque activité et de les combiner de façon inductive sur la structure du diagramme PERT.

Cette méthode considère les risques comme indépendants. Cette hypothèse, si elle est fortement simplificatrice est généralement erronée.

C'est pourquoi dans le chapitre 4 nous avons décidé d'adapter la méthode afin de prendre en compte les dépendances. Dans cette perspective, nous avons dû définir et formaliser la notion de dépendance et plus particulièrement de dépendance à l'occurrence. Nous avons aussi formalisé une représentation que nous appelons graphe de dépendance.

La prise en compte des dépendances est loin d'être triviale et nécessite la construction de tous les états possibles du projet/processus. Ce graphe d'état étant sujet à l'explosion combinatoire, nous avons alors optimisé la méthode en utilisant une construction à la volée basée sur un parcours en largeur du graphe d'état et sur la fusion d'états identiques.

Ces méthodes (avec ou sans prise en compte des dépendances) sont des outils qui peuvent être fort utiles aux praticiens du management de projet ou de processus car elles permettent d'estimer de façon raisonnable la durée du projet et donc de limiter les dépassements de durée. Cette méthode est particulièrement adaptée après une analyse des risques initiale.

La modélisation des projets et/ou processus ne tient généralement pas compte des risques. Pour remédier à cette lacune, nous avons décrit (chapitre 5) un profil UML permettant d'intégrer les risques et leurs dépendances dans la modélisation du projet ou du processus. Ce méta-modèle inspiré par SPEM est construit de manière incrémentale et tout en restant simple a néanmoins un pouvoir d'expression assez important. Ce méta-modèle est aussi conçu pour pouvoir adapter facilement un modèle de projet ou de processus afin de l'utiliser avec les méthodes développées précédemment.

Les études réalisées constituent une approche originale du management des risques et ont atteint une certaine maturité mais laissent cependant la porte ouverte à des améliorations.

Ainsi, on pourrait imaginer comme élément de départ un formalisme plus expressif que les diagrammes PERT permettant notamment la prise en compte d'alternatives dans le projet. Il faudrait alors adapter les méthodes de calcul et étendre le profil UML créé.

Une autre amélioration pourrait être l'utilisation de fonctions de distribution de la probabilité et/ou de l'impact du risque différentes de la distribution linéaire utilisée dans nos méthodes.

On peut aussi imaginer l'intégration dans un atelier UML de notre profil en intégrant le calcul de la distribution de durée directement à partir de la modélisation.

Plus généralement, il serait intéressant d'étudier comment prendre en compte les effets des actions de traitement de risque afin, par exemple, de pouvoir déterminer quelles sont les actions ou les combinaisons d'actions les plus efficaces.

# Acronymes utilisés

**ACM** Analyse des Correspondances Multiples  
**ADELI** Association pour la maîtrise des systèmes d'information  
**AEEL** Analyse des Effets et des Erreurs des Logiciels  
**AFITEP** Association Française de Management de Projet (N.A.)  
**AFNOR** Association Française de NORmalisation  
**AMDEC** Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticités  
**APR** Analyse Préliminaire des Risques  
**BPDM** Business Process Definition Métamodel  
**BSI** British Standards Institution  
**CEA** Comité à l'Energie Atomique  
**CH** Classification Hiérarchique  
**CMM** Capacity Maturity Model  
**DAG** Directed Acyclic Graph  
**DGA** Direction Générale de L'Armement  
**DPC** Diagramme PERT Coloré  
**GOA** Graphe Orienté Acyclique  
**HAZOP** HAZard OPerations  
**HMM** Hidden Markov Model  
**ISO** International Standards Organisation  
**OMG** Object Management Group  
**PERT** Programme Evaluation and Review Technic  
**PMBok** Project Management Book of Knowledge  
**PMI** Project Management Institute  
**PMP** Plan de Management de Projet  
**PMR** Plan de Management des Risques  
**R4S** Risk for SPICE  
**SEI** Software Engineering Institute  
**SEPG** Software Engineering Process Group  
**SPEM** Software Process Engineering Metamodel  
**SRE** Software Risk Evaluation  
**SWOT** Strength Weakness Opportunities Threats  
**UML** Unified Modelling Language



