



**HAL**  
open science

# Aide à la Gestion des Risques et Vulnérabilités induits par la Complexité

F. Marle

► **To cite this version:**

F. Marle. Aide à la Gestion des Risques et Vulnérabilités induits par la Complexité: Application à la conception et au pilotage de projets complexes et (donc) risqués. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université de Nantes, 2011. tel-01196824

**HAL Id: tel-01196824**

**<https://hal.science/tel-01196824>**

Submitted on 10 Sep 2015

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

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

Université de Nantes

TITRE

AIDE A LA GESTION DES RISQUES ET VULNERABILITES INDUITS PAR LA COMPLEXITE

Sous-titre

Application à la conception et au pilotage de projets complexes et (donc) risqués

MEMOIRE

Présenté pour obtenir

L'HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Discipline : Génie Industriel

Présenté et soutenu publiquement par

Franck MARLE

Le 17 octobre 2011

Devant le jury composé de :

Améziane AOUSSAT (Rapporteur)

Professeur à Arts et Métiers ParisTech

Alain BERNARD

Professeur à l'Ecole Centrale de Nantes

Jean-Claude BOCQUET

Professeur à l'Ecole Centrale Paris

Emmanuel CAILLAUD (Rapporteur)

Professeur à l'INSA de Strasbourg

Benoît FURET

Professeur à l'Université de Nantes

Michel TOLLENAERE (Rapporteur)

Professeur à Grenoble INP



*A mes petites chéries, sans qui rien n'aurait été possible...*



---

## Remerciements

Mes remerciements vont en tout premier lieu à mes proches, ma femme Leïla, mes deux filles Inès et Sarah, mes parents, ma sœur Sylvie ainsi qu'au reste de ma famille et à ma belle-famille. Le soutien des proches, ou tout simplement leur compréhension lorsqu'on a « la tête ailleurs » est quelque chose de très précieux.

Au niveau professionnel, je commencerai par Bill alias Jean-Claude Bocquet, car c'est grâce à lui que j'en suis là aujourd'hui, de par les projets puis les responsabilités qu'il m'a confiés au cours de ces années.

Je pense également à Ludo alias Ludovic-Alexandre Vidal, qui a été plus qu'un doctorant brillant et efficace, puisqu'il m'a aidé et m'aide encore sur beaucoup d'autres activités.

Je remercie pour les collaborations et les échanges fructueux Julie Le Cardinal, Marija Jankovic, Angela Minzoni-Déroche, Thierry Gidel, Manuel Sosa, Marc Bouissou, Enrico Zio et Vincent Mousseau, les deux derniers également pour leur contribution à la réflexion sur ce mémoire.

Je remercie pour leur contribution à l'obtention de la plupart des résultats cités dans ce mémoire Chao Fang, Nydia Gonzalez, Sanja Jovici, Baris Canbaz, Viet-Anh Nguyen et tous les étudiants qui ont contribué de façon générale aux travaux de recherche.

Je n'oublie pas pour leur apport industriel et les discussions très intéressantes Gilles Turré, Frédéric Laforce, Georges Labet, Jean-Marc Bavoux, Murielle Maréchal, Jean-Philippe Le Goupil, Serge Ripailles et Jean-Louis Giordano.

Je tiens particulièrement à remercier les membres du jury, Alain Bernard pour m'avoir accueilli, Emmanuel Caillaud, Améziane Aoussat et Michel Tolleneare pour avoir accepté d'être rapporteurs et Benoit Furet pour avoir accepté d'être examinateur.

Au niveau du labo, un merci tout particulier à Corinne, Zied et Sylvie pour leur aide et leur soutien précieux depuis des années.

Enfin, pour la bonne humeur et l'ambiance, ou simplement pour leur soutien, je tiens à remercier les personnes suivantes, donc certaines sont malheureusement parties : Hakim Rémita, Aude Schindler, Yves Dallery, Evren Sahin, Guillaume Goudenege, Thibaut Hubert, Olivier Cailloux, Stéphane Deparis, Yann Bouchery, Myriam Karoui, Emna Benzarti, Christophe Delaunay, Adel El Omri, Abir Fathallah, Asma Ghaffari, Laura Hege, Vincent Holley, Oualid Jouini, Anne Prevot, Eléonore Mounoud, Anne-Françoise Cutting-Decelle.

Et enfin Max pour son calme légendaire, ce qui m'a été d'un soutien très utile dans la phase critique de rédaction et de préparation de la soutenance !

---

---

## Sommaire

Présentation de mon mémoire d’Habilitation à Diriger les Recherches .....	8
1. Parcours jusqu’à aujourd’hui.....	10
1.1. Introduction .....	11
1.2. Principaux résultats.....	14
1.3. Synthèse de mes activités, de leur cohérence et de leur impact en termes de résultats.....	24
2. Les limites des méthodes actuelles face à la complexité du système projet.....	26
2.1. Le projet en tant que système complexe.....	28
2.2. Implications de la complexité sur les risques auxquels le projet doit faire face .....	42
2.3. Problématiques de recherche et programme associé.....	52
3. Modélisation de la complexité du système projet.....	56
3.1. Elaboration d’un référentiel de complexité projet .....	58
3.2. Un modèle de description de la complexité projet.....	63
3.3. Modélisation des interactions au sein du système projet .....	70
4. Analyser les vulnérabilités du système projet face à la complexité.....	74
4.1. Mesurer les faiblesses internes liées aux manques de maturité du système projet .....	76
4.2. Prendre une photographie du système projet afin d’en déduire des ECP (Evènements Complexes Potentiels) .....	80
4.3. Anticiper les évolutions possibles du système projet afin notamment de détecter les ECP.....	86
4.4. Diagnostiquer la vulnérabilité du projet face aux ECP.....	92
5. Décider en milieu complexe et (donc) risqué afin de mitiger la vulnérabilité du projet.....	96
5.1. Sélectionner un portefeuille de projets en tenant compte de leurs interactions .....	98
5.2. Sélectionner une méthode de gestion des risques projet en tenant compte de la complexité .....	101
5.3. Agir sur les réseaux du projet pour le rendre moins vulnérable à la complexité .....	104
5.4. Agir sur l’organisation du projet pour mieux coordonner certaines décisions.....	108
6. Programme de recherche à moyen et long terme.....	118
6.1. Principes pour la construction du projet scientifique.....	119
6.2. Déclinaison en programme de recherche avec enjeux scientifiques et applicatifs.....	122
6.3. Bilan personnel .....	128
7. Compléments.....	130
7.1. CV synthétique .....	130
7.2. Liste des figures.....	132
7.3. Liste des tableaux .....	133
7.4. Bibliographie du mémoire .....	134

---

8.	Fiches de présentation des thèses .....	140
8.1.	Thèse de Franck MARLE (2002) .....	140
8.2.	Thèse Nydia GONZALEZ (3 décembre 2009).....	142
8.3.	Thèse Ludovic-Alexandre VIDAL (17 décembre 2009) .....	143
9.	Fiches de présentation des publications (acceptées ou soumises) .....	144
9.1.	Kybernetes - Understanding project complexity : Implications on project management .....	145
9.2.	Expert Systems With Applications – Using a Delphi process and the AHP to evaluate the complexity of projects .....	146
9.3.	IJ of Technology and Management - Building up a project complexity framework using an international Delphi study.....	147
9.4.	IJ of Project Management – Measuring project complexity using an AHP-based approach.....	148
9.5.	RESS – Network theory for industrial project analysis .....	149
9.6.	International Journal of Product Development - Risk assessment method in project actor choice....	150
9.7.	Decision Support Systems - A Simulation-Based Risk Network Model for Decision Support in PRM	151
9.8.	Kybernetes – A systems-thinking approach for project vulnerability management .....	152
9.9.	International Journal of Project Management - Project: the Just Necessary Structure to Reach your Goals	153
9.10.	IJ of Production Economics - Interactions-based risk clustering algorithms for complex project management.....	154
9.11.	Research in Engineering Design - PRM processes: improving coordination using a clustering approach.....	155
9.12.	Journal of Mechanical Design – A structured approach to forming creative teams .....	156
9.13.	EJOR– Construction of portfolio considering efficiency, strategic effectiveness, balance and project interactions.....	157
9.14.	IJ of Project Organisation and Management - An analysis of PRM methods in order to assist their selection.....	158
9.15.	IJ of Multi-Criteria Decision-Making – A multi-criteria decision-making process for PRM method selection.....	159
9.16.	IJ of Project Organisation Management – A structured approach to managing interactions between project risks.....	160

---

# PRESENTATION DE MON MEMOIRE D'HABILITATION A DIRIGER LES RECHERCHES<sup>1</sup>

Ce mémoire correspond à l'avancement à un instant donné dans mon programme de recherche. Il comprend donc mon parcours (chapitre 1), les principaux résultats de recherche (chapitres 2 à 5) ainsi que mon projet scientifique à moyen terme (chapitre 6). Les trois derniers chapitres sont des Annexes. La structure du noyau principal (chapitres 2 à 5) correspond au processus que j'ai progressivement construit au fur et à mesure des travaux menés, ce qui signifie que les chapitres s'enchaînent, les résultats d'un chapitre servant de données d'entrée au chapitre suivant.

Le chapitre 1 retrace mon parcours depuis l'entrée à l'Ecole Centrale Paris en septembre 1998 jusqu'à aujourd'hui. Il comprend donc les principaux jalons qui ont émaillé cette période, avec des évolutions plutôt par paliers consistant en des prises progressives de responsabilités. De ces activités sont sortis des résultats présentés d'un point de vue recherche, enseignement et responsabilités.

Le chapitre 2 introduit la problématique de la présence de la complexité dans les projets, qui se manifeste à la fois dans la structure du projet, dans son résultat, dans son environnement immédiat et dans l'environnement futur de son résultat. Cette complexité va plutôt en croissant car il est demandé aux projets d'intégrer de plus en plus de paramètres en même temps et d'anticiper de plus en plus sur le cycle de vie post-projet. Les conséquences potentielles, positives et négatives, de cette complexité seront présentées. Cette dernière crée essentiellement un décalage entre ce que le décideur (ou plus généralement le système de management) croit et ce qui est réellement susceptible d'arriver. Ceci permettra d'introduire les limites des méthodes actuelles de management de projet et d'en déduire le programme de recherche qui sera déroulé dans les chapitres suivants.

Le chapitre 3 présente quelques propositions de cadrage et de modélisation du concept de complexité projet. Il introduira en particulier les notions d'objets constituant un projet, ayant un certain nombre d'attributs et étant en interaction les uns avec les autres. L'aspect dynamique de ce réseau complexe formé par des objets en interaction est assuré par le dernier concept d'évènement, qui peut être désiré (une décision par exemple) ou subi (un changement ou un évènement externe au projet). Ceci permettra d'introduire la suite concernant l'analyse des comportements possibles d'un système complexe particulier qui est le projet. L'apport scientifique est ici principalement d'explicitier et d'évaluer les interactions entre des notions jusqu'ici traitées essentiellement comme si elles étaient indépendantes.

---

<sup>1</sup> La version finale du document correspond à début décembre 2011. La version qui a servi à établir les rapports d'HDR datait de début juillet 2011. Entre-temps, quelques éléments ont changé, notamment des articles pour lesquels une décision a été rendue entre juillet et novembre 2011.

Le chapitre 4 utilise les données précédemment obtenues pour faire des analyses, en statique ou en dynamique, du comportement potentiel du projet. Cela peut se faire avec un but d'étude locale (focalisée sur un objet en particulier) ou globale (l'ensemble du réseau des objets). Les différentes méthodes et outils développés seront introduits, afin d'illustrer en quoi ils servent à éclairer le décideur par rapport à des évolutions possibles du système projet. Il s'agit de lui apporter une information complémentaire de celle dont il disposait déjà afin de l'aider dans la prise de décision, ce qui est l'objet du chapitre suivant. L'apport scientifique de cette partie est de réussir à considérer des phénomènes de propagation indirecte entre objets hétérogènes, ce que ne font pas les outils actuels, qui ont une vision beaucoup plus directe (propagation à un seul niveau, cause directe et conséquence directe) et plus homogène (tâche-tâche, acteur-acteur).

Le chapitre 5 focalise sur la prise de certaines décisions qui permettent au chef de projet de garder ou de remettre son projet sur des rails lui permettant d'aller avec plus de garantie (jamais 100%, mais mieux qu'avant) vers une zone de succès. Là encore, le succès d'un projet est en soi un sujet délicat, puisque les paramètres sont souvent balancés, certains objectifs ayant été atteints et d'autres non. Le but ici est de garantir qu'on se dirige vers plus de probabilité de succès et moins de probabilité d'échec. L'idée est notamment de s'attaquer à des phénomènes désagréables liés à la complexité, comme des risques de mauvaise communication et mauvaise coordination entre acteurs, ou de favoriser des phénomènes agréables liés à la complexité, comme l'émergence de propriétés globales que ne possédaient aucun des objets individuels, ou la créativité fournie par une organisation projet configurée différemment. Un certain nombre de travaux portant sur des actions innovantes de réduction de risque et/ou de vulnérabilité sont introduits, que ce soit en réduisant les dangers introduits par la complexité du système ou en augmentant la capacité à gérer cette complexité (en travaillant sur les faiblesses internes). Certaines décisions s'adressent à un niveau local (système projet) et d'autres à un niveau plus global (système de gouvernance multi-projets). L'apport scientifique de cette partie se situe dans la prise en compte de la complexité dans la prise de décision. D'une part, cela génère de nouvelles alternatives de décision car les analyses du chapitre 4 fournissent des conclusions sensiblement différentes des analyses classiques. D'autre part, l'impact de la décision est lui-même étudié à travers le filtre de la complexité, ce qui là encore permet d'éviter certaines mauvaises surprises, comme une décision prise pour un effet direct positif mais qui présente en fait de nombreux effets secondaires indirects et négatifs.

Le chapitre 6 bouclera ce mémoire par la présentation de mon projet scientifique et applicatif pour la suite, avec notamment les projets déjà démarrés ou déjà engagés mais pas encore démarrés. Mes finalités personnelles y seront présentées. Elles sont de rendre service de façon directe et indirecte via des activités de recherche à des bénéficiaires, comme des entreprises, des citoyens ou encore la communauté scientifique. Les principes de construction ou plutôt de continuation du programme de recherche seront présentés, avec une partie nouvelle et une partie dans la continuité de ce qui a été développé depuis dix ans. Dans cette partie nouvelle, il s'agit surtout d'élargir le champ applicatif des systèmes adressés, pour aller au-delà du « simple » système projet mais de travailler sur les systèmes complexes créés ou transformés par ce système projet.

Enfin, les trois derniers chapitres sont des annexes, donnant respectivement des compléments classiques comme liste des figures et bibliographie, puis donnant des fiches sur les thèses menées et enfin présentant des résumés ou la version complète de certains articles de revues. Cette Habilitation à Diriger les Recherches est donc une photographie instantanée de l'avancement de ce programme de recherche.

## 1. PARCOURS JUSQU'A AUJOURD'HUI

L'objet de ce premier chapitre est de présenter de façon détaillée mes résultats, activités et responsabilités en termes de recherche, d'enseignement et de prestations administratives.

La première section montre les principaux jalons de mon parcours, avec les paliers successifs, ma situation actuelle et mon moteur de motivation qui est de croire que les projets peuvent contribuer à changer les choses, à condition de bien les choisir et ensuite de bien les mener.

La seconde section synthétise par nature d'activité les principaux résultats obtenus, que ce soit en recherche (publications, encadrements, rayonnement), en enseignement (responsabilité, interventions) ou autres responsabilités (gestion d'un Mastère Spécialisé principalement).

Enfin, la troisième section conclut sur la recherche permanente de cohérence et de synergie entre les différentes activités, tant d'un point de vue efficience (en quoi un travail de préparation d'une conférence permet de gagner du temps sur la préparation d'un cours et réciproquement) que d'un point de vue efficacité (en quoi un résultat de recherche validé par une revue permet de garder un cours Master Recherche à la page par rapport aux évolutions du domaine du management de projet).

La présentation des résultats de recherche dans la deuxième partie de ce document (chapitres 2 à 5) sera structurée en fonction de la logique du processus développé.

### 1.1. INTRODUCTION

Cette section présente les paliers successifs de mon parcours, me permettant de prendre progressivement plus de responsabilités et d'acquérir ainsi de l'expérience et des compétences dans différents domaines. Elle reprend les éléments d'un CV classique, mais les présente différemment et en détaille certains.

Le CV au format standard est donné en Annexe 7.1, page 130.

#### 1.1.1. Une progression par paliers

Comme le montre la Figure 1 ci-dessous, mon parcours a été jalonné de quelques dates-clés. Diplômé de l'Ecole Centrale de Lyon en 1997 (avec un DEA en partenariat avec l'Ecole Centrale Paris), j'ai eu un an pour réfléchir tranquillement à mon début de carrière, ce qu'on appelle le service militaire. Entré au laboratoire de Génie Industriel (à l'époque Productique-Logistique) en tant qu'assistant fin 1998, j'ai obtenu mon doctorat en 2002 et je suis passé chef de travaux fin 2003 (équivalent contractuel d'un poste de MCF).

Le premier palier correspond à l'année 2006, où on m'a successivement proposé de prendre la responsabilité du Mastère Spécialisé Génie des Systèmes Industriels (transformé ensuite en Management Industriel, Projets et Supply Chain), puis de monter et de prendre la responsabilité d'un cours de base en tronc commun. Enfin pour terminer, c'est l'année où j'ai fondé l'axe de recherche en management de projet.

Le second palier correspond à l'année 2009 avec le rééquilibrage en volume de mon portefeuille d'activités vers la recherche. Cela s'est traduit par une refonte d'un cours formation-recherche appelé « Management de projet avancé », par la finalisation de 2 thèses et par l'accentuation de l'effort vers la publication scientifique de haut niveau.

Enfin, l'année 2011 sera également un palier, car préparer l'HDR a permis de faire un point global sur ma situation présente et future, ce qui a été très utile, à la fois pour la recherche mais également pour l'enseignement et le Mastère Spécialisé.

Comme le montre la Figure 1, il est à noter que les grands événements récents de ma vie personnelle (rencontre avec ma femme Leïla, puis naissance de mes filles Inès et Sarah) correspondent aux années où de grands changements sont intervenus dans ma vie professionnelle. Le fait de grandir personnellement doit donc avoir une influence sur la capacité et l'envie qu'on a de grandir professionnellement ...

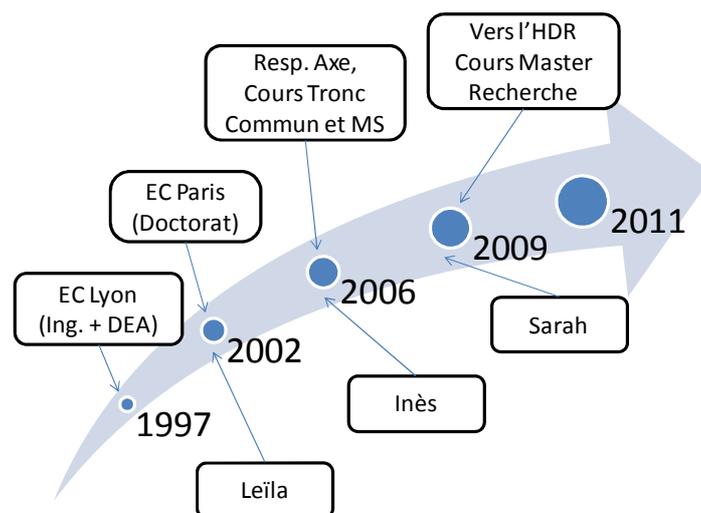


Figure 1: Positionnement des dates-clés de mon parcours

### 1.1.2. Des activités centrées sur la gestion des projets complexes

Nos travaux de recherche portent sur l'élaboration de nouvelles méthodes d'aide à la décision dans l'univers complexe et risqué de la gestion de projets. Ils se décomposent en trois grands blocs correspondant à trois objectifs de recherche (décrits en section 2.3.1 page 52) et à trois chapitres du mémoire (chapitres 3 à 5).

Le premier bloc concerne la **modélisation de la complexité du système projet** au sein de son environnement (entreprise, marché, multi-projets, etc...). Il sera abordé dans le chapitre 3 du mémoire. Nous y développons depuis 10 ans des modèles et des référentiels permettant de capturer la complexité du projet par ses différentes composantes.

Le deuxième bloc porte sur **l'anticipation des risques et opportunités dus à cette complexité** et pouvant altérer le comportement possible du système projet. Il sera abordé dans le chapitre 4 du mémoire. Il s'agit d'étudier les conséquences positives et négatives de la complexité. Nous développons donc notamment des outils d'anticipation de propagation d'évènement par différentes approches ainsi qu'un diagnostic de la vulnérabilité du projet face à sa complexité. Ces méthodes utilisent donc les modèles et le cadre de description de la complexité précédemment évoqués.

Enfin, le troisième bloc formalise un certain nombre de problématiques de **décision dans le cadre du pilotage ou de la conception des projets**. Il sera abordé dans le chapitre 5 du mémoire. Des algorithmes d'optimisation sont par exemple proposés pour découper une organisation projet en petits groupes afin de maximiser les interactions à l'intérieur de ces groupes et ainsi faciliter la coordination entre les acteurs. Un autre exemple plus en amont porte sur l'élaboration de deux modèles d'optimisation pour la sélection de projets interreliés et pour la sélection de méthode(s) de gestion de risques.

En termes d'enseignement, les cours sont donc plutôt généraux ou spécifiques et orientés sur tel ou tel bloc. Les cours plus pointus en master recherche creusent d'avantage les concepts avancés de complexité et de gestion des risques issus de nos recherches. Les cours plus généraux comme le cours de tronc commun devant les 500 élèves-ingénieurs de 2<sup>e</sup> année portent sur les fondamentaux de l'aide à la décision appliquée à la gestion de projet. Dans tous les cas, comme le montre la Figure 2, les cours portent sur la prise de décision dans le cadre du système projet, en utilisant les ressources des systèmes organisationnels parties prenantes et dans le but de délivrer les finalités attendues par les différents systèmes clients.

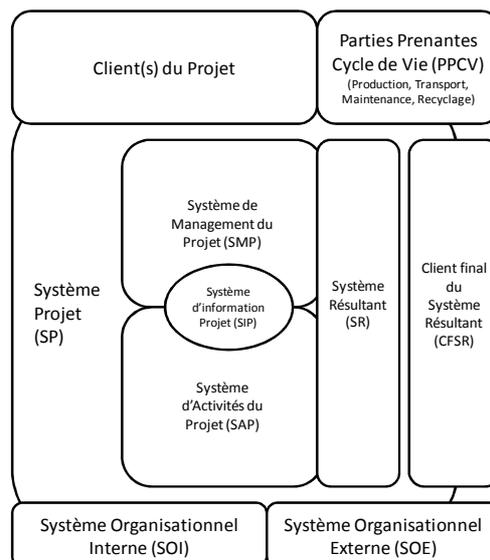


Figure 2 : Travailler sur le système projet en lien avec le système qui en résulte et les systèmes qui l'environnent

### 1.1.3. Mon moteur : faire en sorte que les projets soient des vecteurs de transformation

Je suis convaincu de deux choses : 1) les projets sont des vecteurs importants des transformations de nos entreprises et de notre société ; 2) nous avons besoin de transformer beaucoup de choses.

Les trois grands principes du développement durable me paraissent fondamentaux dans ces transformations, à savoir rechercher l'équilibre entre les paramètres économiques, sociétaux et environnementaux des activités humaines. Cela est synthétisé dans la devise suivante :

**« Les projets. Pour changer les choses (si possible en mieux). »**

Nos travaux portent donc sur l'efficacité et la fiabilité des projets pour que ces transformations puissent avoir lieu dans les meilleures conditions, avec le moins de pertes, de gaspillages, de mauvaises orientations et d'échecs possibles (d'où le « si possible en mieux » car le fait de lancer des projets ne garantit pas qu'il n'y aura pas d'effets secondaires).

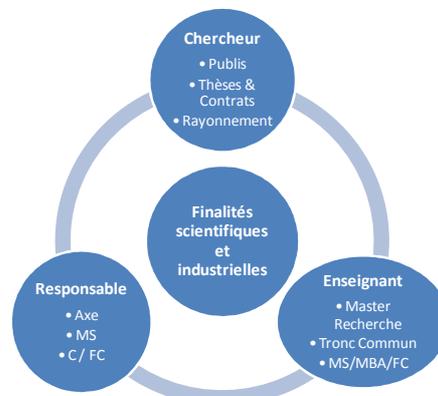
### 1.1.4. Une recherche permanente de cohérence et de synergies entre activités

La Figure 3 ci-dessous illustre une de mes caractéristiques fondamentales qui est de chercher des passerelles entre activités, afin soit d'économiser de l'énergie, soit de profiter d'une même compétence dans deux domaines, soit d'augmenter la qualité ou la quantité des résultats produits au global. Par exemple, la compétence budgétaire (dont la comptabilité et la négociation), issue de la gestion du MS, se retrouve en recherche et à un moindre degré en formation.

De même, les compétences de présentation et de persuasion se retrouvent dans les trois activités, quand il faut convaincre des collègues en conférence, ou des industriels potentiellement intéressés par nos travaux, ou des étudiants qui ne connaissent a priori rien des méthodes qui leur sont présentées, ou des décideurs internes ou externes qu'il faut convaincre de la bonne conduite du MS ou de l'axe.

Le recrutement d'étudiants, pratiqué à grande échelle depuis 2006 dans le Mastère Spécialisé (environ 500 dossiers), se retrouve également dans les activités d'encadrement de recherche, et par analogie a été utile pour le recrutement d'intervenants, que ce soit dans un module ou dans le cadre plus large du MS.

Enfin, un dernier exemple porte sur le cours master recherche, qui comme indiqué dans les termes fait la transition naturelle entre les travaux de recherche et leur transmission via l'activité d'enseignement. Cela permet d'avoir ainsi un cours à la page et un retour quasi-immédiat sur l'acceptabilité et l'intérêt que suscitent nos résultats de recherche en dehors des clients pour qui ils ont été directement développés.



**Figure 3: Synergies entre grands domaines d'activité**

## 1.2. PRINCIPAUX RESULTATS

Cette section présente mes principaux résultats suivant les trois domaines d'activité classiques, en tant que chercheur (publications, encadrements & contrats, rayonnement), en tant que responsable (d'axe de recherche, de Mastère Spécialisé et de programmes de formation initiale et continue) et en tant qu'enseignant.

### 1.2.1. En tant que chercheur

Trois types de résultats sortent d'une activité de recherche : des résultats scientifiques validés par des publications et réalisés par des développements (de type encadrement ou collaboration), des résultats applicatifs dont certains se concrétisent par des contrats qu'il faut décrocher puis administrer, et enfin des résultats dits de rayonnement, qui contribuent à l'image du chercheur, du labo et de l'Ecole.

#### Publications scientifiques

##### Publications dans des revues internationales

J'ai à ce jour 12 publications acceptées<sup>2</sup> et publiées ou en cours de publication, avec en parallèle 1 publication au 2<sup>e</sup> tour (révisions mineures) et 3 publications en attente de réponse (soumissions effectuées entre février 2010 et juin 2011). Elles sont présentées ci-dessous par bloc thématique avec leur état d'avancement.

**Tableau 1: Positionnement des publications dans les revues selon leur bloc thématique et leur état d'avancement**

Thème	Etat	Journal
Modélisation de la Complexité	Publications acceptées	Vidal, L. and F. Marle (2008). "Understanding project complexity: implications on project management." <i>Kybernetes, the International Journal of Systems, Cybernetics and Management Science</i> 37(8): 1094-1110
	Acceptée avec révisions mineures	Vidal, L. and F. Marle (2010). "Using a Delphi process and the AHP to evaluate project complexity." <i>Expert Systems With Applications</i> . <i>International Journal of Technology Management (IJTM)</i> , Vidal, L. and F. Marle. "Building up a complexity framework thanks to an international Delphi study". Major revisions.
Analyse des risques et vulnérabilités dus à la complexité	Publications acceptées	Vidal, L., F. Marle, et al. (2010). "Measuring project complexity thanks to the AHP." <i>International Journal of Project Management</i> .
		Vidal, L. and F. Marle (2012). "A systems thinking approach for project vulnerability management". <i>Kybernetes</i> .
	Publication soumise	Marle, F. and J. Le Cardinal (2010). "Risk assessment method in project actor choice." <i>International Journal of Product Development</i> . Decision Support Systems (DSS). Fang, C. and F. Marle. "A Simulation-Based Risk Network Model for Decision Support in Project Risk Management", Minor revisions (3e tour). Reliability Engineering and Systems Safety (RESS). Fang, C., Marle, F., Zio, E. and Bocquet JC. "Network theory to industrial project risks".
Aide à la Décision	Publications acceptées	Le Cardinal, J. and F. Marle (2006). "Project: the just necessary structure to reach your goals." <i>International Journal of Project Management</i> .
		Marle, F. and L. Vidal (2010). "Interactions-based risk clustering for complex project management." <i>International Journal of Production Economics</i> .
		Marle, F. and L. Vidal. (2011). "Project risk management processes: improving coordination using a clustering approach". <i>Research in Engineering Design</i>
		Marle, F. and T. Gidel. (2011) "A Multi-Criteria Decision-Making Process for Project Risk Management Method Selection", <i>International Journal of Multi-Criteria Decision-Making (IJMCDM)</i> .
		Marle, F. (2012) "A structured approach to managing interactions between project risks". <i>International Journal of Project Organisation and Management (IJPOM)</i> .
	Publications soumises	Marle, F. and T. Gidel. "An analysis of Project Risk Management methods in order to assist their selection", <i>International Journal of Project Organisation and Management (IJPOM)</i> . <i>Journal of Mechanical Design (JMD)</i> . Sosa, M. and F. Marle. "A structured approach to forming creative teams in new product development". <i>European Journal of Operational Research (EJOR)</i> . Canbaz, B. and F. Marle. "Construction of project portfolio considering efficiency, strategic effectiveness, balance and project interactions".

<sup>2</sup> La version finale du document correspond à début décembre 2011. La version qui a servi à établir les rapports d'HDR datait de début juillet 2011. Entre-temps, quelques éléments ont changé, notamment des articles pour lesquels une décision a été rendue entre juillet et novembre 2011.

La liste suivante recense les 32 communications dans des conférences internationales y compris en 2011.

- Marle F. et LA. Vidal (2011). *Forming risk clusters in projects*. **ESREL'11**. Troyes, France.
- Marle F., Jankovic M. et Turré G. (2011). *Correlating innovation and risk management*. **ESREL'11**. Troyes, France.
- Marle F. et LA. Vidal (2011). *A frequency analysis approach to ensure the robustness of interactions-based clustering of project risks*. **ICED'11**. Copenhagen, Danemark.
- Vidal LA. et F. Marle (2011). *Improving the management of design project risks using the concept of vulnerability : a systems approach*. **ICED'11**. Copenhagen, Danemark.
- Fang C., F. Marle et E. Zio (2011). *Optimization of Project Risk Response Plan under Resource Constraints*. **International Conference on Quality Management, Reliability and Safety of Systems**. Xiang, China.
- Sosa M. and F. Marle (2010). *A structured approach to forming creative teams*. **ASME / DTM 2010**. Montréal, Canada.
- Vidal, LA. and F. Marle (2010). *Clustering project risks functions of their interactions*. **LambdaMu'17 - Risk Management Conference**, La Rochelle, France, Risk Management Institute - Institut de Maîtrise des Risques.
- Vidal, LA. and F. Marle (2010). *Towards the definition and management of project vulnerability*. **LambdaMu'17 - Risk Management Conference**, La Rochelle, France, Risk Management Institute - Institut de Maîtrise des Risques.
- Fang, C. and F. Marle (2010). *An Interaction-based Simulation Model for Assisting Project Risk Management*. **LambdaMu'17 - Risk Management Conference**, La Rochelle, France, Institut de Maîtrise des Risques.
- Marle, F. (2010). *Using DSM approach to manage interactions between project risks*. **DSM'10**, Cambridge, UK.
- Fang, C., F. Marle and Bocquet JC. (2010). *Modeling risk interactions to re-evaluate risks in project management*. **DSM'10**, Cambridge, UK.
- Lederer, S., F. Marle and Bocquet JC. (2010). *Analysis of decision-making processes in the development of complex solutions*. **DSM'10**, Cambridge, UK.
- Fang, C. and F. Marle (2009). *Modeling and simulation of risk interactions in project management*. **Confere'09**, Marrakech, Morocco.
- Vidal, L., F. Marle and Bocquet JC. (2009). *Developing an original framework to assess project complexity thanks to the use of the AHP*. International Conference on Engineering Design **ICED'09**, Stanford, USA.
- Vidal, L., F. Marle and Bocquet JC. (2009). *Interactions-based clustering to assist project risk management*. International Conference on Engineering Design **ICED'09**, Stanford, USA.
- Vidal, L., F. Marle and Bocquet JC. (2009). *Interactions-based risk clustering methodologies and algorithms for complex project management*. **CIGI'09**, Conférence Internationale de Génie Industriel, Tarbes.
- Vidal, L., F. Marle and Bocquet JC. (2008). *Project complexity understanding and modeling to assist project management*. **PMI Research Conference 2008**, Warsaw, Poland.
- Gonzalez, N., F. Marle and Bocquet JC. (2008). *Assessing project maturity: a case study*. **PMI Research Conference 2008**, Warsaw, Poland.
- Marle, F. and L. Vidal (2008). *Potential Applications of DSM principles in Project Risk Management*. **DSM'08**, Stockholm, Sweden.
- Vidal, L. and F. Marle (2007). *Modeling project complexity*. **ICED'07**, Paris, FRANCE.
- Gonzalez, N., F. Marle and Bocquet JC. (2007). *La mesure de la maturité, une approche pour améliorer le pilotage des projets automobiles*. **7e Congrès International de Génie Industriel**, Trois-Rivières, Québec.
- Gonzalez, N., F. Marle and Bocquet JC. (2007). *Measuring project maturity: example in a French automotive organization*. Proceedings of the 16th **ICED'07**, Paris, France.
- Marle, F. and J. Fontenaist (2004). *Vers un système d'informations pour aider au management de la complexité des projets de conception*. **MICAD'04**, Paris, France.
- Marle, F. and E. Lardeur (2003). *An information model in order to better manage complexity in projects*. **9th International Conference on Concurrent Enterprising**, Espoo, Finland, BIBA.
- Marle, F. and JC. Bocquet (2002). *Plan more by planning less: contributions to a fractal planning process*. **PMI Research Conference 2002**, Seattle, Etats-Unis.
- Marle, F. and JC. Bocquet (2002). *Methods for helping decision-making in projects*. **PMI Europe**, Cannes, France.
- Marle, F. and JC. Bocquet (2001). *A multi-project management approach for distributed projects management*. **ASME / DETC (Design and Automation Conference)'01**, Pittsburgh, Etats-Unis.
- Marle, F. and JC. Bocquet (2001). *A multi-project management approach for improved planning process*. **ICED'01**, Glasgow, Ecosse.
- Marle, F. and JC. Bocquet (2001). *Une approche multi-projets pour le management par groupes autonomes dans les projets des entreprises réseau / étendues / virtuelles*. **4e congrès de GI**, Aix-Marseille, France.
- Marle, F. and JC. Bocquet (2000). *Développement conjoint d'une méthode et d'un logiciel d'élaboration et de management du processus de conception de produit*. **MICAD 2000**, Paris, France.
- Marle, F. and JC. Bocquet (2000). *Structuring and piloting the design process with PDPM (Product Design Process Management)*. **4th conference on Management and Control in Production and Logistics**, Grenoble, France.
- Marle, F. and JC. Bocquet (2000). *Le management du processus de développement de produits*. **IDMME 2000**, Montréal, Canada.

### Encadrements : formation par la recherche

Ce paragraphe indique les titres et mots-clés des principaux encadrements (thèses et stages). Des fiches plus détaillées sur les thèses soutenues sont données en Annexe dans la section 8 (pages 140 et suivantes).

#### *Encadrement de thèses*

Trois thèses ont été soutenues jusqu'à présent<sup>3</sup>. Un ou deux démarrages sont prévus pour début 2012.

- Encadrant à 90% de la thèse de Ludovic-Alexandre Vidal

Thèse soutenue le 18 décembre 2009, réalisée sous la direction de Jean-Claude Bocquet (détails page 143).

« **Thinking project management in the age of complexity : particular implications on project risk management** »

Mots clés : *Projet ; Management de Projet ; Complexité ; Risque ; Aide à la décision ; Analyse systémique ; AHP ; Vulnérabilité ; Partitionnement de graphe.*

- Encadrant à 80% de la thèse de Nydia Gonzalez

Thèse soutenue le 03 décembre 2009, sous la direction de Jean-Claude Bocquet et en collaboration avec l'entreprise **PSA Peugeot-Citroën** (détails page 142).

« **Amélioration des processus de développement des projets à travers la mesure et l'exploitation de la maturité : application à l'industrie automobile.** »

Mots clés : *Projet ; Pilotage ; Maturité ; Evaluation ; Progrès continu.*

- Encadrement à 90% de la thèse de Chao Fang

Thèse soutenue le 02 décembre 2011, réalisée dans le cadre d'un partenariat CSC (Chinese Scholarship Council), sous la direction de Jean-Claude Bocquet.

« **Modélisation et simulation des interdépendances entre risques dans les projets complexes** ».

- Encadrement à 40% de la thèse de Sanja Jovicic

Thèse réalisée en co-tutelle avec l'Université de Belgrade, sous la direction de Jean-Claude Bocquet et en co-encadrement avec Marija Jankovic et Ludovic-Alexandre Vidal. Soutenance prévue courant 2013.

« **Mesure des risques et vulnérabilités dans les projets** »

#### *Encadrement de stages de Master Recherche*

- Gestion des interactions dans les projets - application à l'automobile : Mounir Ben Zineb (2002)
- Formalisation et quantification de processus de gestion des interactions: Akram Aïssa (2004)
- Amélioration du processus de pilotage de projets chez Peugeot-Citroën: Nydia Gonzalez (2005)
- Management de portefeuilles de projets : Ines Azzabi (2007)
- Structuration d'un réseau pour le lancement de projets innovants: Riane Rianantsoa (2007)
- Project Risk Management with network aspects : Nicolas Tourot (2008)
- Analysis of interactions between decisions in the development of complex solutions : Sebastian Lederer (2010)
- Analyse des propagations dans les projets de développement automobile : Antoine Sévely (2011)
- Analyse et mesure de la complexité d'organisations temporaires et permanentes : Sergio Alonso (2011)

### Contribution à des contrats de recherche

Plusieurs projets ont fait l'objet d'une application concrète, qu'elle soit financée ou non par le client. Par exemple, j'ai contribué à passer trois contrats dont une thèse avec l'entreprise **PSA Peugeot-Citroën** entre 2002 et 2009 et suis en train de recruter pour une CIFRE convenue avec **Renault**. A contrario, d'autres applications ont été réalisées sans cadre contractuel financier, comme **Alstom Transport** par exemple.

---

<sup>3</sup> La thèse de Chao FANG a été soutenue le vendredi 02 décembre 2011.

## Rayonnement

### *En termes d'organisation d'évènements*

- Co-organisateur du colloque **AIP PRIMECA-GDR MACS** (120 participants) en septembre 2006 à Paris avec Bernard Yannou.
- Membre du comité scientifique et du comité d'organisation de la conférence **ICED'07** (600 participants) en août 2007 à Paris, sous la direction de Jean-Claude Bocquet.
- Membre du comité scientifique de la conférence **ICED'11** en août 2011 à Copenhague.
- Membre du comité scientifique de la conférence **LambdaMu'18** en octobre 2012 à Tours.
- Membre du comité scientifique de la conférence **PSAM11 & ESREL'12** en juin 2012 à Helsinki.
- Membre du comité scientifique de la conférence **DESIGN'12** en mai 2012 à Dubrovnik.

### *En termes de participation à des comités de relecture de revues*

- JED (Journal of Engineering Design, Pr Alex Duffy),
- JMD (Journal of Mechanical Design, Pr Panos Papalambros)
- EJOR (European Journal of Operational Research, Pr Lorenzo Peccati)
- Risk Analysis (American Society for Risk Analysis)
- RESS (Reliability Engineering & System Safety, Pr Carlos Soares)
- CAIE (Computers And Industrial Engineering, Pr Mohammed Dessouky),
- IJPM (International Journal of Project Management, Pr Rodney Turner),
- IJPOM (International Journal of Project and Organization Management, Pr John Wang),
- ADVEI (Advanced Engineering Informatics, Pr Tetsuo Tomiyama)
- et pour les conférences ASME/DETC, DSM, ICED, ESREL et prochainement LambdaMu.

### *En termes de rédaction d'ouvrages*

- Co-auteur de l'ouvrage « Management des risques des entreprises et de gestion de projet », piloté par Alain Desroches et publié à l'automne 2010 chez Hermès-Lavoisier.
- Co-auteur du chapitre « Management multi-projets » (avec Thierry Gidel, UTC) inclus dans un ouvrage paru en mars 2008 chez Hermès « Management des hommes, des projets et des informations », qui est le volume 1 d'une série de trois tomes sur « La conception industrielle de produits ».

### *En termes de récompenses*

Prix Lambdamu d'or de la meilleure communication interactive (**Lambdamu** 2010), prix du « best student paper » au congrès Project Management Institute Research (**PMI** 2008), prix du meilleur papier au congrès de Génie Industriel à Montréal (**CIGI** 2009), les trois avec Ludovic-Alexandre Vidal.

### 1.2.2. En tant que responsable

On m'a progressivement confié plusieurs responsabilités en lien avec les activités de recherche (axe), d'enseignement (formation initiale), d'enseignement-recherche (master recherche) et d'enseignement-développement (Mastère Spécialisé et formation continue). Les points-clés de ces activités de gestion sont présentés ici. Elles ont pour point commun d'apporter de l'expérience et de faire progresser dans des domaines différents du travail d'enseignant-chercheur.

#### Présentation synthétique de l'axe de recherche autour du management de projet

Je suis fondateur et animateur depuis décembre 2006 d'une jeune équipe de recherche en management de projets (une des cinq équipes de recherche du Laboratoire Génie Industriel, parmi lesquels 2 thèmes fondateurs et 3 jeunes équipes)<sup>4</sup>. Cette équipe s'est faite autour d'une volonté commune de plusieurs personnes de formaliser officiellement des recherches dont la thématique n'était pas suffisamment représentée dans le thème « Conception ». En effet, certains travaux étaient certes appliqués à des projets de conception, mais avec des problématiques de recherche portant d'avantage sur l'équilibrage des contraintes projet coût-délai-qualité (coût au sens coût du projet et non pas coût du produit). De plus, d'autres travaux ne portaient clairement pas sur des problématiques en rapport avec la conception, que ce soit parce qu'il s'agissait de considérer plusieurs projets ou parce qu'il s'agissait d'autres types de projets (construction par exemple).

Au départ, on a plutôt échangé sur des idées, des grands domaines, et progressivement on devient plus précis et plus concret. Il y avait deux fois par an des réunions collectives, dont une servait de « bourse aux projets », où chacun présentait ses idées et les autres pouvaient rebondir et se déclarer intéressés pour déclencher des collaborations, et l'autre servait de bilan aux projets lancés six mois avant ou encore plus tôt. En termes de résultats, la Figure 4 ci-dessous présente ce qui a été délivré entre les deux conseils scientifiques de juin 2008 et juin 2010.



Figure 4 : Synthèse des résultats collectifs obtenus entre juin 2008 et juin 2010

La structuration des thématiques de l'axe lors de la présentation au Conseil Scientifique de juin 2010 est présentée dans la Figure 5 ci-dessous. Les problématiques des membres de l'équipe se sont progressivement recentrées, ce qui est un résultat positif d'après moi. Il est normal que cela prenne du temps, mais c'est un signe de bonne santé pour le collectif que les membres de l'équipe se rapprochent progressivement les uns des autres. Autre exemple en Figure 6, le Courrier de la Recherche en Management de Projets qui a été écrit à un rythme trimestriel pendant trois ans et demi et 11 numéros, avec l'aide précieuse d'Angela Minzoni-Déroche et la participation ponctuelle ou récurrente d'acteurs du laboratoire et de l'extérieur, comme Jean-Claude Bocquet, Julie Le Cardinal, Aude Schindler, Marinita Schumacher, Ludovic-Alexandre Vidal et Jean-Louis Giordano.

<sup>4</sup> Il a été décidé en septembre 2011 de transformer l'axe en un thème plus large, incluant de nouvelles personnes récemment arrivées au laboratoire, portant sur les notions de management des risques dans les systèmes complexes.

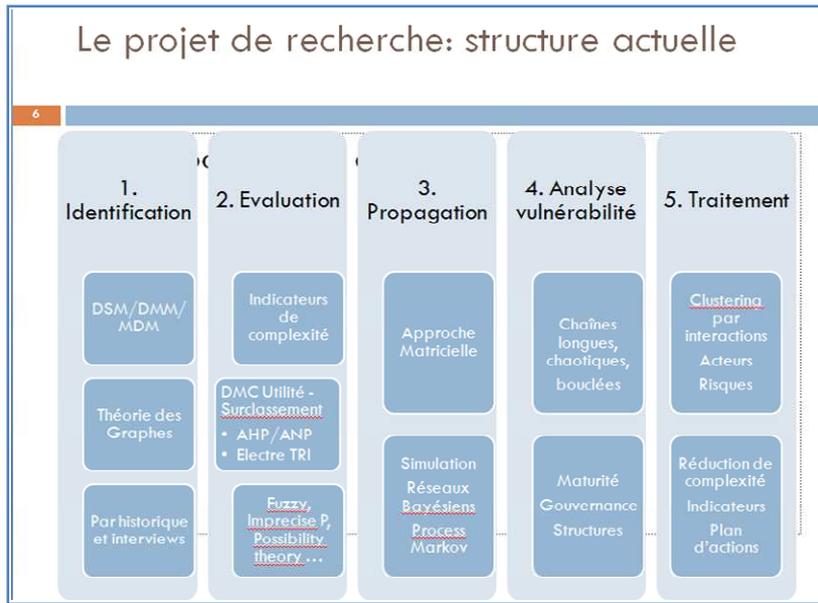


Figure 5 : Structuration de l'axe présentée lors du Conseil Scientifique de juin 2010

Figure 6: Extrait d'un des 11 numéros du Courrier de la Recherche en Management de Projets

Finalement, la Figure 7 résume l'état d'esprit dans lequel cette équipe a été animée, à savoir partir d'une orientation la plus ciblée et cohérente possible, maximiser les échanges au sein de 4 GTR (Groupes de Travail et de Réflexion) afin de déclencher des idées et des collaborations concrètes, tout ceci dans le but de faciliter la production scientifique via des projets collaboratifs.

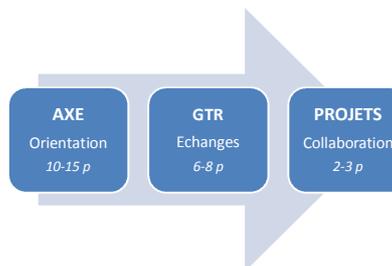


Figure 7: Grands principes de fonctionnement collaboratif de l'Axe

## Responsable d'un programme de Mastère Spécialisé depuis 2006

Après avoir été adjoint pendant un an du Mastère Spécialisé Génie des Systèmes Industriels, on m'a proposé en 2006 de remplacer la responsable sur le départ. Le staff a donc été renouvelé à cette époque, avec Zied Jemai comme adjoint et Corinne Ollivier comme assistante administrative. Il a été rebaptisé en 2008 Mastère Spécialisé Management Industriel, Projets et Supply Chain. Il comprend environ 20 étudiants par an, qui bénéficient de trois apports en faisant ce diplôme post-bac + 5 : compléter leur palette de compétences sur l'ensemble du cycle de vie industriel depuis l'innovation jusqu'à la livraison client ; bénéficier de l'environnement de l'Ecole Centrale Paris avec des intervenants de haut niveau, dont la moitié de praticiens extérieurs ; évoluer dans une promotion multi-culturelle, que ce soit au niveau des diplômés ou des nationalités d'origine.

Il comprend trois grandes parties qui sont détaillées dans la Figure 8 ci-dessous : 1) Management de Projets ; 2) Management de la Supply Chain ; 3) Description de l'Entreprise au sein de laquelle se déroulent les projets et les opérations de supply chain. En bas à gauche de la figure se trouve le développement durable qui est de plus en plus diffusé à travers le programme et notamment les projets en équipe soumis à aux étudiants. Enfin, à droite se trouvent les clients, à la fois les étudiants qui sont clients du MS et qui peuvent s'orienter vers trois grands débouchés mais également les clients des entreprises dans lesquelles ils vont aller. Comme pour le Développement Durable, cette orientation Client transpire tout au long du programme et de la tonalité des modules, c'est pour cela qu'elle apparaît dans le schéma.

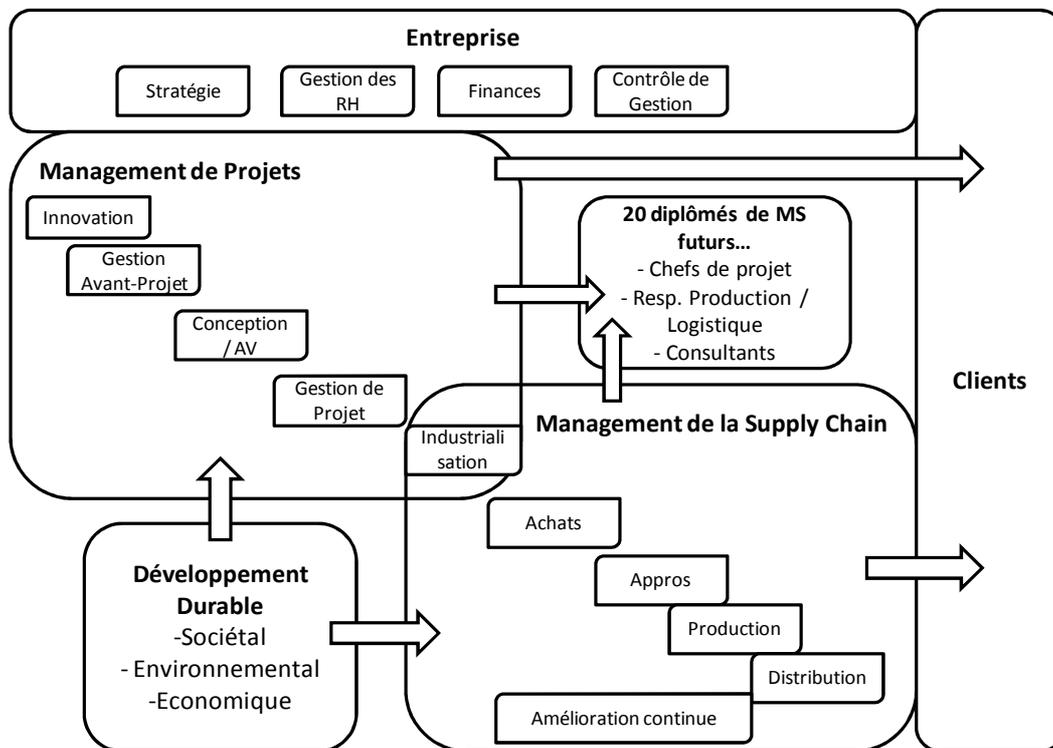


Figure 8: Aperçu global du programme du MS qui contribue à la performance industrielle des entreprises

Il a été récompensé par le classement SMBG-Eduniversal où il est 1<sup>er</sup> de sa catégorie pour la 4<sup>e</sup> année consécutive (sur 9 programmes en moyenne), avec la note maximale de 4 étoiles. Le classement est basé sur 3 critères, notés sur 5, qui sont la notoriété du programme auprès des entreprises, les débouchés à la sortie (en particulier les salaires) et enfin le retour de satisfaction des étudiants. Ce dernier critère fait l'objet d'un autre classement, qui s'appelle « Trophées de la Pédagogie » et qui récompense les 100 meilleurs programmes (sur un total de 900 environ). Le MS MIPSC a décroché le Trophée de la Pédagogie en 2008 et en 2011. Pour plus d'infos, voir <http://www.gsi.ms.ecp.fr/fr>

## Responsabilités de modules de formation

- Le cours donné en Master Recherche et Option Génie Industriel : il s'agit d'un cours avancé de 24 heures donné une fois par an à une douzaine d'étudiants.
- Le cours donné en 2<sup>e</sup> année de Tronc Commun à la promo complète d'élèves ingénieurs : il s'agit d'un cours basique de 15 heures donné une fois par an à environ 500 étudiants.
- Les cours donnés à des Mastères Spécialisés de l'Ecole : il s'agit de cours basiques de 15 h environ, mais avec une demande plus professionnelle, à mi-chemin entre la formation initiale et la formation continue. Les promotions sont entre une douzaine et une vingtaine d'étudiants selon les MS et selon les années.
- Les cours donnés en Formation Continue à l'Ecole : il s'agit de stages inter-entreprises d'une durée comprise entre 1 et 3 jours et qui s'adressent à des publics entre 5 et 10 participants. On peut citer le stage « Risques Projets » (3 jours avec Alain Desroches), le stage « Pilotage de projets » (2 jours avec Frédéric Laforce) et le stage « Gestion de portefeuilles de projets » (2 jours avec Pierre Bonora).
- Les cours donnés en MBA à l'extérieur de l'Ecole : il s'agit comme pour les MS de cours mixtes, avec des étudiants jeunes diplômés et d'autres expérimentés. Les cours sont basiques, durent environ 36 heures et les populations varient entre 25 et 50 étudiants.