# Bibliographie

- [1] « DGA/AQ 923 - Le management des risques dans les programmes d'armement - Les concepts de base pour appréhender la démarche de management des risques et son apport à la conduite d'un programme d'armement ». Rapport Technique, 1995.
- [2] « DGA/AQ 924 - Manuel de Management des risques dans un programme d'armement ». Rapport Technique, 1995.
- [3] AFITEP. *WEKA, Guide de gestion de projet*. AFITEP, 1999.
- [4] AFNOR. « NF X 60-510, Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes : Procédure d'analyse des modes de défaillances et de leurs effets », 1986.
- [5] AFNOR. *AFNOR FD X50-117 Management de projet - Gestion du risque - Management des risques d'un projet*. AFNOR Association Française de normalisation, 2003.
- [6] H. ALBRECHER. « Dependent Risks and Ruin Probabilities in Insurance, Interim Report IR-98-072 », 1998.
- [7] S. BAKIR. « *Contribution à une démarche d'intégration des processus de gestion des risques et des projets : Etude de la fonction planification* ». PhD thesis, 2003.
- [8] F. BARBIER(EDITOR), K STØLEN, F. den BRABER, T. DIMITRAKOS, R. FREDRIKSEN, B.A. GRAN, H.S HOUMB, Y.C. STAMATIOU et J.Ø. AAGEDAL. « *Business Component-Based Software Engineering* », Chapitre Model-based risk assessment in a component-based software engineering process : the CORAS approach to identify security risks, pages 189–207. Kluwer, 2003.
- [9] M. BERRY. *Savoirs théoriques et gestion, Savoirs théoriques et savoir d'action*. Presses Universitaires de France, 1996.
- [10] B.W. BOEHM. *Software Risk Management*. IEEE Press, 1989.
- [11] B.W. BOEHM. « Software Risk Management : Principles and Practices ». *IEEE Softw.*, 8(1) :32–41, 1991.
- [12] J.M BOUROCHE et G. SAPORTA. *L'analyse de données*. Presses Universitaires de France, 1980.
- [13] R.W. BRADFORD, P.J. DUNCAN et B. TARCY. *Simplified Strategic Planning : A No-Nonsense Guide for Busy People Who Want Results Fast!* Chandler House Press, 1999.
- [14] G.W. BRAMS. *Reseaux de Petri : Theorie et Pratique. Tome 1 : Theorie et Analyse ; Tome 2 : Modelisation et Applications*. Editions Masson, septembre 1982. Brams, G.W. : nom collectif de C. Andre, G. Berthelot, C. Girault, G. Memmi, G. Roucairol, J. Sifakis, R. Valette, G. Vidal-Naquet.