Les deux premiers sont détaillés ci-dessous.

### *Cours Master Recherche-Option Génie Industriel*

Le cours existe depuis 2003 (entre 10 et 20 étudiants). Il a été profondément refondu depuis 2009 autour des thématiques de recherche de l'axe (voir Figure 9). Il comprend également des étudiants de l'option de 3<sup>e</sup> année Génie Industriel qui font ou pas le Master en parallèle. C'est vraiment l'occasion de diffuser les résultats de recherche dans un enseignement avancé. Le but est donc de leur apporter des techniques et outils récents et plus pointus que ce qu'on trouve dans la majorité des organisations. A la sortie, ils savent donc à la fois les limites des techniques actuelles qu'ils rencontreront probablement dans leur emploi futur, mais ils peuvent également manipuler d'autres techniques qui vont plus loin et permettent de lever certaines des limites précédentes. La figure ci-dessous illustre le plan du cours, qui est réalisé avec la collaboration de Ludovic-Alexandre Vidal et Georges Labet (à l'époque chez **Cap Gemini Consulting**).

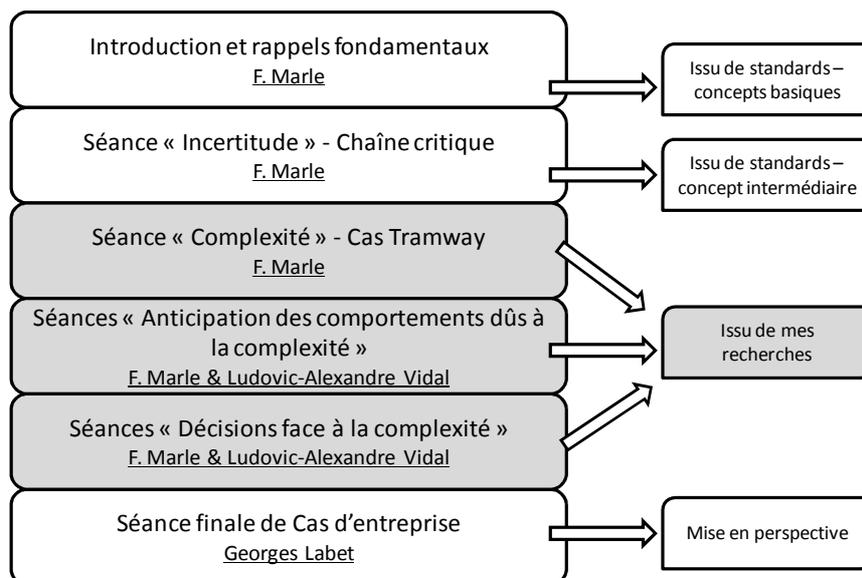


Figure 9: Lien entre le programme du cours Master Recherche et le contenu des activités de recherche

*Cours Tronc Commun 2<sup>e</sup> année ECP*

Le cours a été initié fin 2006 lors de la réforme pédagogique Ariane et mis en place pour la première fois en septembre 2008. Il comprend un total de 15h de présentiel pour les élèves avec, outre des amphis, une journée de simulation de projet à mener en demi-promos (avec l'aide de Ludovic-Alexandre Vidal, Marija Jankovic, Monique Gareau de Harmonis, Jean-Alain Moreau et Pierre Bonora de M7), ainsi qu'un contrôle le plus factuel et le plus objectif possible (Figure 10).



**Figure 10:** Déroulement du cours de Tronc Commun à la promo complète Ecole Centrale Paris

1.2.3. En tant qu'enseignant

**Interventions à l'ECP**

La Figure 11 donne des informations synthétiques sur le positionnement dans le temps et le volume des principales interventions (les volumes indiqués correspondent à la déclaration de charge qui cumule le volume d'intervention et un volume équivalent TD de responsabilité, d'animation ou d'encadrement). Les encadrements de projets et de stages ne sont pas détaillés, le total est de 25 projets de 2e année, 10 projets de 3e année option Génie Industriel, 18 stages de fin d'études Option Génie Industriel et 32 stages de fin d'études Mastère Spécialisé Management Industriel, Projets et Supply Chain depuis 1999.

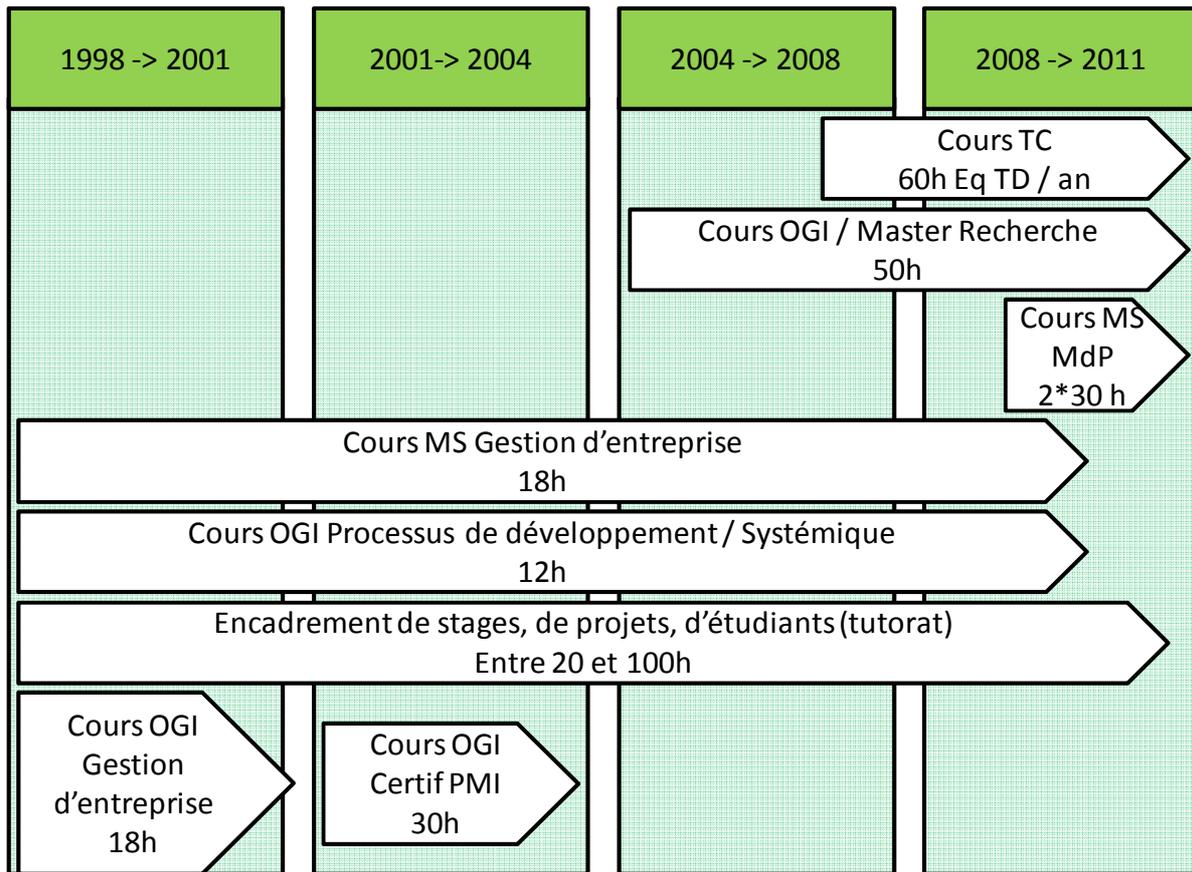


Figure 11 : Macro-planning des principaux enseignements réalisés depuis 1998

### Interventions non régulières ou à l'extérieur

Centrale Paris Executive Education depuis 2000, plus régulièrement depuis 2006.

Il y a quelques années, le Mastère Spécialisé (à l'époque Génie des Systèmes Industriels) était délocalisé en Serbie et en Tunisie. Cela a été l'occasion de mener des modules de 30h à plusieurs reprises dans un contexte culturel différent.

A l'extérieur : Institut Supérieur du Commerce (MBA et 3<sup>e</sup> année dans le domaine du Management Opérationnel de la Performance Durable), UTC, Supelec, ENSIA, CNAM, ITII Bourgogne.

### Autres activités en rapport avec le métier d'enseignant

Participation à des cellules, comités, conseils variés, dont le Conseil de la Formation, la cellule de coordination des projets étudiants et le Collège du Conseil du Corps Enseignant.

Examineur au concours d'entrée Centrale-Supélec : épreuve orale de mécanique (2001-2004).

Certifié PMP® du Project Management Institute depuis 2003.

### 1.3. SYNTHÈSE DE MES ACTIVITÉS, DE LEUR COHÉRENCE ET DE LEUR IMPACT EN TERMES DE RÉSULTATS

La Figure 12 ci-dessous illustre la diffusion des trois blocs de recherche (dans les concepts avancés du management de projet, en gris) auprès des différentes activités et donc parties prenantes avec qui je suis en contact.

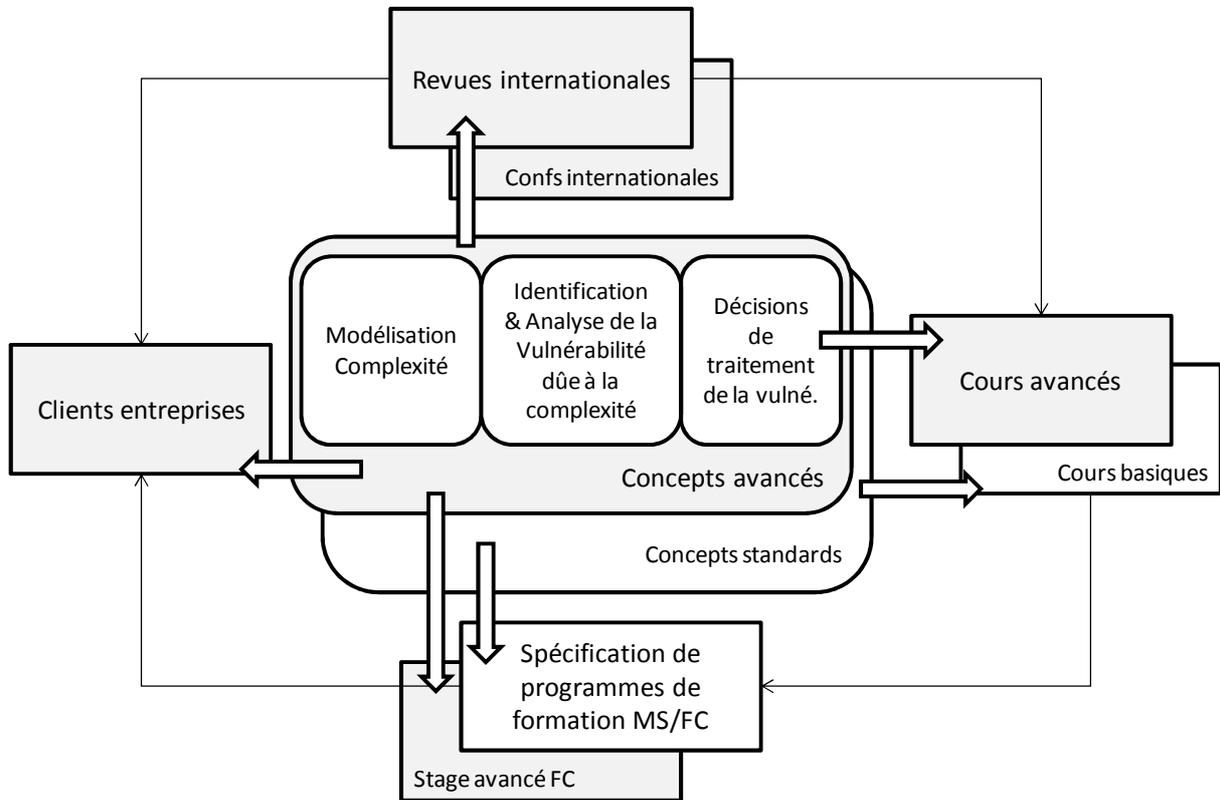


Figure 12: Diffusion des résultats de recherche dans l'ensemble des activités menées

#### L'exemple emblématique de ces synergies: le projet Tramway

Il a été initié sur un contact personnel avec Georges Labet (à l'époque chez **CapGemini Consulting**) et Guy-Jacques Barlet (à l'époque chez **Alstom Transport**). Il a permis de fournir une application industrielle aux thèses de Ludovic-Alexandre Vidal et Chao Fang. Il a donc également permis de fournir un cas d'application à plusieurs articles dans des conférences et revues internationales, dont un article synthétisant le processus global (sauf les morceaux non appliqués à ce projet, mais  $\frac{3}{4}$  des domaines sont couverts). Il a donné lieu à une satisfaction de l'industriel, qui a eu des retombées post-projet, puisque d'autres entreprises se sont déclarées intéressées pour travailler avec nous (**British Petroleum, Air Liquide, Chantiers Navals de l'Atlantique**), dont une qui concrètement a déclenché un stage avec potentiellement une thèse derrière, **Renault**. Il a été inséré dans le programme du MS, via la création d'un module « Gestion de l'Avant-Projet » avec le contact en question. Il a enfin été inséré dans le contenu de certaines séances de cours, car il permet notamment de se rendre compte sur un exemple concret de la réalité de la complexité des interactions entre éléments de différentes natures.

### Transition vers le mémoire de recherche

A partir de la photographie de ma situation actuelle, il est possible de tirer trois conclusions :

- Le système complexe considéré est le projet qui permet de créer ou de transformer ce qu'on appelle le résultat du projet. Celui-ci est lui-même un système complexe, ce qui m'a amené progressivement à élargir le champ d'étude à d'autres endroits où la complexité est présente (et faire le lien entre le projet, son environnement et son résultat). La notion de complexité est donc centrale tant en recherche qu'en enseignement.
- Cette complexité génère un certain nombre de phénomènes, positifs ou négatifs, isolés ou enchaînés, locaux ou globaux, qui vont plus ou moins gêner la conduite du projet vers ses objectifs. La notion de risque est donc également très présente, d'avantage en recherche mais de plus en plus en enseignement. La différence est qu'en enseignement, la thématique du risque représente toujours le même pourcentage du cours, mais les concepts adressés sont de plus en plus évolués au cours du temps. La notion de vulnérabilité est plus présente en recherche et moins facilement abordable pour l'instant en cours.
- La présence de la complexité et des risques qui lui sont associés fait qu'il est nécessaire de prendre un certain nombre de décisions, ou d'en tenir compte lorsqu'on prend des décisions, comme l'affectation d'acteur, la budgétisation, la fixation de délais, etc... Il est donc clair que je fais de l'aide à la décision en univers complexe et (donc) risqué, tant en recherche qu'en enseignement, et là encore en enseignement les supports ont progressivement évolué pour le mettre en avant. D'un point de vue chef de projet, gérer un projet consiste essentiellement à prendre des décisions, puis à faire en sorte qu'elles soient appliquées et si possible correctement. Ce dernier point relève plus de notions comme le leadership, la communication, la négociation, le management au sens humain, ce qui n'est pas traité ni en recherche ni en enseignement.

La structure du mémoire est donc articulée autour de ces trois blocs Complexité, Risques-Vulnérabilités et Décision, avec un chapitre introductif (chapitre 2) qui montre les limites des concepts actuels suivi de trois chapitres dédiés respectivement à la modélisation de la complexité du système projet (chapitre 3), à l'analyse des risques et vulnérabilités induits par cette complexité (chapitre 4), puis à l'aide à la décision qu'on peut apporter dans cet univers complexe et (donc) risqué (chapitre 5). Le chapitre 6 présente mon projet scientifique avec les finalités personnelles, scientifiques et applicatives et la description de comment les réaliser.

---

## 2. LES LIMITES DES METHODES ACTUELLES FACE A LA COMPLEXITE DU SYSTEME PROJET

*« Ce qui se conçoit bien s'énonce clairement, et les mots pour le dire viennent aisément (Boileau)... mais pour un système complexe, c'est dur, ça prend du temps et ça ne peut jamais être parfait ! »*

Ce chapitre introduit la notion de complexité et de système complexe et montre en quoi le projet en est un, à la fois dans sa structure, dans son résultat (produit, service, ré-organisation, ouvrage, système d'information, etc...), dans son environnement immédiat (entreprise, client, organismes législatifs et normatifs divers, etc...) et dans l'environnement futur de son résultat (le marché dans lequel va être commercialisé le produit, la chaîne de production et distribution de ce produit, la chaîne de maintenance et de service après-vente, la chaîne de recyclage et/ou destruction, etc...).

Ensuite les conséquences potentielles, positives et négatives, de cette complexité sont présentées. Elles sont essentiellement de créer un décalage entre ce que le décideur (ou système de management plus généralement) croit et ce qui est réellement susceptible d'arriver. Les problématiques de recherche en sont déduites, puis le programme de recherche dont l'HDR est une photographie en cours de route (Figure 13).

Ce chapitre positionne nos travaux de recherche par rapport à l'existant et aux manques conceptuels et méthodologiques de cet existant. Les chapitres suivants permettront d'apporter des éléments de réponse à ces manques et de développer des perspectives de recherches futures par rapport aux manques résiduels (manques initiaux non complètement comblés par nos travaux) ou aux manques secondaires (découverts grâce à nos travaux sur la liste initiale).

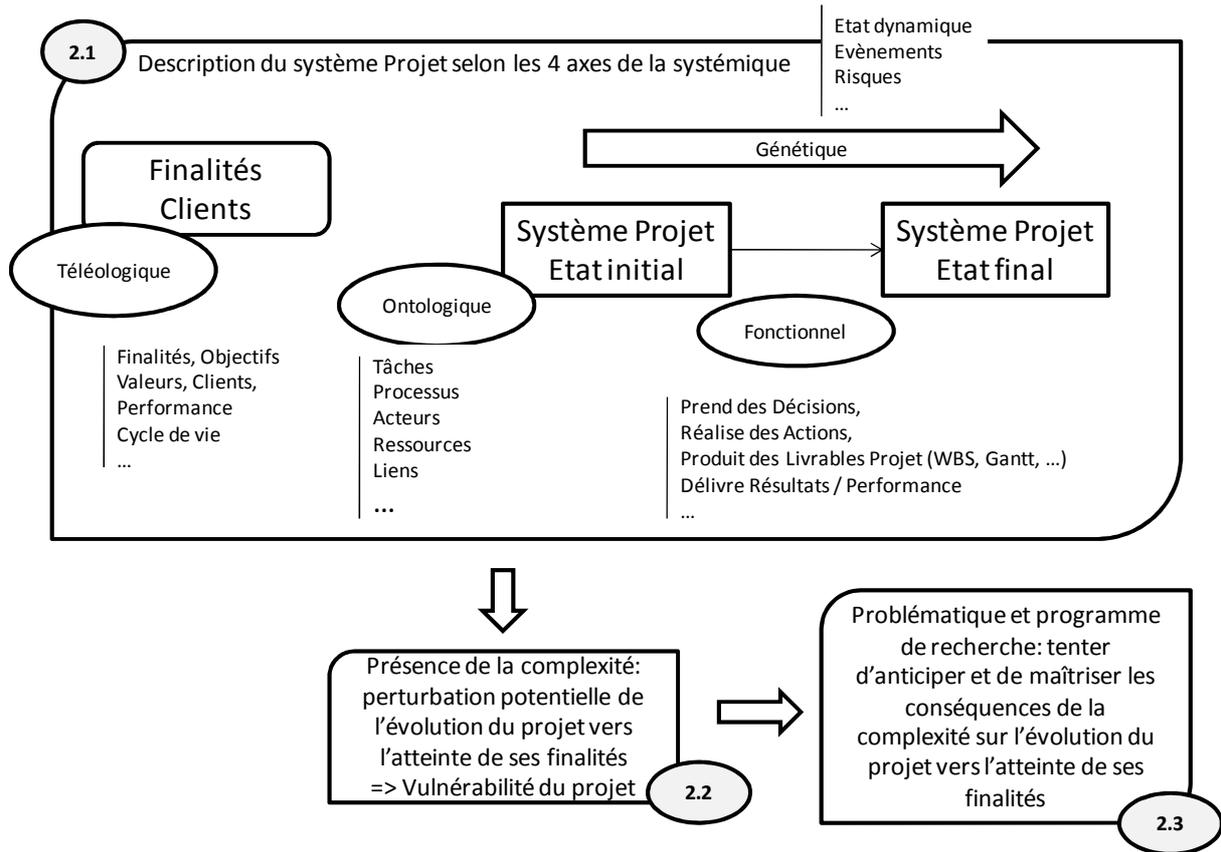


Figure 13 : Depuis la description du système projet jusqu'à mon programme de recherche

## 2.1. LE PROJET EN TANT QUE SYSTEME COMPLEXE

Cette section introduit les termes spécifiques au domaine du management de projet, ainsi que le principe de base qui sous-tend nos actions de recherche, et qui est que le projet évolue par changements d'état successifs, voulus ou subis, en suivant une trajectoire qui l'emmène vers l'atteinte partielle ou totale de ses objectifs.

### 2.1.1. Le projet

L'activité d'une organisation (au sens entreprise, association, organisme public ou à but non lucratif) peut être traditionnellement divisée en opérations et projets. Les opérations impliquent des activités plutôt répétitives et continues, alors que les projets sont par nature des initiatives uniques et temporaires. Comme souligné par Shenhar et Dvir (2007), « la demande élevée de croissance et d'innovation fait que la part des opérations dans la majorité des organisations est en diminution au profit de l'augmentation de la part des activités projet ». Ils expliquent cette tendance par le fait que la transformation des organisations, que ce soient leurs produits, leurs modes de travail ou leur compétitivité, se fait principalement via des projets.

Le projet peut être défini comme suit :

« Une démarche spécifique qui permet de structurer méthodiquement et progressivement une réalité à venir. Un projet est mis en œuvre pour élaborer une réponse au besoin d'un utilisateur, d'un client ou d'une clientèle. Il implique un objectif, des actions à entreprendre avec des ressources définies dans des délais donnés. » (AFNOR 1999).

« Un projet est un effort temporaire entrepris afin de créer un produit ou service unique (PMI 2008). »

Le résultat d'un projet est donc toujours un changement dans l'entreprise, que ce soit dans ses produits/services, ses processus ou son organisation. Cette transformation consiste en un écart entre un état initial et un état final plus intéressant pour l'entreprise. Au moment où le projet est entrepris, l'état final se situe dans le futur, donc avec une incertitude inhérente qui rend le projet risqué par nature. Cela implique également trois caractéristiques que nous détaillons ci-dessous.

**Temporaire.** Tout projet a une fin, déterminée par une date donnée plus ou moins fixée, par une atteinte ou non de ses objectifs, ou par une remise en cause de son intérêt.

**Unique.** Un projet crée des livrables uniques qui peuvent être des produits, des services ou des résultats. Ces livrables sont obtenus par l'exécution d'activités ou de processus supportés par des ressources, avec l'aide de moyens uniques et dans un environnement unique. Il apparaît donc nécessaire d'insister ici sur le caractère globalement unique du projet, et non pas seulement de son résultat, comme le font les définitions classiques.

**En élaboration progressive.** Un projet se déroule par une succession de décisions et d'actions qui vont structurer puis réaliser ce qu'il y a à faire et comment le faire. Il comprend de nombreux aspects dont les plus connus sont le coût, les délais et la qualité, et qui font l'objet de nombreuses décisions. Toutefois, ces étapes ne se déroulent pas dans une séquentialité parfaite, mais avec des itérations et des versions successives qui intègrent de nouvelles informations ou des informations arrivant d'un autre endroit du projet.

### 2.1.2. Le management de projet

L'expansion des projets depuis plusieurs décennies dans des secteurs comme la construction, les développements militaires et spatiaux, l'automobile et l'aéronautique, puis plus récemment dans les services, les télécoms, les banques, etc... a amené des enjeux de plus en plus grands pour les entreprises. Par conséquence, il devenait nécessaire de structurer des méthodologies rigoureuses et fiables pour le management de projet. Il est communément admis que le démarrage du management de projet moderne se situe autour de la deuxième guerre mondiale, avec l'organisation de grandes opérations militaires suivies par le développement de grands projets militaro-spatiaux et de construction dans les années 50-60. Il est évident que les projets existent depuis bien plus longtemps, simplement les méthodologies n'ont pas laissé suffisamment de traces formalisées.

Le management de projet a été classiquement introduit dans les entreprises avec le but d'améliorer la compétitivité de l'entreprise par une gestion et une intégration plus grandes de ses ressources organisationnelles. Ceci permet à l'entreprise de réaliser sa stratégie par le biais de projets et de rationaliser sa performance, ses coûts et l'utilisation ou la progression de ses ressources par le biais d'autres projets. Pour autant, le management de projet, ou multi-projets ou par projets, sont tous des modes qui génèrent des risques tout en en réduisant d'autres. L'intérêt se trouve lorsque la balance est favorable. Il est donc nécessaire d'étudier les risques auxquels le projet doit faire face et mettre en place des concepts, outils et méthodes permettant de les gérer tout en restant dans un mode de management, d'action et de décision, qui soit compatible avec les exigences du projet (temps et effort de mise en œuvre d'une méthode, difficulté à capter des données exploitables, difficulté à communiquer de façon abordable les résultats de la méthode, etc...).

### 2.1.3. Le système Projet

La théorie des systèmes a été introduite puis étendue à l'entreprise depuis quelques dizaines d'années par divers auteurs comme Wiener (1948), Boulding (1956), Simon (1981), Forrester (1968), von Bertalanffy (1972) ou encore Le Moigne (1990) et Penalva (1997). Nos travaux se fondent initialement sur les principes de l'approche systémique tels que développés par Le Moigne qui donne la définition suivante :

« un système est quelque chose qui poursuit des finalités, dans un environnement actif et évolutif, en exerçant une activité, en s'organisant et en évoluant sans perdre son identité » (Le Moigne 1990).

Un projet poursuit quant à lui des objectifs, dans un environnement actif et un contexte évolutif, en exerçant des activités et en s'organisant autour d'acteurs, le tout évoluant dans le temps sans perdre son identité : un projet est donc un système selon le paradigme systémique. Le comportement d'un projet est difficile à prévoir, à maîtriser et à comprendre à chaque instant, la réalité de la perception étant par essence incertaine, inachevée et incomplète. Un projet apparaît alors être un système complexe, ce qui nous incite à nous concentrer par ailleurs sur la notion de complexité projet. Nous utilisons l'approche systémique pour décrire plus finement le système complexe projet, qui est donc décomposé en :

- Un pôle téléologique : les différents objectifs en termes de création de valeurs dûs aux attentes et contraintes des clients, internes et externes, de l'environnement et plus généralement des parties prenantes.
- Un pôle ontologique : l'identification des éléments requis pour atteindre ces finalités, comme les tâches et processus, les acteurs et ressources matérielles et autres données d'entrée.
- Un pôle fonctionnel : pour décrire ce que le système fait, essentiellement de prendre des décisions et d'appliquer ces décisions sous forme d'actions qui vont délivrer le résultat attendu et la performance attendue.
- Un pôle génétique : pour traduire l'évolution dans le temps du projet, notamment par les notions d'avancement, de phases et plus généralement de changements d'état.

Ce découpage est détaillé dans les quatre paragraphes suivants.

### 2.1.4. Vue téléologique : quelles sont les finalités du projet

Les objectifs du projet sont d'atteindre des ambitions et de respecter des contraintes sur des valeurs de natures différentes, formulées par les clients et autres parties prenantes (voir Figure 14). La notion d'objectif amène la notion de *qui* va juger *quand* et *comment* de l'atteinte de cet objectif suivant une mesure, le *combien*.

**Clients du système résultant.** Consommation de carburant, prix de vente et donc coût (produit), prix d'entretien, rejet de CO<sub>2</sub>, confort acoustique en roulant, sécurité active/passive, sécurité anti-vol, etc...

**Clients de la performance projet.** Coût (projet), délai, nombre d'accidents sur le chantier...

**Parties prenantes sur le Cycle de vie post-projet.** Dans le cas d'un projet de développement, on intègre dans le projet les éléments de la vie future du produit dans ses phases de fabrication, de transport, de vente, d'utilisation, de maintenance et de recyclage (qui se dérouleront donc après la fin du projet). Dans le cadre d'un projet de construction, on intègre de plus en plus souvent dans le contrat initial l'exploitation et la maintenance future de l'ouvrage (bâtiment, pont, etc...), voire son démantèlement.

D'autres paramètres peuvent être pris en compte, comme la mobilisation de tel ou tel outil, référentiel, norme ou méthode en relation avec les Systèmes Supports. On peut citer encore la relation avec les organisations extérieures, qui se traduit par un transfert partiel des finalités du projet vers ces sous-traitants / fournisseurs / prestataires (Figure 14). Se pose donc la question de l'exhaustivité de l'identification des finalités d'un projet. Il peut donc y avoir des finalités de degré 1 (maître d'œuvre), de degré 2 (maîtrise d'ouvrage) et de degré 3 (destinataires ou utilisateurs de l'ouvrage) qui se combinent dans un projet. Des cas particuliers sont à considérer, quand le maître d'ouvrage est lui-même maître d'œuvre, ou quand le maître d'ouvrage est lui-même le bénéficiaire du système résultant.

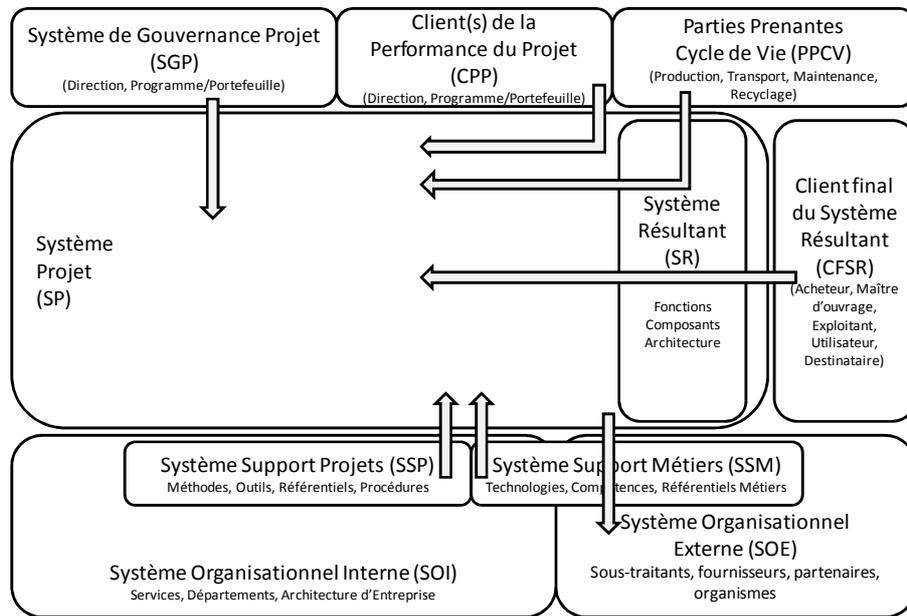


Figure 14 : Vue téléologique des finalités du système projet

On peut avoir un objectif qui consiste à atteindre une nouvelle valeur sur un paramètre donné, ce changement étant plus ou moins incrémental ou radical, ou bien un objectif qui consiste à obtenir quelque chose qu'on n'a pas pour l'instant (oui/non, valeur binaire), ou bien encore qui consiste à maintenir une valeur, sous-entendu de ne pas la dégrader pendant qu'on en améliore d'autres ou malgré un changement dans le contexte (légal, normatif, concurrentiel, ...). Ces paramètres sont donc plus ou moins corrélés (un coût et une rentabilité par exemple), en général négativement (faire plus vite coûte en général plus cher, faire plus de qualité prend en général plus de temps, ...), parfois positivement (alléger le produit diminue sa consommation d'énergie, son rejet de CO<sub>2</sub>, les équipements de sécurité, son prix de revient, etc...).

Il y a toujours une part de nouveauté dans un projet, et souvent dans la définition de ses objectifs. Même à objectifs constants, il y a toujours quelque chose de nouveau dans les processus et organisations conduisant le projet ou dans son contexte environnant. La question est donc toujours d'arriver quand on fixe des objectifs à anticiper la part de routine, la part de nouveauté (mais qui reste dans notre savoir-faire) et celle qui nécessitera une vraie innovation. Le problème de cette croissance dans les ambitions, les contraintes et donc les pressions qui s'exercent sur le projet, s'accompagne du problème de la corrélation entre ces objectifs, qui amènent parfois à rendre les choses impossibles parce que plusieurs « petites » modifications sont demandées. Chacune d'entre elles prise individuellement est faisable, c'est la combinaison qui devient trop ambitieuse. Se pose donc la question de la cohérence ou contradiction des finalités, qui s'accompagne du caractère réaliste et ambitieux de l'ensemble des objectifs. L'équilibre entre tous ces paramètres est bien sûr très délicat à obtenir et très sensible. Quand l'un des objectifs doit changer en cours de route pour telle ou telle bonne raison, il est possible de rentrer alors dans une zone d'infaisabilité sans s'en rendre compte.

Trois grands types de projets sont distingués ici, et ils vont tous être abordés au fur et à mesure des chapitres.

**Les projets de type développement.** Ils aboutissent à la commercialisation d'un produit ou d'un service (le Système Résultant). Ce SR passe par un cycle de vie commençant par la fabrication et la distribution (supply chain) avant d'être acheté par le consommateur final (le Client Final du SR). Il est ensuite maintenu ou recyclé, soit par le CFSR, soit par l'entreprise qui a mené le projet (SAV, service de recyclage), soit par une autre entité. Ces projets font l'objet d'un contrôle budgétaire et d'une anticipation des ventes futures pour prévoir la rentabilité finale du produit (bien après la fin du projet).



**Les projets de type ingénierie.** Ils aboutissent à la facturation d'un contrat passé avant le démarrage du projet. Le SR est un ouvrage (pont, usine, bâtiment, hôpital, système de transport urbain, ...) ou autre système (Système d'Information sur mesure par exemple) faisant en général l'objet d'une commande spécifique avec appel d'offres et sélection dans une phase avant-projet. Il arrive que l'entreprise qui mène le projet de livraison de ce SR cherche également à décrocher le contrat concernant la phase Opérations & Maintenance, sous forme d'une concession (contrats d'une vingtaine d'années). Ces projets font l'objet d'un contrôle de rentabilité car les recettes sont estimables (date et montant) de façon plus fiable que lors d'une commercialisation.



**Les projets de type transformation interne.** Ils aboutissent à l'amélioration d'une partie de l'entreprise, que ce soit par la modification de ses processus ou de son organisation par exemple. La rentabilité d'un tel projet est souvent plus difficile à établir, mais en général il n'est pas lancé pour des raisons uniquement financières, il peut donc contribuer à d'autres objectifs de l'entreprise. Le SR est par exemple une partie de l'organisation de l'entreprise, comme son département R&D ou sa supply chain. Tous les clients peuvent donc être éventuellement internes, sauf d'éventuels prestataires type système d'information ou consultants en conduite du changement.



L'intérêt de travailler sur des projets de natures différentes est de pouvoir dégager des invariants ou au contraire des spécificités qui permettent de savoir avec quel degré d'adaptation telle ou telle méthode peut s'appliquer dans tel ou tel contexte.

### 2.1.5. Vue ontologique : de quoi est constitué et environné le projet

Le système projet peut être décomposé en sous-systèmes (Le Moigne 1990) :

- Système de Management : appelé aussi système décisionnel ou système de pilotage, regroupe les ressources décisionnelles et les responsables qui font faire le travail.
- Système d'Information : ce système est responsable de regrouper l'ensemble des informations disponibles relatives au projet et à son passé. Il transmet l'information au système d'activités sur ce qu'il y a à faire et il renseigne le système de management afin de faciliter son travail de décision.
- Système d'Activités: aussi appelé système opérant, il regroupe les ressources opérationnelles exécutantes qui font le travail et remontent des résultats ou des problèmes ou des risques.

Le Système de Management de Projet (SMP) est là pour :

- Définir et maintenir les objectifs du projet au cours du temps,
- Prendre les décisions relatives à la mise en place des moyens permettant l'atteinte de ces objectifs,
- Mesurer et analyser la situation à un instant donné du projet,
- Communiquer régulièrement avec les différentes parties prenantes,
- Garantir la cohérence avec la stratégie de l'entreprise.

Le Système d'Activités du Projet (SAP) est là pour :

- Délivrer le Système Résultant qui correspond aux attentes des clients, y compris les valeurs immatérielles et non immédiates,
- De façon plus générale, générer les valeurs attendues par l'organisation et le système de management du projet, c'est-à-dire les performances du projet,
- Délivrer régulièrement des rapports et compte-rendus pour permettre au système de management de piloter le projet au regard des résultats fournis comparés aux objectifs planifiés.

Les deux sous-systèmes sont étroitement reliés par la circulation d'informations et de décisions via le Système d'Information du Projet (SIP) et interdépendants de par la nature de leurs activités (les données d'entrée de l'un sont souvent les données de sortie de l'autre et réciproquement).

Pour réaliser les finalités décrites précédemment, le projet se compose d'un certain nombre de tâches (ou d'activités, un processus pouvant être décrit comme un ensemble cohérent d'activités) et de ressources de multiples natures (humaines, matérielles, immatérielles, financières). On parle alors du Système des Processus Projet (SPP) et du Système Organisationnel Projet (SOP), comment les ressources sont affectées et amenées à travailler ensemble par un mode organisationnel défini.

La Figure 15 montre également les différentes organisations impliquées dans le projet, que ce soit en tant que demandeur d'un certain nombre de finalités et/ou pourvoyeur d'un certain nombre de ressources humaines, compétences, technologies, référentiels, méthodes, outils, ressources matérielles, matières premières, ou livrables intermédiaires.

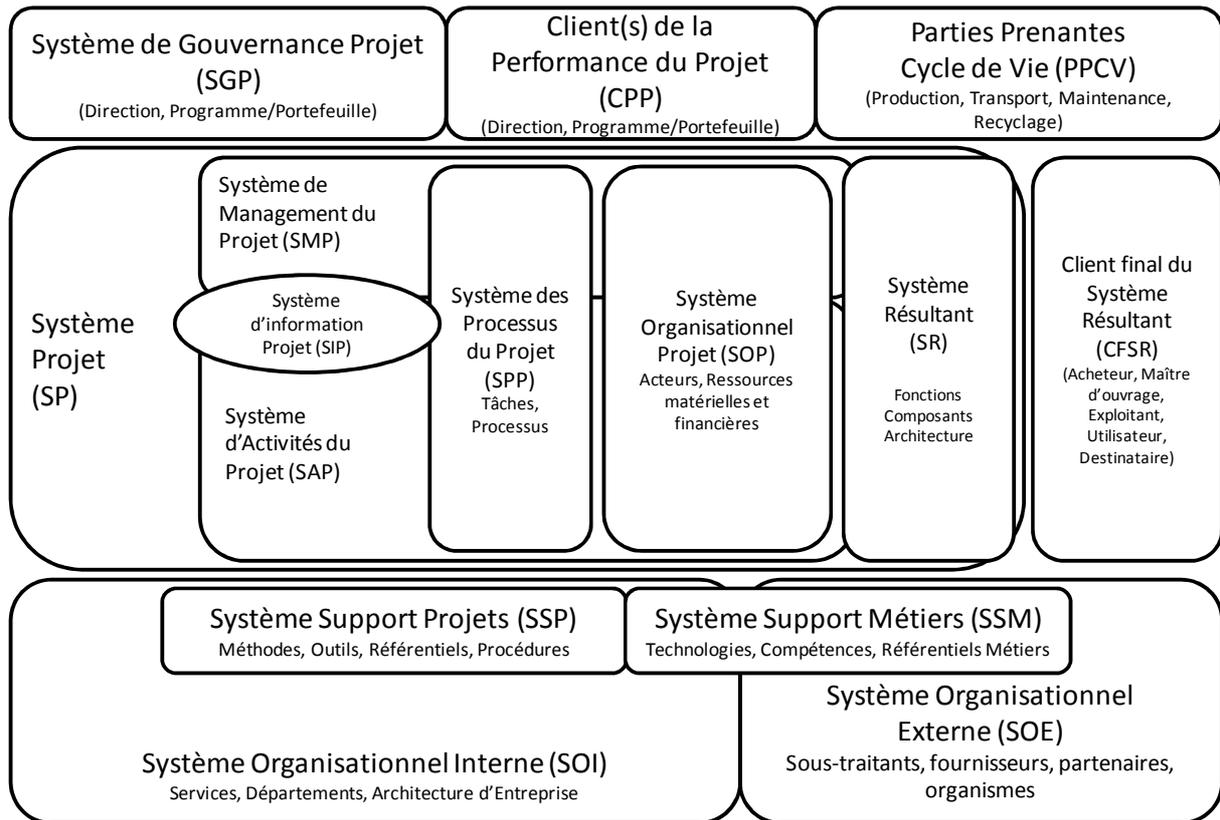


Figure 15 : Vue ontologique du système projet avec identification de l'ensemble des parties prenantes

Quatre entités différentes sont donc distinguées. Elles correspondent aux deux vues Processus et Organisation des deux niveaux Management et Activités (Figure 15) :

- Les acteurs responsables qui prennent les décisions ( $SMP|_{SOP}$ ),
- Les processus de décision, comprenant des tâches dites de management, des livrables projet et des données d'entrée spécifiques ( $SMP|_{SPP}$ ),
- Les acteurs de réalisation, qui exécutent les tâches planifiées et permettent de délivrer les résultats attendus, via l'élaboration progressive du Système Résultant avec un certain niveau de performance, pour ce système et pour le projet ( $SAP|_{SOP}$ ). Ils peuvent prendre des décisions dites opérationnelles ou d'exécution, qui concernent la réalisation de leur périmètre sans en sortir.
- Les processus de réalisation, qui décrivent les tâches à faire, l'enchaînement de ces tâches, les données d'entrée et méthodes ou référentiels utilisés ( $SAP|_{SPP}$ ).

Tout au long du cycle de vie du projet sont mobilisées différentes compétences techniques et managériales (les compétences techniques se découpant en compétences dépendant du contenu du projet et d'autres plus génériques, comme planification, gestion des risques, estimation financière, etc..). Ces compétences font appel à différents domaines de connaissance, recensés ci-dessous dans l'exemple du standard PMBOK (Project Management Body Of Knowledge) ci-dessous (PMI 2008): coût, délai, qualité, contenu, ressources humaines, communications, risques, achats et approvisionnements, intégration (des 8 précédents). D'autres paramètres interviennent comme l'impact environnemental, l'impact sociétal, les facteurs santé / sécurité et des paramètres financiers et économiques plus précis (la notion de coût sur cycle de vie par exemple). Ils adressent à la fois des résultats (délai, qualité) mais aussi des processus intermédiaires (gestion des communications, des achats par exemple). Ils font donc à la fois partie des finalités du projet mais aussi des processus et compétences qu'il faudra mobiliser pour atteindre ces finalités.

2.1.6. Vue fonctionnelle : ce que fait le système projet

Le management de projet est défini par les grands standards internationaux du PMI et de l'IPMA par un ensemble de processus appliqués à un ensemble de domaines de connaissance, mobilisant certaines compétences et certaines méthodes ou outils. Les grands processus projet peuvent se dérouler en séquentiel ou en parallèle, comme l'illustre la Figure 16 ci-dessous:

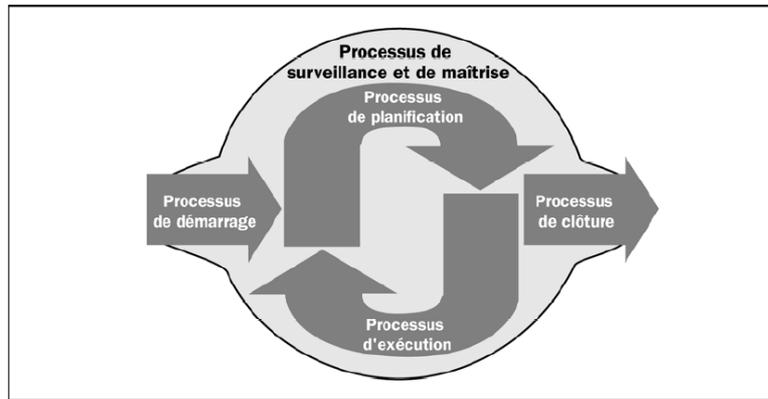


Figure 16: Groupes de processus (PMI 2008)

Comme vu dans la section précédente, je distingue les processus de décision et les acteurs décideurs (ou responsables), inclus dans le SMP, des processus et acteurs de réalisation, inclus dans le SAP (Figure 17). Les premiers délivrent des décisions, à appliquer par les seconds, qui eux délivrent des résultats constituant progressivement le Système Résultant (SR). Les deux systèmes consomment du temps et de l'argent pour produire leurs résultats, ils contribuent donc tous les deux à la performance du projet, attendue par les Clients de la Performance du Projet (CPP).

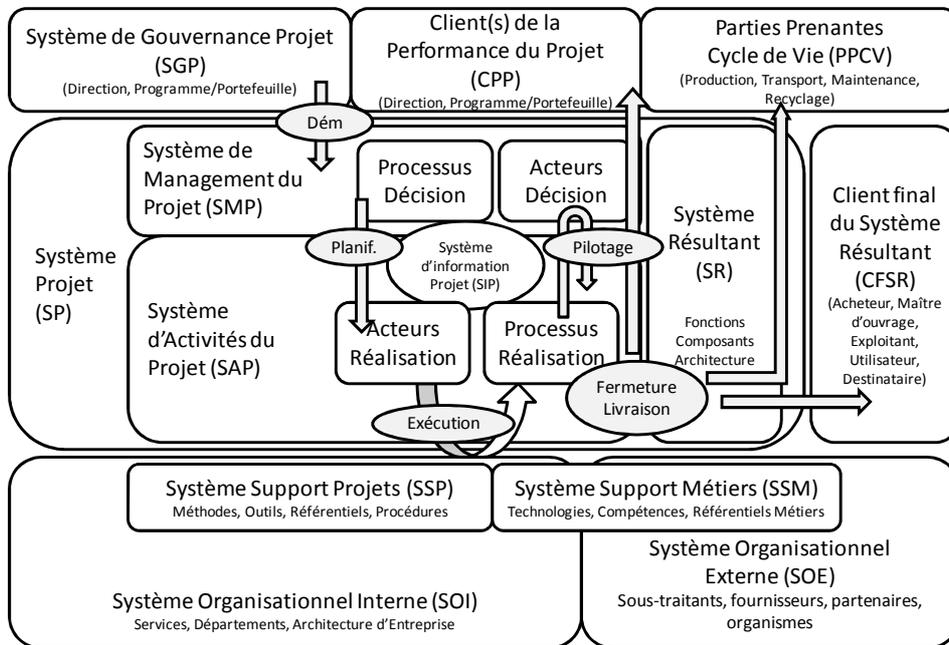


Figure 17 : Positionnement des macro-processus de décision en management de projet

L'objectif de ce mémoire n'est pas de détailler les différents livrables obtenus au fur et à mesure du projet. Toutefois, quelques documents-clés sont introduits ci-dessous car ils sont concernés par la problématique et car les méthodes et outils pour les obtenir sont aujourd'hui insuffisamment développés (Figure 18).

**Charte projet.** Le processus de démarrage d'un projet consiste en la mise en place des premières ressources et des premiers documents qui rassemblent les informations disponibles à ce moment-là. La charte projet est la première version d'un document qui spécifie ce qui sera fait dans le projet et comment cela se fera. Elle peut être complète (besoin client, contraintes budgétaires, contraintes réglementaires, jalonnement macroscopique, hypothèses techniques à valider) mais est très souvent non fiable à ce moment du projet. Cela signifie que de multiples versions itératives seront éditées qui vont préciser, compléter ou annuler les informations existantes.

**Cahier des charges.** Même s'il est issu des finalités du projet, c'est en soi un document produit en début de projet pour décliner, détailler, spécifier l'ensemble des choses à réaliser. C'est la spécification du contenu du projet, qui détermine de façon détaillée le résultat qui sera produit par le projet. Elle peut s'accompagner de premiers choix techniques, qui indiquent dans les grandes lignes ce que sera le principe technologique de base ou le type de composant ou le type de procédé d'assemblage. L'important ici n'est pas de détailler les méthodes et techniques relatives à la spécification du contenu, comme l'analyse fonctionnelle / analyse de la valeur, écoute client, etc... Comme nous le verrons par la suite, cela a un intérêt dans nos travaux quand il y a interaction, notamment entre le produit et le projet, comme par exemple:

- Un surcoût sur une tâche entraîne une réduction budgétaire sur un composant produit => projet/produit
- Un choix de matériau sur un composant entraîne un changement de fournisseur accompagné d'un délai supplémentaire d'approvisionnement => produit/projet

Il peut donc y avoir une influence directe entre un paramètre du produit et un paramètre du projet qui va livrer le produit. La conséquence peut donc être un retard (projet) à partir d'un choix produit, ce retard engendrant lui-même d'autres problèmes au niveau du projet (surcoût, indisponibilité des ressources) qui vont au final retomber sur la performance du produit.

**WBS (Work Breakdown Structure).** L'Organigramme des Tâches ou Work Breakdown Structure correspond à un découpage du projet en fonction des principaux travaux à mener et livrables à sortir. Il détermine donc en grande partie la façon dont le projet sera organisé ensuite, et notamment les interfaces et relations de pouvoir et d'autorité. Ainsi, un lot "Gestion de l'impact environnemental" n'aura pas le même poids s'il est au premier niveau de découpage en relation directe avec le chef de projet ou s'il est au sein d'un lot "Paramètres connexes" lui-même inclus dans la partie "Technique" de la phase "Conception". Les personnes affectées à ces lots n'auront pas le même poids dans les décisions prises et dans les réunions. Comme nous le verrons plus tard, tout découpage qui entraîne des interfaces non claires, redondantes ou disjointes amènera invariablement un grand nombre de dysfonctionnements dans le projet, que ce soit dans son déroulement ou dans son résultat final.

**PBS (Product Breakdown Structure).** Découpage de l'architecture du produit, souvent réalisée par sous-systèmes, puis par organes puis par composants. Le découpage fonctionnel du produit se trouve plutôt dans le cahier des charges, surtout s'il est issu d'une analyse fonctionnelle.

**OBS (Organization Breakdown Structure).** Découpage de l'organisation permanente qui supporte le projet. Dans tout le mémoire, nous allons considérer une organisation, même si plusieurs entreprises sont regroupées pour conduire le projet (hors sous-traitants et fournisseurs qui eux sont toujours clairement identifiés).

Il existe aussi d'autres arborescences, comme la CBS (Cost) ou la RBS (Risk). Le principe est toujours le même, et nous verrons par la suite que le défaut est toujours le même, à savoir gérer avec une arborescence un système qui est en fait plus complexe (existence de liens transverses quel que soit le découpage adopté).

**PERT (Program Evaluation and Review Technique) / Gantt / Plan de charge / Budget.** La planification du temps, des coûts et des ressources correspond à un ensemble de décisions portant sur le quand et le combien. Il va déterminer les activités à mener, leur séquençement et leur estimation en termes de durée, de coût et de ressources, ces trois paramètres étant reliés.

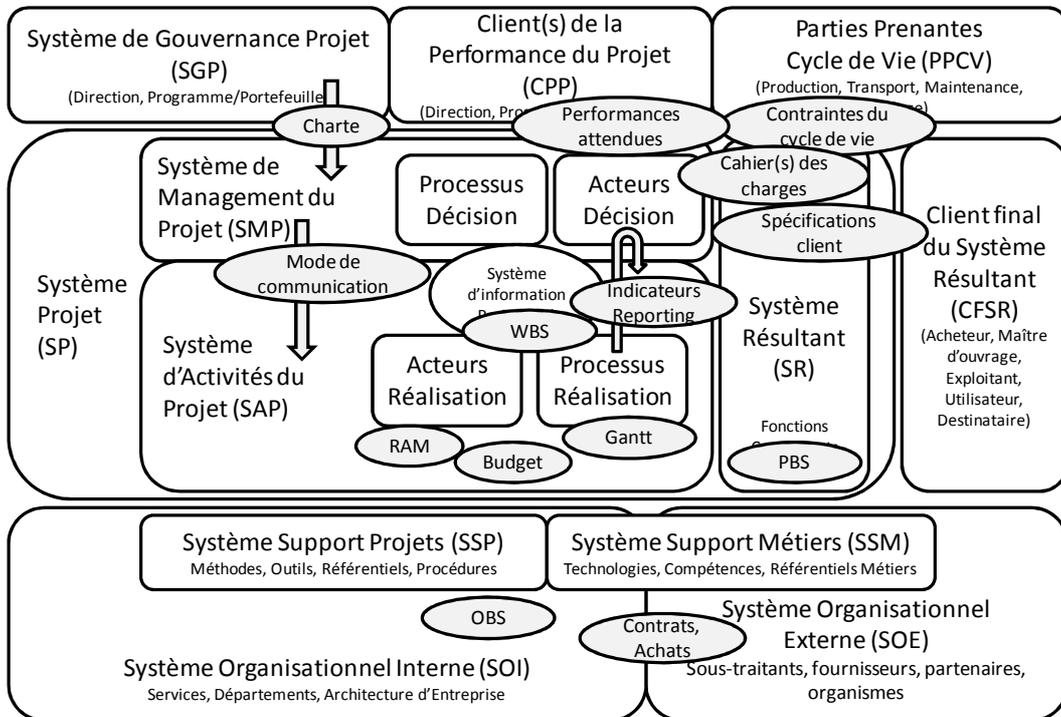
En effet, il peut y avoir au départ une contrainte sur un paramètre qui influence les deux autres. Ce processus se déroule en relation avec l'affectation de ressources. Ça n'est pas la même chose de spécifier un besoin anonyme (2 programmeurs pendant 1 mois dans 3 mois) et de donner des noms précis à cette affectation. Une personne va peut-être correspondre exactement à ce qu'on veut sauf en termes de disponibilité, ce qui remettra en cause soit la planification calendaire, soit le choix de cette personne.