- [15] S.L. CARR, M.J. and Konda, I. MONARCH, F.C. ULRICH et F.C. WALKER. « CMU/SEI-93-TR-6 - Taxonomy Based Risk Identification ». Rapport Technique, Software Engineering Institute, 1993.
- [16] B. CARTER, T. HANCOCK et N. MORIN, J.M. and Robins. *Introducing RISKMAN : The eEuropean Project Risk Management Methodology*. Blackwell Pub, 1994.
- [17] R.N. CHARETTE. *Software engineering risk analysis and management*. McGraw-Hill, Inc., 1989.
- [18] E. CHAUVEAU. « How risks affect a project duration ». Dans *Sixth International Workshop on Economics-Driven Software Engineerin Research (EDSER-6), ICSE 2004, Edinburgh, Scotland, 2004*.
- [19] E. CHAUVEAU et C. LASSUDRIE. « Bien caractériser les risques : un atout pour le processus de m anagement des risques ». Dans *Assises de l'ADELI*, 2002.
- [20] E. CHAUVEAU et C. LASSUDRIE. « Modélisation des dépendances entre risques et application dans l'estimation de l'impact des risques ». Dans *Lambda-Mu 14, Risques et Opportunités, Bourges, 2004*.
- [21] E. CHAUVEAU, C. LASSUDRIE et D. BERTHELOT. « Analysis of Risks in a Software Improvement Programme ». Dans Seija Komi-Sirviö MARKKU OIVO, éditeur, *Product Focused Software Process Improvement, 4th International Conference, PROFES 2002, Rovaniemi, Finland, December 9-11, 2002, Proceedings*, volume 2559 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 601–614. Springer, 2002.
- [22] W.W. COOLEYS et P.R. LOHNES. *Multivariate Data Analysis*. John Wiley and Sons, 1971.
- [23] H. COURTOT. *La gestion des risques dans les projets*. Economica, 1998.
- [24] ADELI (Association Francaise de GÉNIE LOGICIEL). *PÉRILoscope 97 : Maitriser les risques dans les projets informatiques*. ADELI, 1997.
- [25] R.P. DECLERCK, P. EMERY et M.A. CRENER. *Le management Stratégique des projets*. Editions Hommes et Techniques, 1980.
- [26] H. DELAFOSSE-LE BER, S. DEYSSON et S. BRIAULT. « Management des risques et des opportunitéssur le projet LASER MEGAJOULE : L'évolution d'une culture! ». Dans *Lambda-Mu 14, Risques et Opportunités, Bourges, 2004*.
- [27] A. DESROCHES, A. LEROY et F. VALLÉE. *La gestion des risques : principes et pratiques*. Hermes Sciences, Lavoisier, 2003.
- [28] L. FAVRE(EDITOR), F. den BRABER, T. DIMITRAKOS, B.A. GRAN, M.S. LUND, K. STØLEN et J.Ø. AAGEDAL. « *UML and the Unified Process* », Chapitre The CORAS methodology : model-based risk management using UML and UP, pages 332–357. IRM Press, 2003.
- [29] B. FREIMUT, S. HARTKOPF, P. KAISER, J. KONTIO et W. KOBITZSCH. « An industrial case study of implementing software risk management ». Dans *ESEC/FSE-9 : Proceedings of the 8th European software engineering conference held jointly with 9th ACM SIGSOFT international symposium on Foundations of software engineering*, pages 277–287, New York, NY, USA, 2001. ACM Press.
- [30] B.P. GALLAGHER, P.J. CASE, R.C. CREEL, S. KUSHNER et R.C. WILLIAMS. « CMU/SEI-2005-TN-036 - A Taxonomy of Operational Risks ». Rapport Technique, SEI, 2005.

- [31] V. GIARD. *Gestion de Projet*. Economica, 1991.
- [32] D. GOURC. « Le management des risques en contexte projet : quelle problématique ? ». Dans *Ecole d'été - Gestion Scientifique du Risque : Sciences du danger, concepts, enseignements et applications*, Albi, 1999.
- [33] H.H. HARMAN. *Modern Factor Analysis (3rd edition)*. Chicago University Press, 1976.
- [34] J.A. HARTIGAN. *Clustering Algorithms*. Wiley, 1975.
- [35] Project Management INSTITUTE, éditeur. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Project Management Institute, 2000.
- [36] British Standards INSTITUTION. *BS 6079-3 :2000 Project Management – Part3 : Guide to the management of business related project risk*. British Standards Institution, 2000.
- [37] K. ISHIKAWA. « Guide to quality control ». Rapport Technique, Asian Productivity Organization, 1968.
- [38] ISO, éditeur. *ISO/CEI 12207, Traitement de l'information - Ingénierie du logiciel-Processus de cycle de vie du logiciel*. 1995.
- [39] ISO, éditeur. *ISO/IEC TR 15504-2, Information Technology - Software process assessment - A reference model for processes and process capability*. ISO, 1998.
- [40] ISO, éditeur. *ISO/IEC TR 15504-3, Information Technology - Software process assessment - Performing an assesment*. ISO, 1998.
- [41] ISO, éditeur. *ISO/IEC TR 15504-8, Information Technology - Software process assessment - Guide for use in determining supplier process capability*. ISO, 1998.
- [42] ISO, éditeur. *ISO/CEI FCD 15288, Ingénierie des systèmes - Processus du cycle de vie*. 2002.
- [43] ISO, éditeur. *ISO/IEC Guide 73 :2002 Risk management – Vocabulary – Guidelines for use in standards*. International Standards Organisation, 2002.
- [44] J. JENSEN. « An introduction to the theoretical aspects of coloured Petri nets. ». *Lecture Notes in Computer Science ; A Decade of Concurrency*, 803 :230–272, juin 1993.
- [45] M. JOLY, J. LE BISSONNAIS et J.L MULLER. *Maîtriser le coût de vos projets, Manuel de coûtenance*. AFNOR Gestion, 1993.
- [46] J. KONTIO. « The Riskit Method for Software Risk Management, version 1.00 ».
- [47] J. KONTIO et V. BASILI. « Risk Knowledge Capture in the Riskit Method », 1996.
- [48] J. KONTIO, H ENGLUND et V.R. BASILI. « Experiences from an Exploratory Case Study with a Software Risk Management Method. CS-TR-3705 ». Rapport Technique, University of Maryland. Computer Science Technical Report, 1996.
- [49] O. KUISMANEN, T. SAARI et J. VÄHÄKILÄ. « Risk Interrelation Management : Controlling the Snowball Effect ». Dans *Fifth European Project Management Conference, PMI Europe 2002, Cannes*, 2002.
- [50] C. LASSUDRIE et G. GULLÀ-MENEZ. « An experience in using risk management in a software process improvement programme ». *Software Process : Improvement and Practice*, 9(1) :3–12, January-March 2004.
- [51] L. LEBART, A. MORINEAU et K.M. WARWICK. *Multivariate Descriptive Statistical Analysis*. John Wiley and Sons, 1984.