La planification temps – coûts - ressources se découpe en plusieurs sous-processus pouvant se dérouler en séquentiel ou en parallèle: identification des activités, séquençage des activités, estimation des besoins en ressources, estimation des coûts des activités, estimation des durées des activités, élaboration du calendrier (ou échéancier) de projet, élaboration du budget de projet et élaboration du plan de charge (ressources internes) et du plan de gestion des contrats (ressources externes).

**Matrice d'affectation des responsabilités.** L'affectation des rôles et des responsabilités est un processus qui transforme un besoin en une décision d'affecter telle(s) ressource(s) pour combler au mieux ce besoin. Le besoin peut être un rôle permanent dans le projet (responsable documentation par exemple) ou une tâche temporaire (élaborer le schéma de principe du nouveau composant), à plein temps ou à temps partiel, en interne ou en externe (ou non spécifié à l'avance), avec ou pas des contraintes pré-établies (disponibilité immédiate, coût horaire inférieur à un certain plafond, etc...). Cette matrice s'appelle souvent par son acronyme anglais RAM (Responsibility Assignment Matrix, voir Figure 18).

**Documents de pilotage / d'avancement / de reporting.** Je distingue deux types d'indicateurs :

- Les indicateurs d'avancement. Ils traduisent l'avancement à aujourd'hui de certains travaux et de la consommation de certaines ressources.
- Les indicateurs de résultat. Ils traduisent à aujourd'hui la potentialité de performance du résultat du projet. En gros, si on arrêtait les réflexions et qu'on assemblerait les composants dans leur version d'aujourd'hui, qu'est-ce qu'on obtiendrait comme résultat? On trouve par exemple une caractéristique d'un produit (masse), la performance environnementale (CO<sub>2</sub>), la performance financière (prix de revient), ou encore le niveau de fiabilité pour maintenance future.



**Figure 18 : Positionnement des principaux documents issus des décisions de management de projet**

### 2.1.7. Vue génétique : évolution du projet par changements d'état

La quatrième étape de la description du système projet concerne son évolution dans le temps. Le projet a par définition un rapport particulier avec le temps, puisqu'il est dans sa sémantique d'origine latine *pro-jectare*. La section introduit donc les notions d'état, de changements d'état qui vont amener le projet depuis son état initial jusqu'à l'état final souhaité (si tout se passe bien...), d'évènements qui vont caractériser le changement d'état à un instant bien marqué dans le temps, et enfin de risque qui sont des évènements particuliers, puisque potentiels et reliés soit à l'atteinte des objectifs du projet, soit à la bonne réalisation de ses processus soit à la modification de son environnement.

#### Description des changements d'état vers un état final souhaité

Le projet passe par plusieurs étapes, mais quel que soit le découpage en phases, on retrouve toujours une phase de conception, de structuration du projet suivie d'une phase d'exécution et de pilotage de ce qui a été planifié. Bien sûr, ces phases s'interpénètrent et on remet en cause pour plusieurs raisons et à plusieurs moments des éléments en cours de planification alors que d'autres sont en cours de réalisation ou ont déjà été réalisés. Ceci peut amener notamment des risques d'itération, de retour en arrière, avec des conséquences de retard et surcoût entre autres. Comme l'illustre la Figure 19, le projet passe donc par des états successifs au cours du temps, et cette trajectoire va être plus ou moins planifiable et surtout plus ou moins perturbée par des évènements.

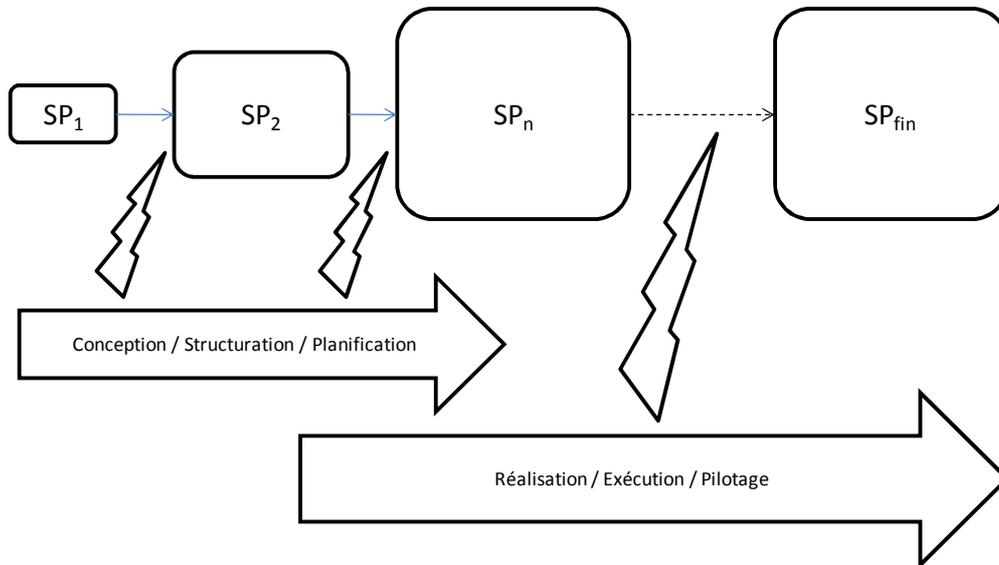


Figure 19 : Le projet se structure par états successifs puis se pilote au cours du temps

Un évènement est un changement d'état marqué dans le temps d'un ou plusieurs constituants du projet. Au niveau local, on peut caractériser un état d'un objet du projet par un ensemble d'attributs. L'évènement va donc à un instant donné modifier un ou plusieurs attributs d'un ou plusieurs objets. Les évènements vont conduire le projet à plus ou moins à s'écarter ou se rapprocher de sa trajectoire planifiée, voire à changer cette trajectoire.

Un type particulier d'évènement est la décision, puisqu'elle est volontaire et a priori les conséquences de la décision sont voulues, souhaitées. Nous verrons par la suite qu'il convient d'étudier toutes les conséquences, y compris indirectes voire lointaines, d'une décision. Je distingue les décisions sur les objectifs (objectif final, trajectoire cible pour atteindre cet objectif) et les décisions sur les moyens pour atteindre ces objectifs (quel processus, quel enchaînement de tâches, quels acteurs, quel système d'information, etc...).

Un autre type d'évènement est un changement de paramètre dans le contexte de l'entreprise qui mène le projet ou de l'environnement de l'entreprise, et qui peut amener des perturbations dans la trajectoire d'évolution du projet.

A titre d'exemple, un durcissement des objectifs de rentabilité, la volonté (ou l'obligation) d'appliquer telle norme dans tous les projets suite à un accident, l'augmentation drastique du prix d'un composant ou d'une matière première, sont autant de paramètres qui peuvent remettre en cause des choses déjà décidées ou déjà réalisées dans le projet. Lorsqu'un évènement n'est pas encore avéré, mais qu'il peut ou pas se produire, on parle plutôt de risque. Un évènement sûr mais pas encore arrivé s'appellera évènement futur, un évènement potentiel s'appellera risque. Les paragraphes suivants détaillent les notions relatives aux risques et à la gestion des risques projet, car ce sera un de nos objectifs et un de nos objets de travail (données manipulées).

### **Risques et gestion des risques dans un projet**

Ce paragraphe présente les principales définitions relatives à la gestion des risques projet, à savoir les concepts, les méthodes et les processus.

#### *Définitions du risque projet*

Comme pour la complexité, il n'existe pas vraiment de consensus universel sur la notion de risque et en particulier de risque projet. De nombreuses définitions existent dans la littérature, elles reprennent toutes plus ou moins les notions d'évènement, de conséquences ou effets, positifs ou négatifs, avec parfois des raffinements portant sur l'occurrence (avec des termes comme probabilité, possibilité, éventualité), et des raffinements portant sur l'impact (avec des termes comme gravité, sévérité, acceptabilité, effet redouté, objectifs non atteints). Ces définitions proviennent de travaux individuels (Haller 1976, Rowe 1977, Giard 1991, Gourc 1999) ou d'efforts collectifs, à travers des documents standards et des normes (PMI 2008, IPMA 2006, IEEE 2001, BSI 2002, AFNOR 2003, APM 2004, IEC 1995). Au final, la définition de l'ISO 31000 est présentée ci-dessous, car elle est récente et permet de synthétiser les différentes caractéristiques évoquées précédemment (ISO-CEI 2009) :

« Le risque est l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs. »

NOTE 1 Un effet est un écart, positif et/ou négatif, par rapport à une attente.

NOTE 2 Les objectifs peuvent avoir différents aspects (par exemple buts financiers, de santé et de sécurité, ou environnementaux) et peuvent concerner différents niveaux (niveau stratégique, niveau d'un projet, d'un produit, d'un processus ou d'un organisme tout entier).

NOTE 3 Un risque est souvent caractérisé en référence à des événements et des conséquences potentiels ou à une combinaison des deux.

NOTE 4 Un risque est souvent exprimé en termes de combinaison des conséquences d'un événement (incluant des changements de circonstances) et de sa vraisemblance.

NOTE 5 L'incertitude est l'état, même partiel, de défaut d'information concernant la compréhension ou la connaissance d'un événement, de ses conséquences ou de sa vraisemblance

Un risque peut donc être purement négatif ou bien il peut être négatif ou positif, parfois appelé alors opportunité. La notion d'évènement et la notion d'élément potentiellement impacté par cet évènement sont également présentes dans la plupart des définitions. Nous y reviendrons dans nos propositions de recherche en section 2.3, notamment à propos de la notion de vulnérabilité que nous allons développer.

#### *La gestion des risques projet*

Depuis la naissance du management de projet, la notion de risque a pris de l'ampleur. Les erreurs et problèmes du passé sont les risques du présent, et aucun projet n'a envie de répéter des problèmes s'ils sont évitables. De plus, la société en général et les entreprises en particulier ont de plus en plus d'aversion face au risque. Cela conduit à demander de plus en plus à la gestion des risques, afin entre autres de se couvrir contre des conséquences financières ou juridiques. Les responsabilités peuvent même s'exercer après le projet, par exemple sur des paramètres de sécurité, de sûreté ou d'environnement. Il est donc devenu de plus en plus important de manager les risques projet de façon à la fois efficace et efficiente (Ariyo et al. 2007). Ceci permet soit de donner plus de garanties de succès aux parties prenantes du projet, soit au moins de les prévenir de potentiels problèmes voire désastres (Cooper and Chapman 1987).

D'après Raz et Hillson (2005), la gestion moderne des risques a évolué depuis les disciplines de sécurité (physique, industrielle) et de sûreté de fonctionnement (fiabilité, maintenance). De nombreuses méthodologies de gestion des risques ont été développées dans de nombreux domaines, souvent basées sur les principes d'estimation qualitative ou quantitative des deux concepts de probabilité et d'impact. Par exemple, le PMI définit le but de la gestion des risques projet comme « l'augmentation de la probabilité et de l'impact des événements positifs et la diminution de la probabilité et l'impact des événements négatifs » (PMI 2008).

Certains standards ont été proposés, dans des domaines relatifs au projet ou pas, comme l'assurance, l'agro-alimentaire, les systèmes informatiques, chimiques, la sécurité industrielle, le génie électrique, etc... Certaines méthodes ont été développées plus localement par une entreprise ou une université, puis se sont diffusées dans d'autres secteurs ou d'autres domaines d'application. Dans cette diffusion méthodologique, on peut retenir que le monde du projet a plutôt hérité de méthodes issues d'autres domaines.

### *Le processus classique de gestion des risques projet*

La gestion des risques consiste à anticiper par rapport à ce qui est planifié dans le projet tout ce qui pourrait le faire dévier et remettre en cause l'atteinte des objectifs finaux, qu'ils soient externes (satisfaction client via les prestations du produit) ou internes (respect du budget par rapport à des contraintes de trésorerie d'entreprise).

La stratégie mise en place par le responsable pour parvenir au succès du projet doit prendre en compte les facteurs de risques, c'est-à-dire les incertitudes, les sources de danger ou les perturbations qui existent structurellement avant et au démarrage du projet et/ou qui peuvent survenir conjoncturellement pendant son déroulement, en recherchant et maîtrisant celles susceptibles d'entraîner l'échec de son projet.

La gestion des risques projet comprend six étapes qui se suivent (détaillées ci-dessous et avec des itérations possibles), présentes dans quasiment tous les grands standards, même si parfois sous des noms différents (IEC 1995, IEEE 2001, BSI 2002, AFNOR 2003, APM 2004, IPMA 2006, PMI 2008). Ce processus donne en sortie une mise à jour de la planification du projet. Il reprend donc certains des processus de planification décrits en paragraphe 2.1.6 puisqu'il s'agira de rajouter des nouvelles activités (appelées actions de gestion des risques), avec des budgets, des délais et des ressources.

#### La mise en place du management des risques

La première étape est la mise en place des procédures, documents, outils et méthodes qui vont être utilisés par la suite. Ainsi, une entreprise rodée à la gestion de risque qui lance un projet routinier ne fonctionnera pas de la même façon qu'une entreprise qui découvre le mode projet sur un projet très innovant.

#### L'identification des risques

Elle consiste à identifier les événements qui pourraient affecter le projet, que ce soit au niveau de ses objectifs, de ses activités ou de ses ressources. Elle peut se faire selon deux grands principes : par expérience et/ou par expertise. On trouve donc des méthodes analogiques, à base de retour d'expérience statistique ou simplement qualitatif, qui font des problèmes du passé les risques du présent, et des méthodes heuristiques (à base de créativité) et analytiques (diagnostic a priori).

#### L'analyse des risques

Elle consiste à évaluer et prioriser les risques, essentiellement en fonction de leur probabilité d'occurrence et de leur impact. On distingue l'analyse qualitative et l'analyse quantitative, basée sur une expérience plus fournie et plus détaillée. La notion de probabilité a plus de sens dans le deuxième type d'analyse. La notion d'impact peut être évaluée factuellement, ou en tant que perception par un expert ou un décideur, on parle alors plutôt de gravité. La criticité est un paramètre agrégeant ces deux notions, souvent en les multipliant, ce qui pose certains problèmes de compensation. Elle est toutefois souvent utilisée pour classer les risques (par criticité décroissante). Une façon moins compensatoire de le faire est de positionner les risques sur un graphe bi-axe, appelé diagramme de Farmer.

### Le plan de réponse aux risques

Il consiste à élaborer un plan d'actions en prévention/protection/correction afin de minimiser l'impact que pourraient avoir les risques négatifs s'ils se produisent et d'empêcher ou de réduire la probabilité qu'ils se produisent. Quatre grandes stratégies existent :

- La réduction (ou mitigation) : elle peut se faire sur la probabilité, ou l'impact, ou les deux. On parle alors de prévention ou de protection. On peut aussi distinguer l'impact immédiat et la capacité de réparation (action correctrice ou curative) qui laisse un impact résiduel pouvant être nul.
- L'évitement : une forme particulière de réduction, puisqu'elle se veut totale. Probabilité nulle ou impact nul. Potentiellement la stratégie la plus chère et la plus difficile à garantir.
- Le transfert : vers un autre responsable (assurance par exemple). On distingue en général le transfert portant sur la conséquence (comme notre assurance auto) et le transfert portant sur l'occurrence du risque (comme une société de gardiennage).
- L'acceptation : qui n'est pas la même chose que l'oubli, ou la négligence.

### Le suivi et le contrôle

Il s'agit de mettre à jour les risques, pour voir s'ils sont encore actifs, si de nouveaux risques sont apparus, et enfin pour voir si les actions de prévention ont l'effet escompté.

### La capitalisation

Il s'agit de capitaliser, si possible en temps réel, de l'expérience pour la suite du projet et les projets futurs. Toutefois, comme toute capitalisation, elle est dure à réaliser dans le feu de l'action et est très dépendante d'un contexte particulier, ce qui rend délicat la réutilisation future.

## **Vision synthétique du système projet**

Je considère que le projet subit au cours de sa vie une succession de changements d'états qui sont dûs à des prises de décision, à la réalisation d'actions et à l'occurrence d'événements, internes ou externes. Les décisions prises emmènent le projet sur une trajectoire vers un résultat qui va plus ou moins correspondre aux objectifs annoncés. Ces objectifs peuvent eux-mêmes avoir été modifiés au cours du déroulement du projet. La trajectoire réalisée est comparée à une trajectoire planifiée, qui indique où on avait prévu d'être à aujourd'hui, ce qui permet de prendre un certain nombre de décisions dites de pilotage ou de conduite. Le but est toujours d'analyser où on est, où on pourrait aller si on ne changeait rien et qu'est-ce qu'il faudrait éventuellement changer pour rester ou revenir sur une trajectoire souhaitée, c'est-à-dire celle qui amène vers les objectifs (mis à jour). Le problème est que l'on cumule de l'incertitude sur notre position exacte, sur ce que sont les objectifs et sur la trajectoire qui permettrait de nous emmener depuis notre point actuel jusqu'au point final. Cette vision « changement d'état » est importante car elle détermine beaucoup de choses dans la façon dont le projet a été modélisé avec une logique de dynamique dans le temps d'évolution de certains objets en fonction de l'apparition d'événements (dans le chapitre 3). Cela implique également une analyse des changements d'état possibles du projet pour anticiper ce qui pourrait se passer (chapitre 4), puis une prise de décision changeant l'état actuel du projet pour essayer de le remettre ou de le maintenir sur une trajectoire souhaitée (chapitre 5).

Il est possible notamment de faire une analogie avec d'autres systèmes dynamiques qui sont des systèmes mécaniques en mouvement (Figure 20), par la notion de position dans le temps ( $x$  = degré d'avancement d'une tâche ou d'un processus ou d'un projet), de vitesse instantanée ( $v$  = vitesse de réalisation des tâches, variable en fonction des tâches et en fonction du temps pour une même tâche, car dépendant de nombreux facteurs comme la productivité, la motivation, les compétences, les technologies, la quantité de ressources, la disponibilité des ressources, la disponibilité des informations et données d'entrée, les temps d'attente, ...) et d'accélération ( $a$  = les décisions prises qui vont infléchir la courbe d'avancement en mettant plus de ressources par exemple, ou en raccourcissant le délai de livraison d'une tâche, ce qui va forcer l'équipe à accélérer donc à augmenter la pente pour atteindre un point qui s'est déplacé vers la gauche dans l'axe des temps).

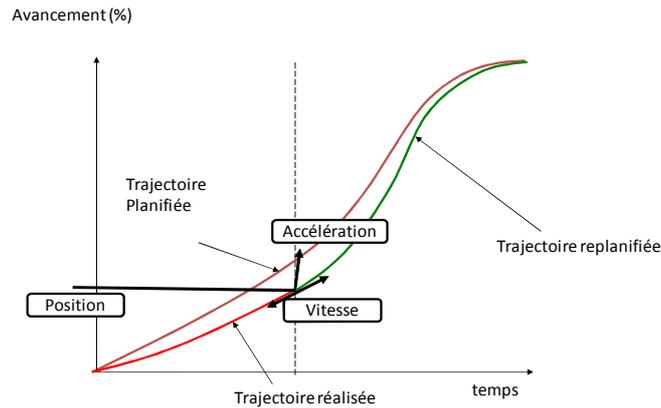


Figure 20 : Illustration de l'avancement d'un projet par l'analogie avec un système mécanique en mouvement

Il y a toujours des incertitudes, à la fois sur notre position exacte, notre vitesse exacte, mais également sur les conséquences exactes des décisions que nous sommes en train de prendre, c'est-à-dire sur l'accélération à laquelle sera réellement soumis le projet. Il faut donc des zones de tolérance, de flexibilité, d'acceptabilité des écarts, non représentées sur la figure précédente, mais qui vont caractériser différents degrés de contrainte, plus précisément de conséquences en cas de non respect de la contrainte fixée. On peut également se rapprocher des systèmes automatisés asservis, où des boucles de rétroaction permettent de détecter et de corriger des écarts, le fonctionnement thermostatique étant le mode le plus simple représentatif de cette volonté de coller à une trajectoire.

Par rapport à ces évolutions possibles, souhaitées ou non souhaitées, et aux corrections de trajectoire qu'il faut éventuellement faire, le vocabulaire utilisé ici est volontairement proche de celui de la gestion des risques. On peut subir des événements (un avancement réel inférieur à l'avancement planifié détecté lors d'une réunion de pilotage, ou un changement d'objectif ou dans l'environnement, ou une défection / coupe / maladie / panne dans les ressources disponibles) et essayer de corriger ou de maintenir la trajectoire vers l'objectif souhaité, via des mesures correctrices de réparation ou de confinement (limiter la propagation à des dégâts directs acceptables). On peut aussi anticiper en amont de tels problèmes, et être alors d'avantage en prévention (de l'évènement), en protection (des conséquences de l'évènement), ce qui nécessite d'en être capable, et notamment de savoir détecter cet évènement. La Figure 21 schématise cette vision de l'évolution d'un projet.

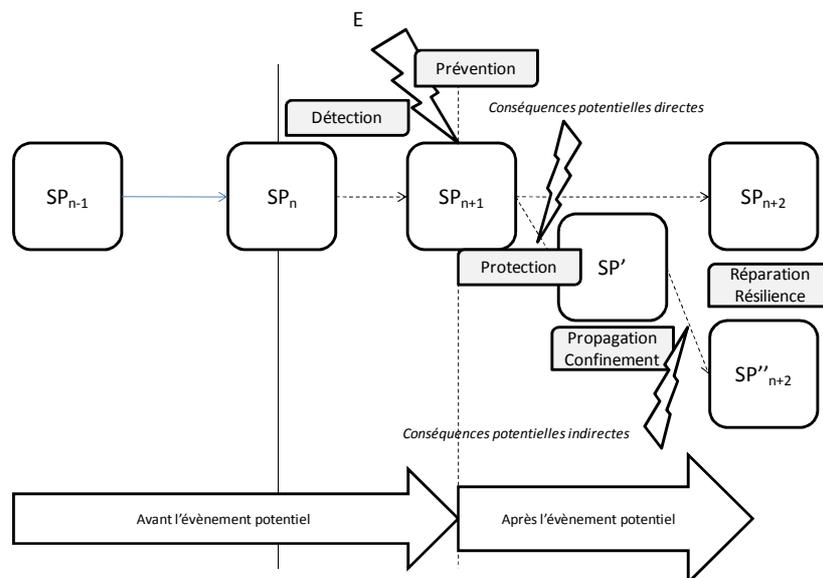


Figure 21 : Ma vision du projet via ses évolutions possibles

## 2.2. IMPLICATIONS DE LA COMPLEXITE SUR LES RISQUES AUXQUELS LE PROJET DOIT FAIRE FACE

Cette section pose les bases de la complexité du système projet, puis fait le point sur les conséquences positives et négatives de cette complexité, et enfin sur l'inadéquation des méthodes et outils actuels pour la gérer. Cela permettra ensuite d'introduire les problématiques de recherche dans la dernière section du chapitre.

### 2.2.1. La complexité projet

Il n'existe actuellement aucun consensus au sujet de ce qu'est la complexité. Calinescu et co-auteurs justifient d'ailleurs ce manque de consensus eu égard à l'existence d'un « manque de référentiel universel permettant de modéliser la complexité qui inclurait la variété, le dynamisme, les interactions et l'incertitude des sources de la complexité » (Calinescu et al. 1998). Cette difficulté est souvent contournée en traduisant la complexité par la définition des facteurs de complexité. Mais définir ces facteurs de complexité en mode projet est aussi difficile, notamment dans la mesure où ces facteurs dépendent de l'environnement et du contexte du projet : Sinha et co-auteurs insistent en effet sur le fait qu'aucun consensus n'existe autour des facteurs de complexité projet et que peu est connu au sujet de leur interdépendance (Sinha et al. 2001). Certains de ces facteurs de complexité projet rencontrés dans la littérature sont notamment la taille du système projet, le nombre d'interrelations dans le réseau de tâches projet, les relations entre les membres du projet, la variété des processus et des moyens mis en oeuvre, la diversité culturelle des membres du projet, les intérêts individuels, etc...

Il y a historiquement deux grandes approches scientifiques de la complexité (Schlindwein and Ison 2005) : la complexité descriptive, considérée comme une propriété intrinsèque du système (ce qui a incité plusieurs chercheurs à tenter de définir une mesure de complexité), et la complexité perçue, qui considère la complexité comme subjective, puisque dépendante de l'observateur. Plusieurs auteurs essayent de leur côté d'exprimer la complexité du système projet comme composée de différentes familles de complexité afin de pouvoir définir plus facilement les aspects et les facteurs de ces familles de complexité de projet (Baccarini 1996; Biggiero 2001; Karsky 1997; Prigogine 1996). Par exemple, Baccarini décrit la complexité d'un projet comme l'association de la complexité organisationnelle et de la complexité technologique, définissant ces deux familles de complexité par les concepts de différenciation et d'interdépendance. Une telle distinction permet de maîtriser la complexité plus efficacement puisqu'elle permet d'adapter les processus de maîtrise de la complexité en fonction de la famille de complexité rencontrée.

Il est à noter qu'Edmonds essaye cependant de définir la notion générale de complexité comme la « propriété d'un modèle qui est la source de la difficulté de la formulation de son comportement global dans un langage donné, même lorsqu'un bon niveau de complétude au sujet des informations sur ses composants élémentaires et leurs interdépendances est atteint » (Edmonds 1999). Cette définition, qui est tout à fait appropriée pour entourer tous les aspects de la complexité projet, souligne que la complexité est relative à la manière dont le système projet est modélisé. En conséquence, tout indicateur absolu de complexité projet exigerait que l'on puisse définir une mesure générale de cette caractéristique qui serait indépendante du modèle du projet, sans quoi la prétendue mesure de complexité projet serait en fait une mesure de complexité du modèle du projet. La complexité étant dès lors relative à une représentation du système projet, il est essentiel de se concentrer sur les représentations et modèles existants de la complexité.

Williams insiste sur le fait que l'un des forts besoins à la fois académiques et industriels actuels au sujet la maîtrise de la complexité consiste en :

« De nouvelles manières de regarder les projets et de nouveaux modèles avec leurs techniques d'analyse et de gestion associées » (Williams 1999).

Afin de maîtriser la complexité projet, un chef de projet doit en effet pouvoir comprendre et traiter les phénomènes fondamentaux de la dynamique complexe du système projet alors qu'il lui est impossible d'avoir une information précise et complète sur le système projet à un moment donné (ce qui rend la prise de décision difficile et toujours incertaine).

En pratique, un chef de projet identifie d'abord un cadre général pour le projet (qui lui permet par exemple d'estimer le risque projet) mais il a conscience que des phénomènes imprévisibles (par exemple des risques imprévus) sont très susceptibles d'apparaître. La maîtrise de la complexité consiste notamment en la maîtrise de ces phénomènes imprévisibles émergeant de la complexité, ce qui souligne l'importance cruciale de créer des modèles innovants du système complexe projet. C'est pourquoi nous présentons dans la suite de cette section des modèles qui ont été élaborés par différents chercheurs pour modéliser la complexité projet.

Un premier modèle, essentiellement fondé sur la modélisation du système projet en termes de ressources, de produit final et de contexte du marché, est celui développé par Laurikkala et co-auteurs (2001). Celui-ci aspire à faciliter la maîtrise de la complexité des grands projets en permettant de changer le niveau de détail de la modélisation afin de se concentrer sur les zones les plus critiques du projet en modélisant plus finement ces dernières. Le système d'information associé permet au final d'examiner la complexité de scénarios possibles pour la suite du projet : la modélisation à différents niveaux de granularité permet en pratique de concentrer les actions sur les zones les plus sensibles et donc de maîtriser la complexité projet là où cela est le plus nécessaire. Ce modèle ne permet pas en revanche de quantifier la complexité projet sur un abaque préalablement défini qui permettrait de se rendre compte si tel ou tel scénario projet devient trop ou pas assez complexe dans le contexte dans lequel le projet se déroule.

Earl et co-auteurs définissent quant à eux un modèle de complexité qui distingue la complexité dépendant du temps et celle indépendante du temps, liée au caractère permanent de la structure du projet (Earl et al. 2001). Ils se concentrent sur la question des interactions dans un environnement multi-projet de développement de produits. Ils soulignent que l'intérêt d'un modèle d'interactions réside dans l'aide à la maîtrise des interfaces, susceptible d'être la plus grande source de création de valeur pendant le projet.

Eppinger et co-auteurs ainsi que Carrascosa et co-auteurs utilisent les Design Structure Matrices (DSM) afin de modéliser la complexité des projets, particulièrement des projets de conception de produit (Carrascosa et al. 1998; Eppinger et al. 1994). Les DSM sont une manière de visualiser la structure du projet de conception en modélisant et qualifiant les interactions entre les différentes tâches du projet. La version numérique de la DSM permet quant à elle de mesurer par ailleurs le niveau d'échange d'information entre chaque tâche et leur sensibilité par rapport à l'incertitude (information partielle) ou l'ignorance (information inconnue). Au final, le modèle de Carrascosa permet d'évaluer la probabilité et le niveau d'accomplissement final d'un projet, étant donnée la complexité de son réseau de tâches en termes d'interactions. Bien que ces modèles fondés sur les DSM donnent des résultats intéressants, ils ne considèrent que les interactions du réseau de tâches du projet. Nous y reviendrons ultérieurement pour les manipuler dans des contextes plus proches de nos travaux.

D'après Moscowitz (2005), les caractéristiques de la complexité du projet peuvent prendre différents aspects:

- La réalité perçue reste toujours inachevée et incomplète,
- Le tout et les parties sont liés par une dialectique dynamique,
- Le complexe est une conjonction d'ordre et de désordre dont des logiques différentes co- existent de façon dialogique,
- L'incertitude, l'imprévisibilité et l'indécidabilité sont inhérentes aux situations complexes,
- Les systèmes complexes sont instables, évoluent par bifurcations et s'auto-organisent.

A partir de là, nous avons proposé une nouvelle définition de la complexité projet (Vidal et Marle 2008) :

« La complexité projet est la propriété d'un projet qui rend difficile la compréhension, la prévision et la maîtrise de son comportement global, même en ayant une information relativement complète sur le système. Ses facteurs principaux sont relatifs à la taille du projet, la diversité du projet, aux interdépendances dont le projet et au contexte dans lequel le projet évolue. »

La complexité existe dans le projet car celui-ci est une aventure humaine, très contrainte, comportant de multiples aspects et des incertitudes liées à son unicité. La composante humaine y est fondamentale, aussi bien celle de l'individu acteur par ses perceptions ou compétences que par le groupe dont le comportement global repose aussi sur des conflits et ambiguïtés. Dans le projet coexistera donc un aspect programmable dans lequel la prévision et la résolution de problèmes sont possibles et un aspect complexe, non programmable, dans lequel il faut renoncer à sa maîtrise complète, permettre une dose de flexibilité et d'improvisation.

Les systèmes qui ont cette particularité peuvent aboutir à des explosions ou des changements radicaux. Le Tableau 2 synthétise ci-dessous en quoi les caractéristiques majeures de la complexité s'appliquent au contexte du projet.

**Tableau 2 : Le projet décrit comme un système complexe**

Caractéristiques de la complexité	Contexte projet
1. Réalité perçue inachevée ou incomplète.	Un projet est caractérisé par un grand nombre d'éléments (coûts, délais..). Il est donc impossible de connaître l'ensemble du projet à un instant donné.
2. Le tout et les parties sont liés de façon dynamique.	L'état d'avancement du sous projet influe sur celui du projet et l'abandon du projet conduit à l'abandon des sous-projets.
3. Liens de causalité et récursivité rendant les phénomènes incompréhensibles	Les liens qui existent entre les structures et les personnes rendent imprévisibles les phénomènes liés uniquement à la communication. Il en est de même pour l'avancement d'une activité qui est lié entre autres à la disponibilité des ressources, elle-même tributaire d'autres activités, en fonction de leur état d'avancement
4. Auto-organisation	La structure organisationnelle évolue et se modifie, et les circuits de communication prennent par rapport à l'organisation théorique des raccourcis ou des détours.
5. Incertitude et indécidabilité	L'incertitude est due à la nature même des projets et l'indécidabilité à la composante humaine non modélisable des décisions prises.
6. Instabilité	L'instabilité d'un paramètre financier ou une décision de choix de technologie entraînent des bifurcations importantes dans le scénario de déroulement du projet.
7. Coexistence de logiques différentes	Les multiples intervenants dans et autour du projet ont des objectifs et des logiques différentes, voire contradictoires. La simple affectation des ressources entraîne des problèmes de partage et de priorités

### 2.2.2. Projets, complexité et risques, une association naturelle

Par nature, un projet génère des risques, car il est le vecteur d'un changement futur attendu dans l'organisation (nouveau produit, amélioration d'une performance, implantation d'un nouveau système d'information, etc...), donc d'une possibilité d'insatisfaction ou de non réalisation de ce changement. On peut citer rapidement la non-atteinte des objectifs fixés, le retard et le surcoût étant les plus classiques et génériques des objectifs du projet. Les risques peuvent également être considérés pendant le projet, avec des retards sur livraisons intermédiaires, des surcoûts sur les premières phases, un conflit entre personnes, un accident sur chantier, etc...

Plusieurs facteurs ont renforcé le nombre et l'ampleur des risques, ce qui s'est ajouté à l'aversion de plus en plus grande de la société, des entreprises et des parties prenantes en général face au risque. Qu'il soit sécuritaire, financier, lié à la qualité ou simplement à un paramètre de confort, il devient de plus en plus difficile de réaliser quelque chose qui ne livre pas exactement ce qui a été demandé sur l'ensemble des dimensions qui constituent le projet et son résultat. Ces dimensions se sont multipliées récemment, avec l'ajout au triangle historique Coût-Délai-Qualité de notions environnementales, sécuritaires, sanitaires, sociétales entre autres.

Cette complexité croissante par la présence de nombreux facteurs interreliés s'ajoute donc à la pression de plus en plus forte sur le respect d'objectifs toujours plus ambitieux. Vouloir mener un projet avec 20% de réduction de coût et 15% de réduction de délai pour livrer un produit qui soit 10% plus performant et 15% plus rapide à produire, sachant que ces paramètres sont corrélés, entraîne une difficulté de plus en plus grande à emmener le projet vers une zone de succès. Il y a un risque de plus en plus grand de ne pas pouvoir satisfaire l'ensemble des paramètres demandés. Cela demande de comprendre plus finement en quoi la complexité rajoute des risques (positifs et négatifs) aux risques déjà inhérents au mode projet.

Les liens entre les notions de complexité, d'incertitude et de risque sont encore peu développés que ce soit dans le monde académique ou industriel. Par exemple, Parsons-Hann et Liu (2005) affirment que :

« Il est clair que la complexité des spécifications client contribuent au risque d'échec des projets, ce qui n'est pas apparent c'est à quel degré cette affirmation est vraie »

Considérons un chef de projet qui analyse le système projet à un instant  $T$  afin de prendre un certain nombre de décisions pour atteindre un certain état à l'instant  $T+1$ . Le projet peut donc être décrit par son état réel à l'instant  $T$ , par sa complexité réelle à l'instant  $T$  et par un état planifié à l'instant  $T+1$ .

Pour commencer, le chef de projet a une certaine perception de l'état de son projet à l'instant  $T$ , qui est naturellement plus ou moins différente de l'état réel, ce qui nous amène à appeler cette différence  $\Delta_1(T)$ . Cette différence a principalement deux causes. La première est que le chef de projet a son propre cadre de référence, sa propre culture, sa propre personnalité, et tout ceci altère sa perception de la réalité. La seconde cause est que justement une des caractéristiques fondamentales de la complexité est d'impliquer forcément que la réalité ne peut être perçue complètement. Il y a donc une deuxième différence entre la complexité réelle du système et la complexité perçue, que nous appelons  $\Delta_2(T)$ . Jaafari (2003) insiste sur le fait que les individus vont voir l'état du projet et en particulier sa complexité avec un certain filtre qui s'ajoute à la difficulté naturelle de perception de cette complexité.

**Ambiguïté.** Ces deux phénomènes  $\Delta_1(T)$  and  $\Delta_2(T)$  sont regroupés sous le concept d'ambiguïté, dont une définition, basée sur (Pich and al. 2002) et (Haas 2008) est proposée ci-dessous :

« L'ambiguïté est une conséquence de la complexité projet, qui se caractérise par un manque de compréhension et de conscience de la réalité du projet, et par une différence de perception entre les différents individus impliqués dans le projet. »

Il peut donc y avoir une ambiguïté pour un individu (vis-à-vis de la réalité du projet), et pour plusieurs individus (plusieurs perceptions de la même réalité, chacune étant en partie fautive mais différemment). L'ambiguïté rend forcément plus difficile l'analyse, la prévision et donc la maîtrise du système projet, et nécessite de partager au maximum des représentations communes ce qui dépend en partie des structures mises en place et des compétences de leadership du chef de projet et des autres managers dans le projet.

**Incertainité.** Les décisions prises par le chef de projet à l'instant  $T$  sont altérées par la complexité. Que ce soit au niveau de l'information remontée pour prendre la décision ou au niveau de l'information transmise une fois la décision prise, à chaque fois des dégradations sont possibles. Plus il y a de transmissions avec facteurs de diversité (culturelle, métier, responsabilité, etc...), plus il y a de chances de subir ces dégradations. La combinaison des facteurs diversité, taille et interdépendances est donc ici perturbante.

De plus, le chef de projet traite toujours avec la complexité perçue, ce qui signifie que ses décisions seront partiellement adaptées. Enfin, la complexité réelle lui rend difficile l'anticipation et la prévision, à la fois du comportement possible du système et de l'impact de sa décision sur ce comportement.

La complexité du système induit donc forcément un risque de différence entre l'état planifié à l'instant  $T+1$  et l'état réel à l'instant  $T+1$ , que nous appelons  $\Delta_3(T)$  et qui caractérise une des formes d'incertitude que rencontre le projet :

« L'incertitude projet liée à la complexité correspond à l'incapacité à complètement décrire le système projet ainsi que l'impact des décisions et des actions qui en découlent, amenant donc une difficulté à prévoir l'évolution du système et à le garder sous contrôle. »

**Propagation.** Considérons un paramètre  $P$  connu à un instant  $T$  avec une certaine incertitude  $\delta_{P(T)}$ .  $P$  peut être un attribut d'une tâche (coût, durée), d'un livrable ou d'un acteur par exemple. La complexité engendre des interactions nombreuses et variées avec des objets similaires ou hétérogènes par rapport à l'objet auquel est associé  $P$ . Cela signifie qu'il sera difficile de connaître l'influence globale exacte de  $P$  ou d'un changement de  $P$ , qu'il soit voulu ou subi. De même, l'incertitude sur  $P$  va elle aussi se propager, et comme elle peut s'amplifier ou se résorber et qu'elle passe d'une nature d'objet à une autre, il devient extrêmement difficile d'anticiper ce qui pourrait se passer dans le système projet.

Une définition de la propagation est donnée ci-dessous :

« Le phénomène de propagation est une conséquence de la complexité, qui correspond au fait qu'un changement dans un des paramètres du système projet a des chances de se propager au sein de ce système du fait de l'existence d'interactions nombreuses et variées. »

Comme souligné par Heylighen et co-auteurs (2006), « au fur et à mesure que les progrès technologiques rendent les moyens de production, de transport et de communication de plus en plus efficaces, nous interagissons avec de plus en plus de personnes, d'organisations, de systèmes et d'objets ». Dans le cas du management de projet, un changement, qu'il soit souhaité ou subi, peut affecter plus ou moins le reste du projet, et notamment à des moments différents et sur des natures d'objets différents. Les phénomènes de propagation vont donc être d'autant plus difficiles à anticiper et gérer que le projet sera complexe, avec de nombreux objets variés en interaction.

**Entropie et chaos.** Des phénomènes turbulents, voire chaotiques, peuvent apparaître pendant le projet. Il est bien sûr sensible aux conditions initiales, mais même en cours de projet un événement en apparence insignifiant ou d'impact faible peut être l'origine d'une réaction en chaîne qui débouche sur un désastre. Le chaos est une situation où les évolutions même à court-terme du système ne sont pas prévisibles, notamment à cause de la coexistence d'interdépendance et de variabilité dans les paramètres (Marle 2002). Tous ces phénomènes sont une source majeure d'imprévisibilité et donc de difficulté à décider, à maîtriser le système projet.

**La complexité rend le projet en partie imprévisible.** Un problème complexe peut provenir d'interactions entre parties identifiables séparément, mais souvent le phénomène complexe est indécomposable car émerge une propriété nouvelle qui n'existe pas dans les parties séparément. Il devient dans ce cas impossible de prévoir complètement l'évolution du projet, de définir quel est le problème à résoudre, de connaître les cibles qui peuvent changer. Les systèmes qui ont cette particularité peuvent aboutir à des explosions ou des changements radicaux. Nous distinguons deux types d'imprévisibilité :

- L'imprévisibilité intrinsèque due à la complexité des phénomènes réels, dont l'influence des hommes est un paramètre parmi d'autres,
- L'imprévisibilité de représentation, complexité due aux acteurs et observateurs. Elle repose sur des aspects cognitifs (raisonnements contradictoires, rôle du virtuel et des représentations dans la perception, qualité de l'information) ainsi que les conflits entre ces acteurs. On n'arrive pas à prédire le système car la représentation que l'on a du système ne nous permet pas de le faire (à cause du delta entre le réel et la représentation).

Nous constatons que la notion d'imprévisibilité présente dans le langage différents niveaux passant du non déterministe complet (ne peut rien dire, ne sait pas, hasard total) au flou et aléatoire (probabilité, comportement aléatoire) puis à l'information partielle (zones limitées de prévisibilité, ou trajectoires possibles mais imprévisibles). L'imprévisibilité sera due à une prédiction déficiente conjuguée avec un contexte perturbant. La prédiction peut être faite en théorie ou bien induite après retour d'expérience.

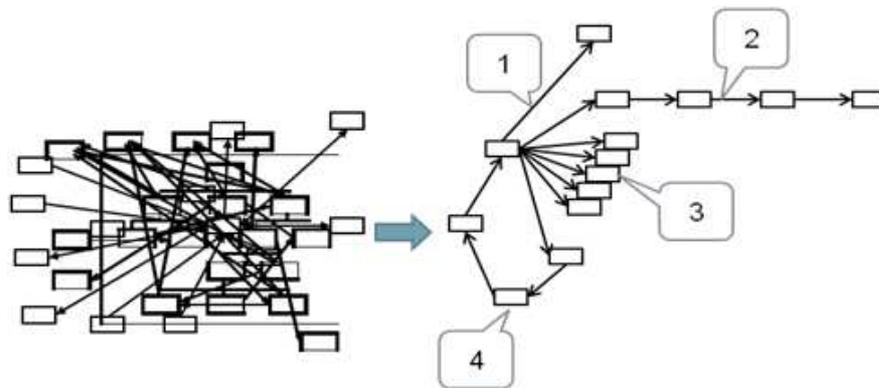
Elle est inductive si ayant observé qu'une propriété émerge chaque fois qu'un système fait apparaître une propriété au niveau inférieur, on peut induire cette propriété nouvelle lorsque la condition se reproduit au niveau inférieur. La prédictibilité théorique consiste elle à pouvoir construire une théorie au niveau global en connaissant toutes les lois du niveau inférieur. L'imprédictibilité forte est l'inverse de cette dernière, elle se présente lors de situations dans lesquelles on ne peut pas faire une théorie au niveau supérieur.

Par contre, l'imprédictibilité inductive peut être comblée en partie par le retour d'expérience. Il s'agit donc de trouver de nouveaux outils pour intégrer la réalité plurielle de la complexité. Une des principales caractéristiques d'un système complexe est donc qu'il n'est pas complètement prévisible. Ceci peut donc amener à l'émergence de phénomènes qui n'avaient pas été prévus ou qui ne pouvaient pas être prévus. La distinction entre ces deux derniers points est importante, dans le sens où on parle à la fois du caractère prévisible ou pas d'un événement mais simultanément de la capacité de l'observateur à faire cette prévision ou pas. À événement identique, certains décideurs seront donc capables de le prévoir et d'autres ne le seront pas. La complexité est donc bien relative à la fois au système mais également aux acteurs qui vont gérer ce système et à leur capacité.

**Bonne et mauvaise complexité.** Ceci étant dit, il est important de rappeler ici que l'émergence d'un phénomène non prévu n'est pas forcément quelque chose de négatif. On parle d'opportunité à saisir, ou d'évolution favorable ou encore de coup de chance... Ceci a deux conséquences importantes : la première est que pour un événement donné, il n'est pas dit qu'il soit perçu de la même façon par tous les acteurs d'un projet. La deuxième est qu'en termes d'action il ne faut surtout pas chercher aveuglément à réduire la complexité. Il est possible ici de tenter une analogie avec le gras dans le corps humain. En effet, c'est un élément nécessaire à la vie et qui donc doit être présent en quantité minimale, notamment pour que le cerveau puisse fonctionner correctement. En revanche, il peut devenir dérangeant d'un point de vue santé ou esthétique lorsqu'il est présent en trop grande quantité ou au mauvais endroit. Comme pour le gras, il nous paraît donc important de distinguer la bonne complexité et la mauvaise complexité, afin de savoir sur laquelle agir et à quel moment afin de réduire les risques négatifs et de saisir les opportunités ou risques positifs.

**Synthèse.** La complexité du projet engendre quatre phénomènes potentiellement agréables ou désagréables que nous allons aborder, schématisés dans la Figure 22 ci-dessous :

1. Une interaction avec amplification forte ou entre éléments de nature différente,
2. Une réaction en chaîne (ou cascade, ou effet domino ou papillon),
3. Une conséquence multiple, avec une source générant plusieurs phénomènes simultanément (château de cartes),
4. Une boucle, avec le phénomène d'origine qui se trouve renforcé ou amplifié ou simplement entretenu à l'issue de la propagation.



**Figure 22 : Quatre types de phénomènes induits par la complexité**

Ils sont définis ici une première fois comme des Evènements Complexes Potentiels (ECP) et seront détaillés par la suite.

### 2.2.3. Les limites des méthodes actuelles de gestion d'un projet ou de ses risques

Ce paragraphe introduit le problème principal lié à la complexité, qui est que les projets sont essentiellement gérés comme des systèmes arborescents ou quasi-décomposables au sens de Simon, alors qu'ils ne le sont pas. Comme le montre la Figure 23 ci-dessous, cela se traduit à la fois dans la gestion du projet et dans la gestion de ses risques. Par exemple, un problème technique sur un composant produit entraîne un retard sur la tâche en question, donc un surcoût sur cette tâche, un décalage de la tâche suivante, puis une restriction de l'espace disponible pour les autres composants suite à décision pour résoudre le problème technique, et ainsi de suite avec potentiellement accumulation de retards, surcoûts tant projet que produit, et problèmes qualité et humains associés. Chaque document et outil actuel gère partiellement ces relations multiples.

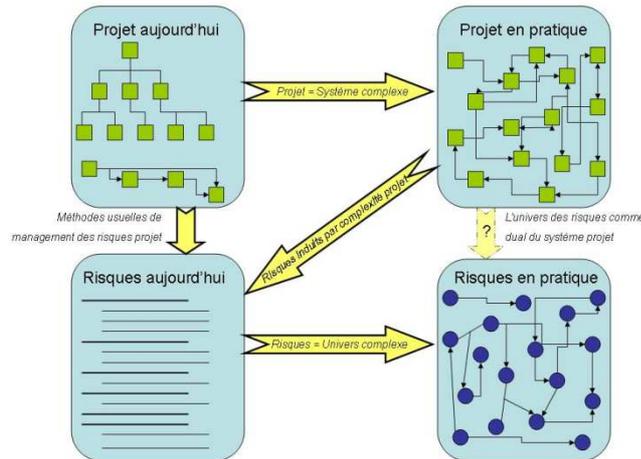


Figure 23 : Représentation du décalage entre la complexité réelle des projets et la façon dont ils sont gérés

#### Limites des techniques de planification et de pilotage

La grande majorité des documents, méthodes et outils permettant de gérer le projet ou ses risques sont à base d'arborescences représentant une seule interaction, voire même de simples listes ne gérant aucune interaction. Ceci est très loin de la complexité réelle du projet et donc très insuffisant pour la gérer (Marle 2002). La planification classique ou la plus répandue se fait par la méthode du chemin critique. Elle modélise des relations séquentielles entre tâches et débouche sur le PERT, puis le Gantt et le Gantt chargé. Ce dernier correspond à l'affectation dans le temps des ressources aux tâches, ce qui combine un lien d'affectation (ou de contribution) ressource-tâche à un lien séquentiel tâche-tâche.

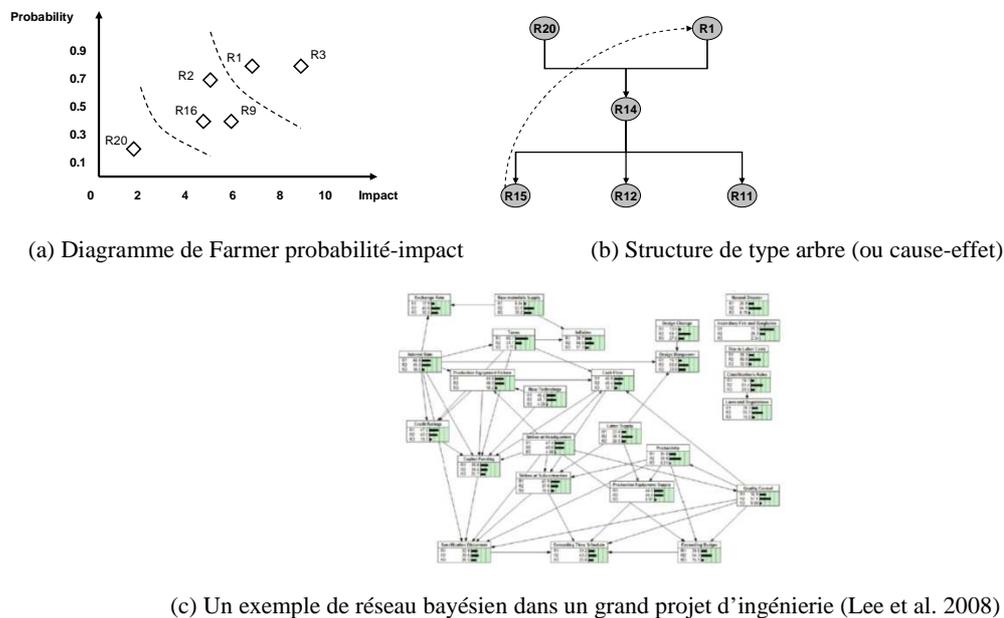
La méthode de la chaîne critique propose une gestion mutualisée des incertitudes sur les estimations. En effet, la marge de chaque estimation individuelle est enlevée et redistribuée collectivement là où on pense qu'elle sera le plus utile, sous forme de tampon ou stock de temps. De plus, elle présente une particularité qui est de traiter en amont l'affectation des ressources et les éventuels conflits de sur-utilisation qui en découlent. Cela débouche sur la formalisation de nouveaux liens, appelés liens de ressources, qui modélisent artificiellement une séquentialité entre deux tâches, non pas liée au travail, mais parce qu'elles mobilisent les mêmes ressources. On reste toutefois d'un point de vue complexité dans le même cadre de peu d'interactions considérées simultanément.

La méthode dite de convergence ou à base de jalons fonctionne avec des intervalles de temps balisés par des jalons de décision. Le principe de fonctionner avec des jalons ou avec des tâches est équivalent, la différence fondamentale (et positive) est de laisser plus d'autonomie aux acteurs sur comment ils vont travailler dans cet intervalle. On commence à trouver ici des interactions d'échange entre tâches en parallèle qui sont sous-entendues par ce type de fonctionnement, même si non officiellement formalisées.

Une dernière méthode est à base de chaînes d'événements. Elle généralise le modèle précédent puisqu'elle considère d'autres événements que les jalons principaux du projet. Elle permet de focaliser d'avantage sur les interactions possibles entre événements, mais sans l'outiller et le formaliser vraiment. Le paragraphe suivant va traiter du cas particulier des méthodes de gestion des risques projet.