- [52] X. LEROY. « The Objective Caml system - release 3.08 -Documentation and user's manual ». Available on : <http://caml.inria.fr/pub/docs/manual-ocaml/index.html>.
- [53] M.S. LUND, F. den BRABER, K. STØLEN et F. VRAALSEN. « A UML profile for the identification and analysis of security risks during structured brainstorming, SINTEF Technical report STF40 A03067 ». Rapport Technique, SINTEF ICT, May 2004.
- [54] M.S. LUND, I. HOGGANVIK, F. SEEHUSEN et K. STØLEN. « UML profile for security assessment, SINTEF Technical report STF40 A03066 ». Rapport Technique, SINTEF Telecom and Informatics, December 2003.
- [55] J.R. MEREDITH et S.J. MANTEL JR. *Project Management, a Managerial Approach*. Wiley, 1989.
- [56] C. MIDLER. *L'auto qui n'existait pas , Management des projets et transformation de l'entreprise*. InterEditions, 1993.
- [57] B. MOREAU, C. LASSUDRIE, B. NICOLAS, O. L'HOMME, C. D'ANTERROCHES et G. LE GALL. « Software quality improvement in France telecom research center ». *Software Process : Improvement and Practice*, 8(3) :135-144, July-September 2003.
- [58] C. MORLEY. « Différentes approches pour gérer les risques dans les projets informatiques ». Dans *Actes du congrès francophone du management de projet (AFITEP) 1999*.
- [59] D. NOYES et R. GOURIVEAU. « Outils d'analyse des risques dans le processus de réponse à appel d'offre ». Dans *Actes du Congrès Qualita 2001 , Annecy, 22-23 mars 2001*.
- [60] U.S Department of DEFENSE. « MIL-P 1629, Procedures for performing a Mailure Mode,Effects and Criticality Analysis », November 1949.
- [61] U.S Department of DEFENSE. « MIL-STD-1629A, Procedures for performing a Mailure Mode,Effects and Criticality Analysis », 1980.
- [62] OMG. « Buisness Process Description Model ». Rapport Technique, Object Management Group.
- [63] OMG. « ISO/IEC 19501 - Unified Modeling Language V2.0 ». Rapport Technique, Object Management Group/ISO, 2004. Available on : <http://www.omg.org/technology/documents/formal/uml.htm>.
- [64] OMG. « Software Process Engineering Metamodel, version 1.1 ». Rapport Technique, Object Management Group, January 2005. Available on : <http://www.omg.org/technology/documents/formal/spem.htm>.
- [65] Inter Agency POLICY, Projects Unit : Government INFORMATION, Services Division : Department of PREMIER et Cabinet : TASMANIA. « Tasmanian Government Project Management Guidelines Version 6.0 ». Rapport Technique, State of Tasmania - Australia, March 2005. Available on : <http://www.projectmanagement.tas.gov.au>.
- [66] C.L. PRITCHARD. *Risk Management, Concepts and Guidance*. ESI International Publishing, 1997.
- [67] L.R. RABINER. « A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition ». *Proceedings of the IEEE*, 77(2) :257-285, Feb. 1989.
- [68] F. REDMILL, M. CHUDLEIGH et J. CATMUR. *System Safety : Hazop and Software HAZOP*. John Wiley and sons, 1999.