### Limites spécifiques à la gestion des risques

De nombreuses méthodes de gestion des risques analysent indépendamment les caractéristiques des risques (Figure 24a). Ceux-ci sont triés selon un paramètre unique (classement) ou positionnés selon deux ou trois paramètres (graphe à 2 axes, ou graphe à bulles avec taille variable de la bulle). Pour mieux comprendre un risque, il est possible de tenir compte de ses causes et/ou ses effets. Plusieurs méthodes intègrent ce principe en se concentrant sur un risque particulier afin de simplifier le problème (Figure 24b). Quelques méthodes spécifiques permettent de modéliser les corrélations entre risques avec une structure de type réseau. Toutefois, même dans ce cas et en prenant l'exemple des réseaux bayésiens (Figure 24c), certaines limites existent dans la complexité abordable par ces méthodes. Les réseaux bayésiens sont par nature acycliques et orientés et ne permettent pas directement de traiter de phénomènes bouclés. Les chaînes de Markov permettent de modéliser à loisir des transitions entre états, mais ne sont pas facilement implantables, surtout s'il y a beaucoup de risques et beaucoup d'interactions potentielles entre ces risques. Ces méthodes peuvent être très qualitatives ou au contraire très puissantes en termes de quantification. Nous allons essayer de faire différemment, pour se focaliser sur l'aspect complexité des interactions prises en compte et apporter des choses sur ces aspects événements complexes, pas sur la profondeur ou la précision de la quantification.



**Figure 24 : Représentation graphique des méthodes classiques de gestion des risques projet**

La catégorisation (ou classification) des risques en sous-groupes plus petits et plus facilement gérables est rendue obligatoire par le nombre de risques qu'il faut gérer simultanément. Toutefois, il est impossible de générer une classification purement arborescente au sens où il n'y aurait pas d'interaction entre les sous-groupes. Ce point sera repris spécifiquement dans la section 5.4 (page 108 et suivantes). Les interactions entre risques doivent donc être intégrées dans une structure de type réseau complexe au lieu des listes ou arborescences classiques. En effet, les phénomènes de propagation dans une structure complexe peuvent altérer grandement la perception de l'évolution possible de ce système. La différence entre ce qui pourrait se passer et ce qu'on croit fait que les décisions prises ne sont pas les bonnes. Ward (1999) dit que les processus traditionnels d'analyse ne tiennent pas compte d'une information potentiellement pertinente sur la propagation des impacts éventuels. D'un point de vue pratique, cela signifie que certains risques peuvent être négligés car faibles pris individuellement alors qu'ils sont susceptibles de déclencher d'autres risques de par leur position dans le réseau. Des détails sur les limites des méthodes de gestion des risques projet sont disponibles dans l'article « Decision Support Systems - A Simulation-Based Risk Network Model for Decision Support in PRM » (Annexe 9.7 page 184). La complexité du projet amène donc des vulnérabilités dans la réalisation de ce projet, que ce soit au niveau de ses processus, en particulier de décision, ou de ses résultats, tant du point de vue du système résultant que de la performance du projet (Shenhar 2004 ; Dvir et al. 2003).

### 2.2.4. La conséquence : la vulnérabilité du projet

Le but d'un projet et du management de projet est d'atteindre (voire de dépasser) les objectifs fixés. En pratique, l'échec final d'un projet ou la dégradation en cours de route de sa performance peuvent être liés à l'apparition effective d'évènements qui perturbent son bon déroulement et son évolution. On ne parle plus alors de risque mais de problème. Toutefois, ces risques n'ont en fait un impact sur le système projet que dans le cas où ce dernier est vulnérable. C'est ainsi que des mesures préventives découlant des analyses de risques classiques peuvent minimiser l'impact d'un risque en rendant au préalable le système projet moins vulnérable à ce risque. La perte de performance ou dommage subis par un élément du système projet (ou le système projet dans son intégralité) s'explique alors par la présence simultanée de l'apparition d'un risque et d'un état du projet vulnérable à ce risque. J'ai identifié au cours de ma thèse que la complexité était un facteur de vulnérabilité du projet, car non seulement elle pouvait engendrer des phénomènes désagréables pour le projet, mais en plus elle perturbait le management de ce projet par son caractère imprévisible ou difficilement prévisible. Il fallait donc élargir le périmètre du management des risques projet par le biais de la notion de vulnérabilité, afin d'étudier simultanément l'apparition potentielle de risques et la capacité du projet à résister à ces risques. Cela s'est traduit dans la spécification initiale de la thèse de Ludovic-Alexandre VIDAL. Le périmètre particulier de nos recherches est donc le diagnostic de vulnérabilité face à la complexité du projet, ce qui comprend l'identification des faiblesses internes du système (le terrain vulnérable) et des attaques potentielles, ou évènements complexes potentiels, qui pourraient affecter le terrain vulnérable.

#### **Le concept de vulnérabilité**

D'après certains travaux récents, le concept de vulnérabilité apparaît comme prometteur dans le domaine de la gestion des risques, en particulier dans le contexte du projet (Zhang 2007). En effet, il permet d'avoir une vision plus orientée système et moins focalisée danger. On cherche donc à mettre en avant grâce à l'approche systémique couramment utilisée au LGI des objets du projet potentiellement mis en danger, en incluant les évènements qu'ils pourraient subir et leur capacité de résister à ces évènements. D'un point de vue étymologique, être vulnérable signifie soit « être capable d'être physiquement ou émotionnellement blessé, touché ou atteint », soit être « ouvert à la tentation, persuasion, censure, etc... », ou encore « être exposé à la maladie, à un danger, à un désastre ». Même si les termes « vulnérable » et « invulnérable » sont utilisés dans le langage courant, ils ne le sont pas dans le même contexte (pas de symétrie) et ils manquent de clarté et de précision, comme les termes « risques », « projet », « décision » ou encore « complexité » qui sont eux-mêmes sujets à définitions et interprétations multiples. Ce paragraphe a donc pour but de présenter rapidement le(s) concept(s) de vulnérabilité présent(s) dans la littérature, avant de focaliser sur le cas particulier du projet.

Durand (2007) donne une définition de la vulnérabilité d'une organisation comme le « degré auquel une organisation est susceptible ou non de faire face aux dangers auxquels elle est exposée », précisant que « la vulnérabilité mesure l'état de carence des mécanismes de fonctionnement et de défense d'un système organisationnel, résultant d'un processus de fragilisation de causes à effets et aboutissant à une sensibilité accrue aux dangers internes et externes ». Durand caractérise la vulnérabilité par la résilience, mesure qui détermine l'aptitude d'un système à faire face aux dangers de façon pertinente et efficace et prenant notamment en compte les dispositifs de défense existants au sein du système. Hollnagel (2011) dit que « la résilience est l'aptitude intrinsèque d'un système à ajuster son fonctionnement avant, pendant ou après la survenue de changements ou de perturbations et ce afin qu'il puisse poursuivre son activité dans des conditions attendues ou inattendues ». Cela complète ainsi la caractérisation usuelle du risque en le décrivant par un triplet (Probabilité d'occurrence, Gravité des conséquences, Résilience) pour prendre en compte le contexte d'apparition du risque afin de correctement le décrire. Mora (2009) définit la notion de vulnérabilité d'un environnement géographique à travers celle de risque environnemental en indiquant que « le risque est la combinaison de la probabilité qu'un danger, ayant atteint un seuil particulier d'intensité, induise des dommages aux éléments vulnérables dans un contexte spécifique géographique et temporel ». Là encore, l'auteur insiste donc sur le caractère conjoint et indissociable des notions de vulnérabilité et de danger pour qu'un risque affecte un système.

C'est dans cette perspective que nous développons dans nos travaux la notion de vulnérabilité d'un projet en tâchant de définir convenablement des caractéristiques permettant d'aider à la maîtrise de sa performance globale. Même s'il existe un manque de consensus autour de la notion de vulnérabilité (Luers et al. 2003), notre état de l'art a permis de proposer la définition suivante de la vulnérabilité projet (Vidal et Marle 2010) :

« La caractéristique d'un projet (ou d'un sous-système du projet) qui le rend susceptible d'être affecté par des événements négatifs, et, si ceux-ci se produisent, de ne pas être capable de les traiter, ce qui pourrait au final dégrader les valeurs produites par le projet »

La susceptibilité inclut la probabilité (ou vraisemblance ou possibilité) d'occurrence de l'évènement et la défense préventive du projet, c'est-à-dire ce qui pourrait empêcher l'évènement d'impacter le projet.

La non-capacité inclut la non-résistance (dommage immédiat) et la résilience (restauration de la performance dans le temps après impact), évoqués dans d'autres travaux sur des contextes différents (Perry et al. 2006 ; Dibben et Chester 1999 ; Kelly et Adger 1999).

De plus, la vulnérabilité existe si et seulement s'il y a co-existence de la susceptibilité d'être affecté par un évènement et de la non-capacité à répondre à cet évènement. Il existe donc deux liens entre la notion de vulnérabilité et la notion de risque. Tout d'abord, il y a un lien par rapport à la co-existence de l'évènement et d'un état du projet sensible à cet évènement. Ensuite, il y a un lien entre les dommages que peut causer un évènement et l'état du projet par rapport à la réponse à cet évènement. Cela exprime le fait qu'un dommage est une coïncidence entre un évènement et un objet vulnérable à cet évènement, ce qui ressemble au modèle stresser-récepteur utilisé notamment en médecine.

Au final, plutôt que de focaliser uniquement sur les évènements potentiels, on propose de s'intéresser aux couples (évènement, objet potentiellement impacté par cet évènement).

### **Caractérisation de la vulnérabilité projet**

Nous définissons au final la vulnérabilité d'un système (par exemple le système projet dans son intégralité ou un de ses sous-systèmes comme le système de pilotage ou le système opérationnel) comme un vecteur de vulnérabilité  $V$  qui intègre l'ensemble des vulnérabilités élémentaires du système. La formalisation de ce vecteur permet d'introduire les valeurs suivantes, qui reprennent des éléments de la section 2.1, en particulier la Figure 21 (page 41) :

- Vulnérabilité en Détection,
- Vulnérabilité en Prévention,
- Vulnérabilité en Protection,
- Vulnérabilité en Réparation,
- Vulnérabilité en Confinement ou Anticipation de propagation,
- Vulnérabilité en Communication.

On distingue une vulnérabilité plus orientée vers les causes de l'évènement (comprenant sa détection préliminaire, l'anticipation de ses impacts potentiels et d'éventuelles capacités de prévention), une vulnérabilité plus orientée sur l'impact direct de l'évènement (comprenant la capacité à détecter que l'évènement a eu lieu, à encaisser ou se protéger de ses conséquences directes et éventuellement à se réparer) et une vulnérabilité plus orientée sur les conséquences indirectes de l'évènement (comprenant la capacité à anticiper et éventuellement prévenir ou se protéger de ces conséquences indirectes, notamment en confinant le problème et en empêchant qu'il se propage et dégénère).

Nous généralisons ensuite l'étude aux évènements complexes indirects. Ils vont au-delà de la relation directe d'un objet avec un autre, mais se produisent via des réactions de propagation. On parlera donc de vulnérabilité face à un évènement en relation directe, puis de vulnérabilité face à un évènement en relation indirecte, qu'on appellera Evènement Complexe Potentiel (ECP).

### 2.3. PROBLEMATIQUES DE RECHERCHE ET PROGRAMME ASSOCIE

Plusieurs travaux, y compris les nôtres, ont permis de montrer les limites des méthodes actuelles de gestion de projet, qui se traduisent essentiellement par des difficultés dans la prise de décision et par le caractère imprévisible du projet, c'est-à-dire le caractère non fiable des décisions prises (Jaafari 2003; Meijer 2002; Williams 1999). Il y a donc un besoin d'aller au-delà du principe rigide « planifier et contrôler » afin d'intégrer l'imprévisibilité et l'irrationalité inhérente à la complexité du projet.

#### 2.3.1. Problématique et objectifs de recherche

Un des problèmes majeurs aujourd'hui avec la complexité des projets est qu'un certain nombre de phénomènes échappe à la capacité de gestion des décideurs dans le projet. Il y a des risques qui sont générés par la complexité du projet et les risques eux-mêmes sont reliés par des liens complexes. Cela entraîne un certain nombre de surprises, en général mauvaises, pour les décideurs (Besoin 1, Figure 25).

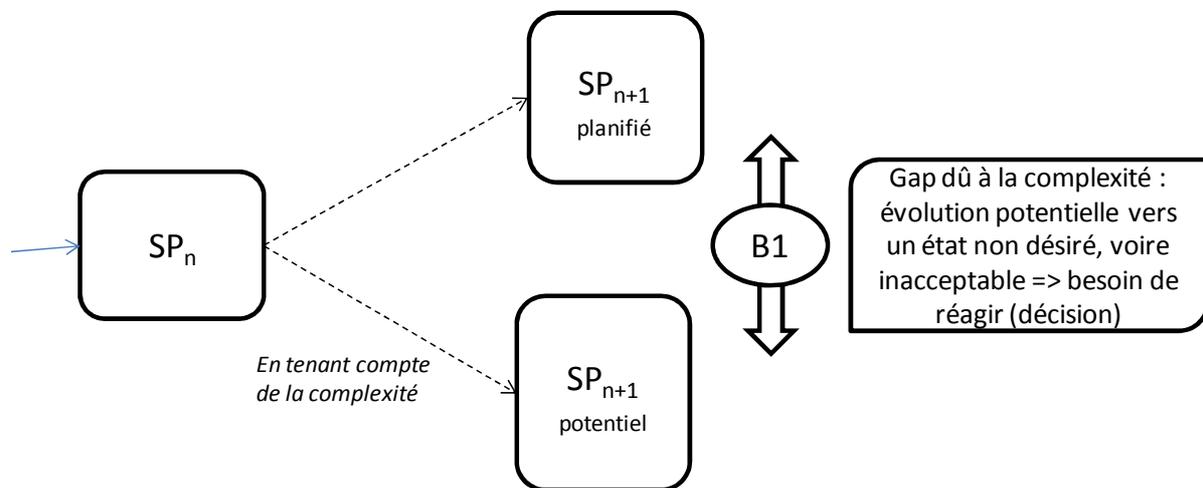


Figure 25: la complexité peut faire que le projet n'évolue pas comme prévu

Les aider à mieux identifier ces phénomènes complexes et à mieux anticiper les propagations dans le temps, c'est-à-dire les comportements possibles du système projet, permettrait de les aider à prendre des décisions plus fiables. De plus, lorsqu'une décision est envisagée, il faut également anticiper le comportement du projet avec cette décision, en étant conscient que son impact peut être corrigé par la présence de la complexité (Besoin 2, Figure 26).

Il y a donc une incapacité à maîtriser globalement la trajectoire du système projet, car elle est perturbée et le système de management est lui-même perturbé par la complexité. Cela se manifeste à différents moments, que ce soit pour la détection ou l'anticipation d'événements perturbateurs, ou pour la prévention ou protection ou réparation du système face à ces événements. Cela se traduit par des défaillances, des pertes et des gaspillages, à la fois sur la performance du projet (retards, surcoûts, etc...), mais également sur la performance du système résultant du projet (qualité, prix de revient, fiabilité, etc...). La première performance est unique, la seconde peut parfois se payer beaucoup plus cher, car il faut multiplier par le nombre d'exemplaires du produit commercialisé (par exemple), en subissant autant de fois les conséquences sur le prix de vente, sur la fiabilité ou le coût de destruction.

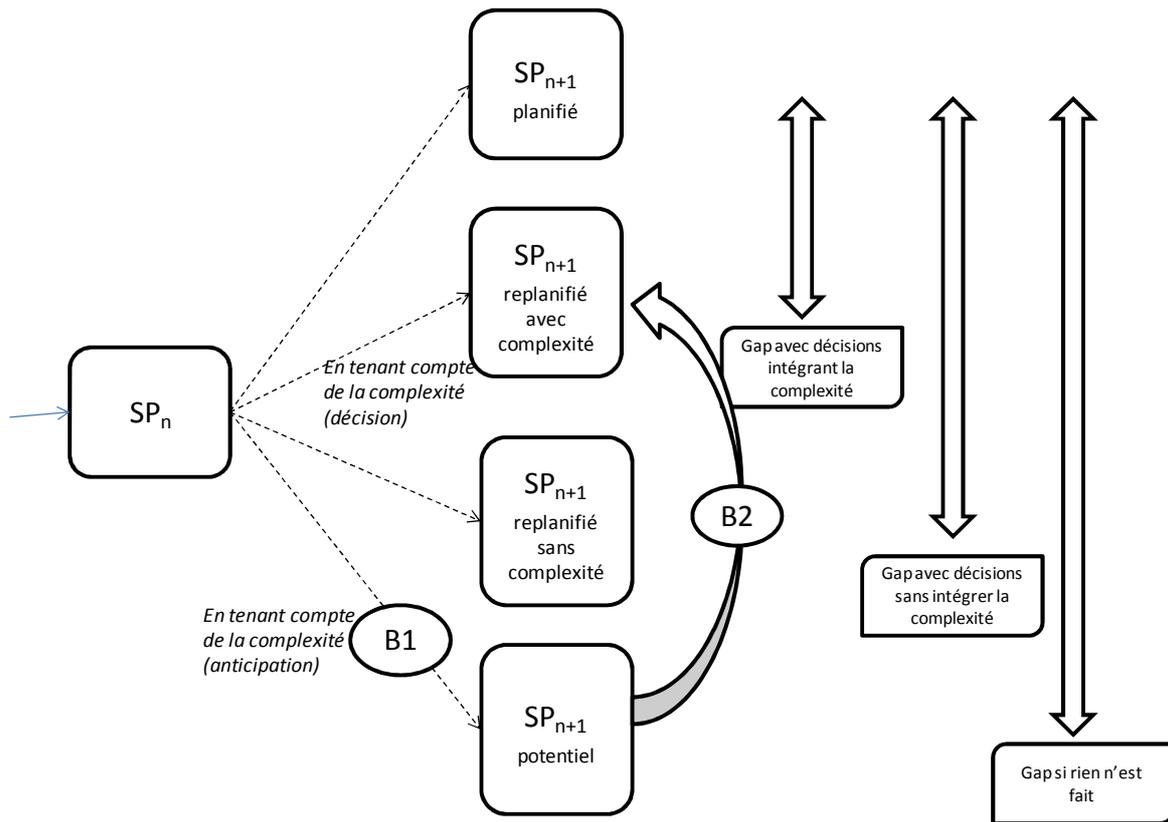


Figure 26 : La complexité peut faire que la décision n'a pas l'impact prévu sur l'évolution future du projet

Pour remédier à cela, nous allons nous attaquer à la problématique de recherche suivante :

**Comment diagnostiquer et traiter la vulnérabilité du système projet face à sa complexité, afin de maîtriser son évolution sur une trajectoire acceptable et vers un objectif acceptable ?**

Cela se traduit par l'élaboration d'un processus de gestion de la vulnérabilité projet face à sa complexité et se décline en trois sous-objectifs de recherche :

- O1 : Modéliser la complexité du système projet.
- O2 : Analyser les comportements possibles du système projet, ceci afin de mieux anticiper les phénomènes de propagation et de diagnostiquer la vulnérabilité du projet par rapport à sa complexité.
- O3 : Aider à la prise de décision pour maintenir ou remettre le projet sur une trajectoire l'emmenant vers l'atteinte de ses objectifs, en tenant compte de sa complexité.

Ces trois objectifs s'enchaînent, puisque les décisions reposent en partie sur les analyses complémentaires, elles-mêmes supportées par le modèle de description de la complexité du projet. En termes de réalisation et de structure du mémoire, ils correspondent aux trois blocs déjà introduits dans le chapitre 1 et détaillés ensuite respectivement dans les chapitres 3, 4 et 5.

L'apport par rapport aux méthodes actuelles de management de projet est d'aider les managers à prendre des décisions dans cet environnement complexe et risqué. Les risques étudiés en particulier sont les risques induits par la complexité. La vulnérabilité est l'absence ou l'insuffisance de capacité de détecter ces risques, de les prévenir, de s'en protéger, de s'en remettre et/ou de les confiner pour qu'ils ne dégénèrent pas.

2.3.2. Programme de recherche

Le programme de recherche est représenté ci-dessous. Il correspond à un processus similaire à celui de la gestion des risques projet classique, puisqu'il comprend un processus d'identification et d'évaluation (chapitre 3), un processus d'analyse (chapitre 4) et un processus de traitement (chapitre 5). L'enchaînement des processus correspond donc à la structure du mémoire (Figure 27). Les analyses sont découpées par type d'analyse (directe ou indirecte, des évènements complexes potentiels ou des faiblesses internes). Les traitements sont découpés par système adressé.

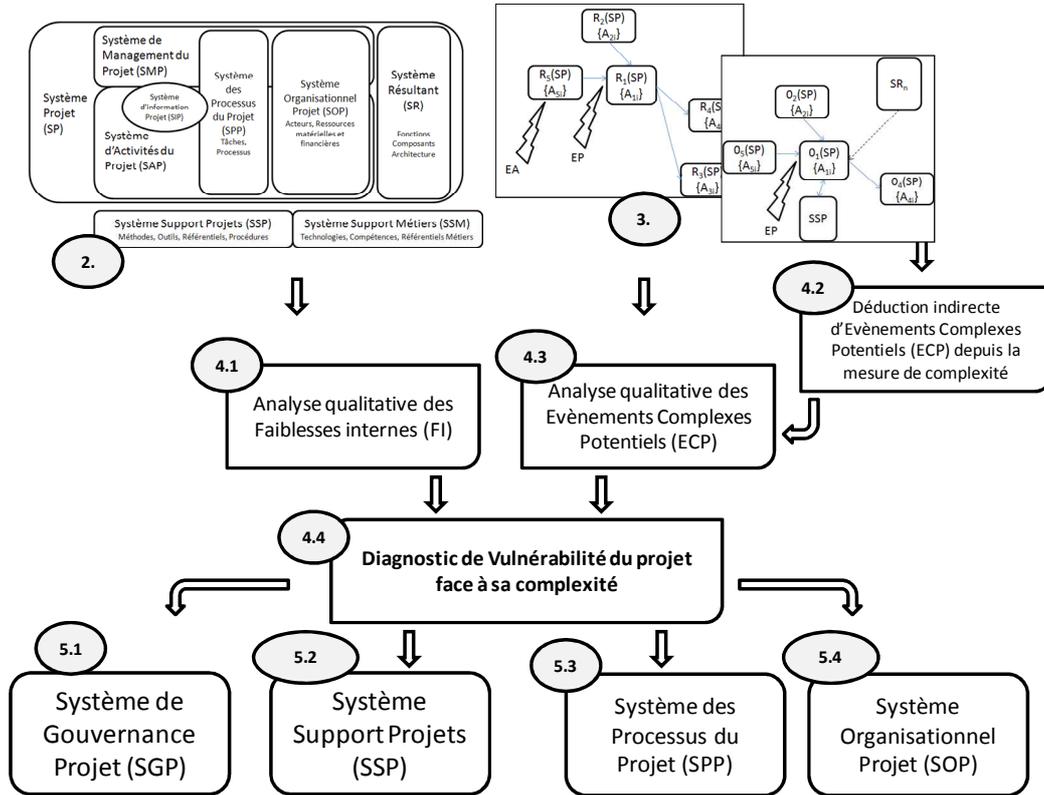


Figure 27 : Structure du programme de recherche et plan du mémoire

Des sous-objectifs sont associés aux 3 objectifs décrits en page précédente :

- O1.1 - Etablir un référentiel permettant de recenser les facteurs contributifs de la complexité, préliminaire à l'élaboration d'un modèle (O1, section 3.1, page 58),
- O1.2 - Etablir un modèle générique permettant d'aborder le problème de la complexité projet tant par l'angle des objets constituant ce projet que par l'angle des risques pouvant le perturber (O1, section 3.2 page 63),
- O2.1 - Développer un modèle matriciel permettant d'identifier puis de qualifier les interactions entre les éléments considérés précédemment (O2, section 3.3 page 70),
- O2.2 - Estimer certaines faiblesses internes du projet, notamment par la notion de maturité (O2, section 4.1 page 76),
- O2.3 - Anticiper par différentes techniques et avec différentes données d'entrée les phénomènes dûs à la propagation entre des éléments interreliés (O2, sections 4.2 page 80 et 4.3 page 86),
- O2.4 - Réduire l'ambiguïté associée à la perception du système projet par l'apport du concept de vulnérabilité, permettant de focaliser moins sur l'évènement isolé et d'avantage sur l'objet potentiellement impacté par cet évènement (O2, section 4.4 page 92),

- O3.1 - Etablir une méthode innovante dans la prise de décision relative à la sélection de projets en interaction (O3, section 5.1 page 98),
- O3.2 - Tenir compte des interactions dans la prise de décision relative à la mise en place de méthode de gestion des risques (O3, section 5.2 page 101),
- O3.3 - Tenir compte des interactions et des phénomènes associés de propagation potentielle dans la prise de décision relative à des actions de prévention ou de protection face aux risques (O3, section 5.3 page 104),
- O3.4 - Tenir compte des interactions et des phénomènes associés de propagation potentielle dans la prise de décision relative à l'organisation du projet (O3, section 5.4 page 108).

Chaque projet concret de recherche (thèse, stage, collaboration, publication) se rattache naturellement à un ou plusieurs des trois objectifs de base.

**Apports scientifiques.** Le but est de toujours apporter quelque chose par rapport au monde du projet, soit en creusant un outil déjà appliqué, soit en réappliquant un outil existant dans d'autres systèmes, soit en combinant des outils jamais utilisés ensemble. Il y a un mélange de réutilisation dans un contexte différent, et de création dans ce contexte particulier d'outils nouveaux. En fait, le monde du projet présente certaines caractéristiques d'incertitude et d'instabilité inhérentes à sa définition, et qui font que les données manipulées, la capacité de les identifier, de les quantifier, de les fiabiliser, sont très spécifiques.

**Finalités industrielles et « clients » de recherche.** Le but est de toujours tester si possible sur un terrain réel, avec un besoin formalisé en amont ou avec une application trouvée en cours de recherche sur un sujet déjà défini. Cela signifie deux choses qui vont se retrouver dans toutes nos propositions : un modèle, un outil, une méthode doit à la fois apporter quelque chose en termes de fiabilité ou de finesse d'information et donc de décision, mais également être rapidement et facilement applicable, sans quoi il/elle resterait à la marge et réservé(e) à des études ponctuelles et à quelques experts initiés.

**Adaptation de nos propositions aux différents contextes possibles.** En plus du schéma global proposé, il est possible de personnaliser l'utilisation de tel ou tel bloc en fonction d'un besoin et d'un contexte précis (disponibilité des données notamment). On peut ainsi se concentrer sur l'analyse des vulnérabilités dues aux faiblesses internes, puis décider d'agir sur ces éléments vulnérables. On peut se concentrer sur l'anticipation d'événements complexes potentiels particuliers dus à l'occurrence de telle ou telle décision dont on souhaite anticiper les conséquences. Il est possible de rester au niveau multi-projets, en travaillant à la fois sur le choix d'une méthode de gestion des risques adaptée au caractère complexe des projets et à leur sélection parmi un ensemble d'idées possibles. On peut enfin adresser plus globalement le processus, en mobilisant l'ensemble des blocs pour une étude complète.