- [69] SAE. « SAE J-1739, Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) Reference Manual », 2000.
- [70] G. SAPORTA. *Probabilités, Analyse des données et Statistiques*. Editions Technip, 1990.
- [71] P.J SCHÖNBUCHER. « Factor Models For Portfolio Credit Risk ».
- [72] SEI, éditeur. *CMU/SEI-2002-TR028 Capacity Maturity Model Integration, Version 1.1 CMMI-SW CMMI for Software Engineering - Continuous representation*. Software Engineering Institute, University of Carnegie-Mellon, 2002.
- [73] SEI, éditeur. *CMU/SEI-2002-TR029 Capacity Maturity Model Integration, Version 1.1 CMMI-SW CMMI for Software Engineering - Staged representation*. Software Engineering Institute, University of Carnegie-Mellon, 2002.
- [74] J.H.M TAH. « Towards object models for integrated intelligent project management ». Dans *CIB Workshop : Construction on the information highway, Bled, Slovenia, June 10-12, 1996*, pages 479–491, 1996.
- [75] J.H.M. TAH et V. CARR. « Information modelling for project risk analysis and management ». *Journal of Engineering, Construction and Architectural Management*, 7(2) :107–119, 2000.
- [76] J.M.H TAH et V. CARR. « Towards a framework for project risk knowledge management in the construction supply chain ». *Adv. Eng. Softw.*, 32(10-11) :835–846, 2001.
- [77] F. THIBAUT, I. SOYER et J. RIOU. « Hiérarchisation des risques et choix des outils d'évaluation pour l'acceptabilité ». Dans *Lambda-Mu 14, Risques et Opportunités, Bourges*, 2004.
- [78] R.L VAN SCOY. « Software Development Risk : Opportunity, Not Problem ». Rapport Technique, Software Engineering Institute, 1992.
- [79] C. VOLCKER, H. STIENEN et R. OUARED. « Taking SPICE to the Third Dimension : Adding Risk Analysis to ISO/IES TR 15504 ». Dans *14th International Conference on Software & Systems Engineering and their Applications - Proceedings Vol 2*, 2001.
- [80] D. VOSE. *Risk Analysis : A Quantitative Guide 2nd Edition*. John Wiley and Sons, 2003.
- [81] R.M. WIDEMAN, éditeur. *Project and Program Risk Management : A Guide to Managing Project Risks and Opportunities*. Project Management Institute, 1992.
- [82] J.D. WIEST et F. LEVY. *A Management Guide to PERT/CPM*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1981.
- [83] R.C. WILLIAMS, G.J. PANDELIOS et S.G. BEHRENS. « CMU/SEI-99-TR-029 - Software Risk Evaluation (SRE) : Method Description (Version 2.0) ». Rapport Technique, SEI, 1999.
- [84] R.C. WILLIAMS, G.J. PANDELIOS et S.G. BEHRENS. « CMU/SEI-99-TR-029 - SRE Team Members Notebook (Version 2.0) ». Rapport Technique, SEI, 1999.

## **Management des risques dans les projets et processus logiciel**

**Mots Clés** : Risque, Management des risques, Graphe probabiliste, Modélisation UML, Diagramme PERT, Dépendance

### **Résumé :**

Cette thèse s'intéresse au management des risques dans les projets et processus logiciel. Après avoir fait le point sur l'existant, nous étudions les caractéristiques des risques avant de nous intéresser aux impacts temporels des risques. Nous proposons une méthode permettant de calculer la distribution probabiliste de la durée du projet/processus en fonction de ces risques. Nous développons ensuite la notion de dépendance entre les risques et les prenons en compte dans le calcul de la durée d'un projet/processus. Enfin nous proposons une modélisation UML d'un projet/processus avec ses risques.

## **Risk Management in Software Projects and Process**

**Keywords** : Risk, Risk Management, Probabilistic graph, UML modelling, PERT diagram, Dependency

### **Abstract :**

This thesis focuses on risk management in software projects and process. After a study of existing works, we focus on risk characteristics and then deal with temporal impacts of risks. We develop a method in order to calculate a project or process duration distribution depending on its risks. Afterwards, we focus on the notion of risk dependency and consider the inclusion of this notion in the calculation of the duration of the project or process. We also propose a UML meta-model to model both a project and its risks in a single model.