### 3. MODELISATION DE LA COMPLEXITE DU SYSTEME PROJET

Ce chapitre présente plusieurs propositions permettant d'enrichir ou d'adapter la notion de complexité, sa définition et sa caractérisation dans le contexte projet.

Il présente tout d'abord un référentiel de complexité projet recensant l'ensemble des facteurs contributeurs de complexité.

Ensuite sont introduits les objets constituant un projet. Ils ont un certain nombre d'attributs et sont en interaction les uns avec les autres. L'aspect dynamique du réseau complexe formé par ces objets en interaction est assuré par le dernier concept d'évènement, qui peut être désiré (une décision par exemple) ou subi (un changement ou un évènement extérieur).

Le chapitre se termine par une proposition de modélisation matricielle de la complexité du projet, en particulier du phénomène d'interactions qui est une des caractéristiques principales de cette complexité. Cela permet, en complément de l'approche théorie des graphes, d'identifier et d'évaluer les interactions entre objets d'un projet, ce qui aide à modéliser le réseau complexe du projet. Il faut noter tout de suite que réseau ne signifie pas uniquement réseau de tâches ou même réseau d'acteurs, mais bien l'ensemble des objets présents dans un projet et de leurs interactions, ce qui comprend les deux réseaux précédemment cités.

La Figure 28 montre l'enchaînement logique du chapitre 3, qui débouche sur les données qui sont ensuite manipulées au sein des chapitres suivants.

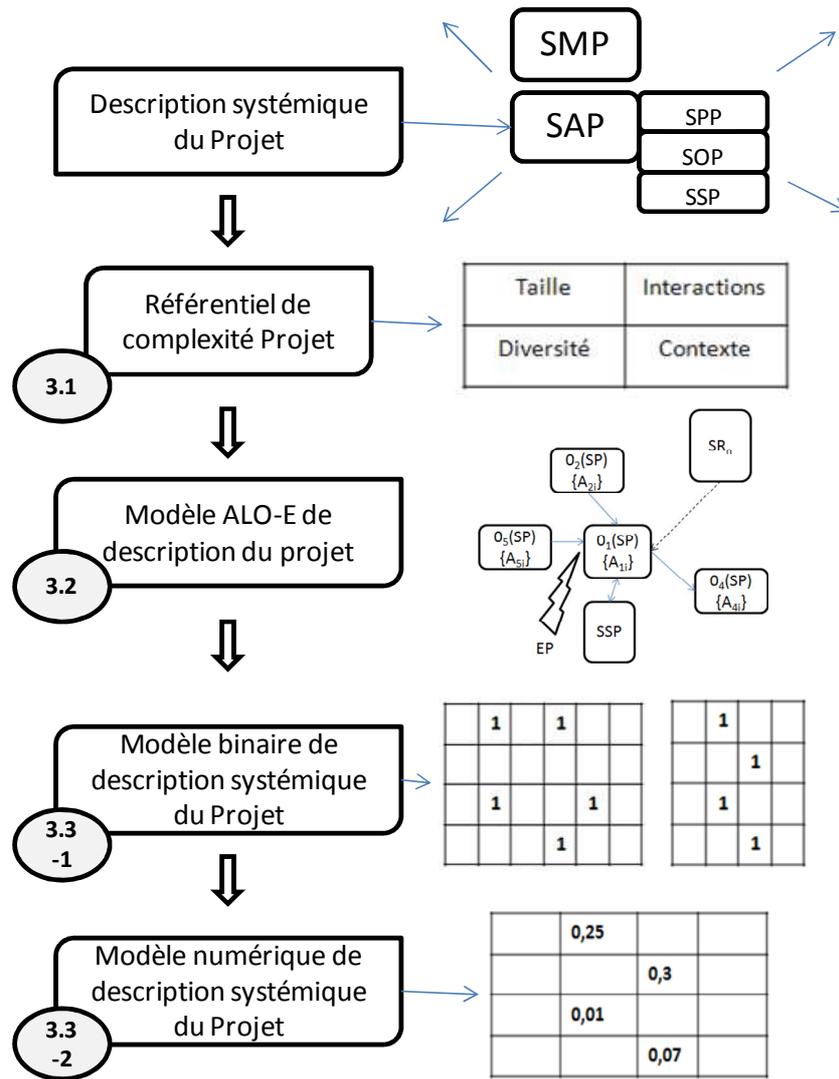


Figure 28 : Logique de construction des modèles de complexité projet

### 3.1. ELABORATION D'UN REFERENTIEL DE COMPLEXITE PROJET

Cette section a pour but de préciser ce qu'est la complexité projet, par la recherche et la structuration de ses facteurs contributifs et par la proposition d'une définition spécifique. Ce travail a été essentiellement mené dans le cadre de la thèse de Ludovic-Alexandre Vidal. Il a fait l'objet d'une publication dans *Expert Systems With Applications* (section 9.2, page 146 et suivantes) et d'une soumission à *l'International Journal of Technology Management* (au second tour, section 9.3, page 147 et suivantes). Une publication a reçu le prix du Best Student Paper à la conférence *PMI Research* en 2008. Plusieurs applications sont en cours ou planifiées prochainement (en phase de recrutement), chez **Renault** et le **CEISAR (Centre d'Excellence pour l'Architecture d'Entreprise)** notamment.

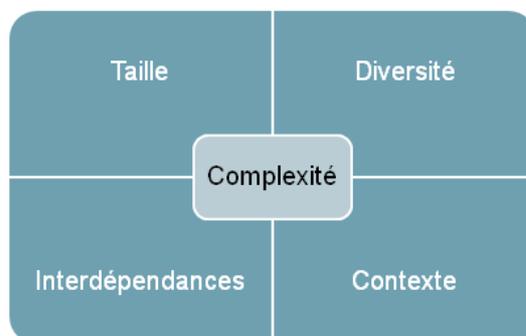
#### 3.1.1. Description du problème

Le point de départ pour l'élaboration de ce référentiel caractérisant la complexité projet est l'état de l'art présenté dans le chapitre 2. Comme dit dans ce chapitre introductif, il n'existe pas vraiment de consensus, ni sur la définition ni sur les caractéristiques, ni sur les facteurs qui contribuent à la notion de complexité. Notre référentiel est donc là pour synthétiser parmi l'existant dans différents domaines les facteurs et familles de facteurs qui contribuent à la complexité d'un système, ici le projet.

#### 3.1.2. Notre proposition : le référentiel de complexité projet

Ce référentiel est inspiré de la dichotomie de Baccharini (complexité organisationnelle et complexité technologique) et de la description des facteurs de complexité nécessaires et non suffisants développés par Edmonds (1999) : taille du système, diversité et nature des éléments du système, interactions dans le système, ignorance et incertitudes dans le système.

Nous avons bâti dès lors un référentiel de complexité projet qui peut servir de base à l'identification, la compréhension, la maîtrise et la prédiction des sources et des phénomènes de la complexité projet. Il peut également être utilisé pour l'évaluation de la complexité d'un système projet, et nous nous en servons dans la section 4.2. Il est constitué de quatre familles de facteurs (Figure 29).



**Figure 29 : Les quatre familles de facteurs de complexité**

Nous avons répertorié certains facteurs dans chacune des huit cases du Tableau 3. Ce référentiel a été validé et simplifié lors d'une étude Delphi. Les détails relatifs à cette étude sont donnés en annexe dans les articles 9.2 (ESWA, pages 146 et suivantes) et 9.3 (IJTM, pages 180 et suivantes), à savoir les questions posées, le panel d'experts et l'analyse de leurs réponses. Les facteurs qui ont été conservés dans le référentiel final sont ceux qui ont obtenu une note suffisamment élevée, ce qui correspondait à un consensus suffisant pour les experts. La simplification se justifie d'un point de vue opérationnel car il est difficilement envisageable dans le cadre d'un projet d'analyser 70 facteurs de complexité, alors qu'il est plus facile de s'occuper des 18 plus importants.

**Tableau 3 : Description complète du référentiel de complexité**

Famille	Type Complexité Organisationnelle	Type Complexité Technologique
Taille	Amplitude du capital investi	Largeur du périmètre projet Nombre et quantité de ressources (matérielles et technologiques)
	Durée du projet	
	Largeur du périmètre projet (organisationnel)	
	Nombre d'activités dans le projet	
Diversité	Nombre de décisions à prendre	Diversité des compétences techniques requises Diversité des composants du produit Diversité des dépendances technologiques Diversité des ressources utilisées Diversité des technologies utilisées pendant le projet
	Nombre de départements impliqués	
	Nombre de livrables	
	Nombre de niveaux hiérarchiques	
	Nombre de parties prenantes	
	Nombre de structures, groupes et équipes à coordonner	
	Nombre de systèmes d'information	
	Nombre d'entreprises / projets partageant les ressources	
	Nombre d'investisseurs différents	
	Nombre d'objectifs	
Interdépendances	Nombre et quantité de ressources (humaines)	Dépendances entre processus technologiques Interdépendances entre les composants du produit Interdépendances entre les spécifications du projet Interdépendances entre ressources matérielles et matières premières
	Taille de l'équipe	
	Diversité de l'équipe (expérience, milieu social, etc...)	
	Diversité de statuts des parties prenantes	
	Diversité des compétences organisationnelles requises	
	Diversité des interdépendances organisationnelles	
	Diversité des intérêts des parties prenantes	
	Diversité des moyens financiers	
	Diversité des niveaux hiérarchiques dans l'organisation	
	Diversité des outils et méthodes de gestion de projet appliqués	
Contexte	Diversité des systèmes d'information	Besoin de créativité Complexité technique de l'environnement Concurrence Configuration et diversité culturelle (technique) Configuration technologique de l'institution qui supporte le projet Degré d'innovation technologique Lois et normes locales Nouvelles lois et normes Possibilités de développement Relation à un calendrier public
	Localisation géographique des parties prenantes	
	Coopération et communication au sein de l'équipe	
	Dépendance avec l'environnement	
	Dépendances entre les calendriers	
	Disponibilité des ressources partagées (matérielles et humaines)	
	Dynamique de l'évolution de la structure de l'équipe	
	Interconnexion et boucles de retour dans les réseaux de projet (tâches)	
	Interdépendance des processus	
	Interdépendances entre acteurs	
Interdépendances entre objectifs		
Interdépendances entre sites, départements et entreprises		
Interdépendances entre systèmes d'information		
Interrelations entre parties prenantes		
Niveau d'interrelation entre phases		
Nombre d'interfaces dans l'organisation projet		
Relations avec l'organisation permanente		
Transport combiné		
Contexte	Complexité organisationnelle de l'environnement	Besoin de créativité Complexité technique de l'environnement Concurrence Configuration et diversité culturelle (technique) Configuration technologique de l'institution qui supporte le projet Degré d'innovation technologique Lois et normes locales Nouvelles lois et normes Possibilités de développement Relation à un calendrier public
	Concurrence (organisation)	
	Configuration et diversité culturelle	
	Configuration organisationnelle de l'institution qui supporte le projet	
Contexte	Degré d'innovation organisationnelle	Besoin de créativité Complexité technique de l'environnement Concurrence Configuration et diversité culturelle (technique) Configuration technologique de l'institution qui supporte le projet Degré d'innovation technologique Lois et normes locales Nouvelles lois et normes Possibilités de développement Relation à un calendrier public
	Lois et normes locales (organisationnelles)	
	Nouvelles lois et normes (organisationnelles)	

Nota : Même si le tableau initial comprend 70 éléments, il est toujours possible d'en rajouter en fonction des évolutions ou du contexte particulier de l'entreprise qui l'utilise. De plus, 70 % des facteurs se trouvent dans la catégorie complexité organisationnelle.

Le principe de Pareto a été appliqué afin de garder les entrants minoritaires qui génèrent la majorité des sorties, ici les notes attribuées par les experts. Une moyenne minimale de 4,5 sur 5 a été choisie afin de retenir environ 20-25% du référentiel initial. Il est évident que cela prête toujours à question de savoir pourquoi le 19<sup>e</sup> n'a pas été pris, ou de savoir pourquoi 18 et pas 16 ou 20. Il n'y a pas de réponse parfaite à cette question, simplement un choix qui a permis de se trouver dans une zone où le nombre de facteurs à considérer reste gérable et avec un écart significatif entre le dernier pris et le premier non pris. Tout ceci reste bien sûr subjectif, et même la validation par les 18 experts n'est pas une garantie absolue, puisqu'eux-mêmes sont soumis à leur propre subjectivité et le choix du panel d'experts a lui aussi été soumis à notre subjectivité. C'est aussi pour cela qu'il est conseillé de partir à chaque situation nouvelle (nouvelle entreprise, nouveau type de projet) du référentiel global pour valider un référentiel simplifié adapté, et notre liste de 18 est une proposition qui permet de ne pas partir de la feuille blanche, mais qui peut être amendée. Si l'industriel souhaite absolument repêcher le 19<sup>e</sup>, cela ne pose pas de problème. S'il souhaite repêcher le 70<sup>e</sup>, il doit être conscient que ce facteur n'a pas fait l'unanimité chez un panel d'experts de la question, il risque donc d'être moins pertinent que les autres. Pour résumer, nous ne prétendons pas prendre la décision à la place du décideur, mais simplement l'aider en lui fournissant dans le Tableau 3 une pré-liste complète et dans le Tableau 4 une pré-liste simplifiée avec la justification (note moyenne de reconnaissance par les experts). Par exemple, il est courant que l'apparition d'une nouvelle norme dans les projets automobiles ait des répercussions majeures, sur beaucoup de domaines, beaucoup de composants, beaucoup de tâches et beaucoup d'acteurs. Il serait alors normal de considérer ce critère dans la liste contextualisée.

**Tableau 4 : Description du référentiel simplifié de complexité**

Famille	Type Complexité Organisationnelle	Type Complexité Technologique
Taille	Nombre de parties prenantes	
Diversité	Diversité des intérêts des parties prenantes Diversité des systèmes d'information Localisation géographique des parties prenantes	
Interdépendances	Dépendance avec l'environnement Dépendances entre les calendriers Disponibilité des ressources partagées (matérielles et humaines) Coopération et communication au sein de l'équipe Interconnexion et boucles de retour dans les réseaux de projet (tâches) Interdépendances entre objectifs Interdépendances entre sites, départements et entreprises Interdépendances entre systèmes d'information Niveau d'interrelation entre phases	Interdépendances entre les spécifications du projet
Contexte	Complexité organisationnelle de l'environnement Configuration et diversité culturelle	Complexité technique de l'environnement

### 3.1.3. Applications du référentiel de complexité

Il existe trois grandes applications possibles de ce référentiel, qui dépendent du moment où est faite l'analyse.

**L'analyse prédictive de complexité projet.** C'est une évaluation a priori de la complexité d'un projet, ou de la complexité relative d'un projet par rapport à un autre. La section 4.2 montre un exemple de travail dans ce domaine. Une thèse est planifiée pour la rentrée 2011 sur ce sujet avec le **CEISAR, Center of Excellence for Information Systems and Architecture** et une ou plusieurs entreprises servant de terrain d'application parmi **Axa, Total et Air France** (à la suite du stage master de Sergio Alonso). L'idée est d'ajouter le critère complexité dans l'étude d'impact d'un projet et notamment dans son évaluation multi-critères au moment de la sélection.

L'autre idée est d'assister le démarrage du projet une fois celui-ci sélectionné, car les premiers éléments d'information et les premières décisions préliminaires conditionnent fortement les autres livrables que sont la WBS, le planning, le budget, etc... et donc la façon dont le projet va se dérouler et quel résultat il a des chances de délivrer (Gareis 2000 ; Dvir et al. 1998). Utiliser notre référentiel en avant-projet ou phase préliminaire de projet comme une check-list permettant d'identifier des sources possibles de complexité influencera positivement certaines décisions qui pourraient être prises trop tôt alors qu'il faudrait laisser encore des degrés de liberté tant que certaines hypothèses ne sont pas levées. De même, certaines décisions pourraient être jugées comme apportant trop de complexité, que ce soit par le nombre d'éléments, leur diversité ou leurs interdépendances.

**L'analyse en diagnostic de la complexité projet.** C'est une évaluation en cours de route du projet, qui permet d'anticiper certains phénomènes possibles à partir de la photographie instantanée et d'envisager un certain nombre de décisions correctrices. Cela repose sur des méthodes traditionnelles de pilotage de projet et d'analyse de risques en plus de la focalisation sur la complexité et des méthodes spécifiques que nous proposons. L'idée est de ne pas focaliser sur un seul paramètre ou une seule dimension du projet, ce qui peut conduire à des résolutions partielles de problème et donc des échecs ou a minima des gaspillages (Shenhar et Dvir 2007). Nous permettons d'avoir une vue plus globale, à la fois d'un point de vue local puisqu'on s'intéresse à plus de paramètres en même temps, mais également d'un point de vue global puisqu'on s'intéresse à des propagations et donc des effets indirects du problème d'origine. L'implication d'un changement par exemple, qu'il soit demandé ou subi, permet d'anticiper l'ensemble de ses conséquences potentielles, négatives et positives, directes et indirectes. On mixe ici l'analyse de la situation présente et l'anticipation de la situation future telle que présentée dans le paragraphe précédent. Une collaboration est en cours avec Marija Jankovic et Gilles Turré (ex-PSA Peugeot-Citroën) sur l'analyse des impacts indirects d'une demande initiale d'innovation dans un projet, que ce soit une innovation produit, une innovation organisationnelle ou méthodologique. Elle a fait l'objet d'une publication dans la conférence *ESREL European Safety and Reliability 2011* (non incluse dans ce mémoire). Dans le cas de projets de développement par exemple, l'anticipation des conséquences de telle ou telle décision ou tel ou tel changement, qu'il soit voulu en interne ou requis par une autre partie prenante, permet d'éviter certains problèmes dont le gaspillage (rework), le non respect de certaines spécifications projet et/ou produit (Austin et al. 2002 ; Clarkson et al. 2004 ; Steffens et al. 2007 ; Shenhar 2007 ; Lindkvist 2008).

**L'analyse a posteriori de la complexité projet.** Il s'agit ici d'assister la phase de fermeture et de retour d'expérience du projet. Cela consiste à retracer les facteurs de complexité qui existaient au cours du projet et leur impact avec les événements positifs et négatifs enregistrés pendant ce projet. Ce processus d'apprentissage d'un projet sur l'autre est vital, notamment dans le cadre de projets complexes, où la corrélation entre les causes et les effets est d'autant plus difficile à établir (Williams 2003). Nous utilisons cette approche chez **Renault** dans le cadre du stage master d'Antoine Sévely pour établir le lien entre des problèmes réels d'un projet passé et les causes liées à la complexité, notamment liées à une propagation non maîtrisée entre paramètres produit et projet.

### 3.1.4. Conclusion intermédiaire

Nous avons travaillé sur la notion de complexité projet, en introduisant quatre familles de facteurs que sont la taille, la diversité, les interdépendances et le contexte. Ils sont organisés selon deux types de complexité : la complexité organisationnelle et la complexité technologique. Ces facteurs ont été rassemblés en un référentiel de complexité, qui se décline en une version simple à 18 facteurs et une version complète mais plus difficilement exploitable à 70 facteurs. Il est à noter que la majorité des facteurs sont relatifs à la complexité organisationnelle.

Au final, il s'agit donc pour un chef de projet de savoir comment reconnaître et saisir des opportunités qui pourraient émerger de cette complexité, et également de savoir éviter ou au moins réduire les effets négatifs de cette complexité. C'est ce qui justifie nos travaux, depuis la modélisation de la complexité jusqu'à la prise de décision en milieu complexe, en passant par des étapes d'analyses complémentaires focalisant sur les phénomènes complexes. Etant donné le nombre et la diversité des objets à gérer, le nombre d'interdépendances entre ces objets, et le contexte dynamique, incertain et contraignant du projet, il n'est pas étonnant que cela devienne difficile d'anticiper et donc de gérer avec les outils actuels qui n'ont pas été faits dans ce but. C'est l'objet de la section suivante que de fournir une assistance à la modélisation et à la description des composants d'un tel système complexe.

### 3.2. UN MODELE DE DESCRIPTION DE LA COMPLEXITE PROJET

Cette section introduit les spécifications de ce qu'on peut attendre d'un modèle de complexité projet puis dans un deuxième temps présente notre modèle de complexité, qui s'est décliné en plusieurs versions successives jusqu'à l'appellation finale ALO-E (Attributs, Liens, Objets – Evènements) qui peut se décliner en ALO-R (pour Risques comme cas particulier d'évènements). Ce travail a été essentiellement mené dans le cadre de ma thèse et de celle de Ludovic-Alexandre Vidal. Il a fait l'objet d'une publication dans *Kybernetes : the journal of cybernetics and management science* (section 9.1, page 145 et suivantes) et est présent dans d'autres publications, car il pose les données manipulées ensuite. Presque toutes nos applications sont basées sur ce modèle, on peut citer plus particulièrement **PSA Peugeot-Citroën** et **Alstom Transport**.

#### 3.2.1. Description du problème : spécifications d'un modèle de complexité projet

Nous n'abordons pas vraiment la complexité d'un système de façon intrinsèque, mais plutôt comme étant perçue par un filtre dépendant de la personne ou de la structure qui va gérer ce système. Notre ambition a donc été d'élaborer un modèle permettant d'éviter la confusion entre la complexité intrinsèque et la complexité perçue. Eppinger et co-auteurs affirment que :

« Les bonnes représentations rendent explicites les éléments importants, exposent naturellement les contraintes pour faciliter les calculs, sont complètes, sont concises, sont transparentes pour les utilisateurs et éliminent les détails superflus » (Eppinger et al. 1992).

Le modèle doit donc rendre explicite les aspects importants de la complexité du système projet, ce qui comprend les éléments relatifs à la taille du système, à sa diversité, à ses interactions et à son contexte. A l'inverse, tout élément qui n'appartiendrait pas à une de ces catégories n'a pas à être mentionné dans le modèle. De plus, dans un souci de compréhension et de facilité d'utilisation, le modèle doit éviter les détails non nécessaires. Concrètement, il doit donner la possibilité à l'utilisateur de zoomer plus ou moins sur telle ou telle partie ou tel ou tel aspect de son système (Laurikkala et al. 2001). L'action de modélisation est par essence une façon de réduire la complexité perçue du système afin de mieux le comprendre. En conséquence, il peut y avoir un niveau optimal de complexité pour gérer le projet, notamment dans les décompositions qui en sont faites : tâches, composants produit, composantes organisationnelles (Vidal and Marle 2007). En effet, des modèles qui ne sont pas assez complexes ne sont pas non plus assez proches de la réalité pour donner de bons résultats. À l'inverse, la capacité humaine de gestion de la complexité a une limite et les modèles trop complexes, car trop proches de la réalité, ne seront plus utilisables. Le Tableau 5 ci-dessous synthétise l'ensemble des spécifications retenues.

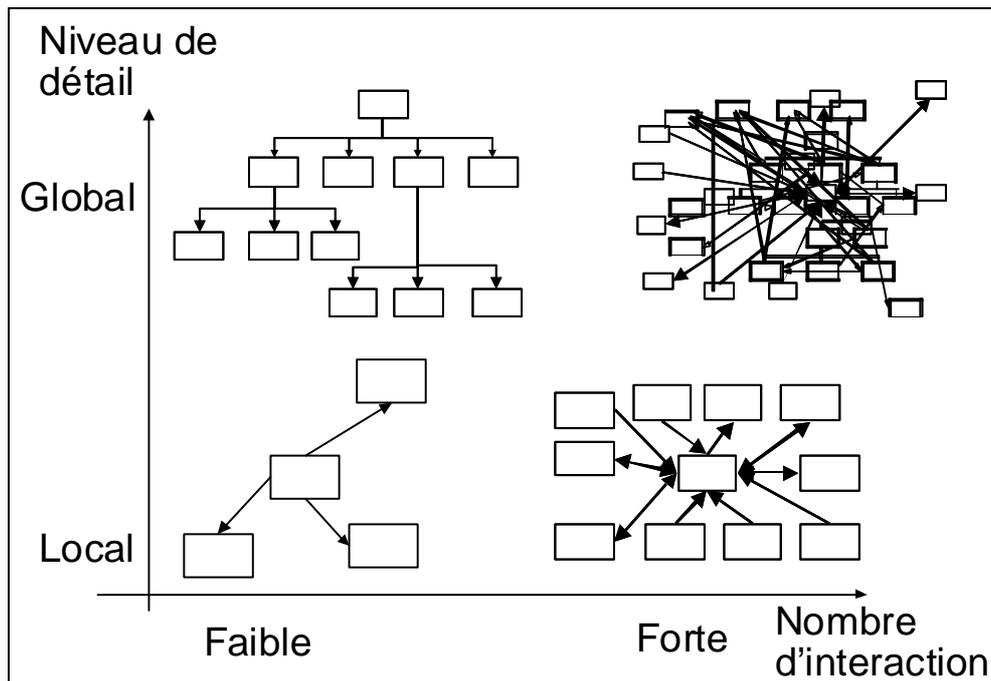
**Tableau 5 : synthèse des spécifications d'un modèle de complexité projet**

Spécifications théoriques	Spécifications pratiques
Prise en compte du facteur Taille	Fiabilité du modèle (confiance de l'utilisateur)
Prise en compte du facteur Diversité	Caractère intuitif du modèle
Prise en compte du facteur Interactions	Données en nombre juste nécessaire
Prise en compte du facteur Contexte	Complétude et concision du modèle
Prise en compte des aspects incertitude, changement et propagation comme conséquences de la complexité	Implantation informatique possible

### 3.2.2. Notre proposition : le cadrage des concepts manipulés dans le modèle ALO-E

Il y a eu plusieurs versions successives de modèles de description du système complexe projet, depuis ma thèse jusqu'à aujourd'hui en passant par la thèse de Ludovic-Alexandre Vidal. La première version développée dans le cadre de ma thèse via l'application industrielle **PSA Peugeot-Citroën** s'appelait 3\*7, pour un modèle décrivant le système projet comme composé de 7 types d'objets caractérisés par 7 attributs et ayant 7 natures de liens possibles entre eux (Marle 2002). La deuxième version a été développée dans la thèse de Ludovic-Alexandre Vidal et rebaptisé ALOE pour Attributes, Links, Objects and Events.

Aujourd'hui, nous travaillons sur un dernier raffinement qui consiste à séparer proprement le monde des Objets en Interaction et ayant des Attributs et le monde des Evènements, potentiels ou avérés, qui vont mettre en mouvement le monde précédent. Il s'agit donc du modèle ALO-E, plus précisément décliné souvent en ALO-R, car nous avons essentiellement travaillé sur l'anticipation d'évènements potentiels, ou risques. Ce modèle cherche à mieux maîtriser la complexité projet par l'intermédiaire d'une définition et d'une description claires des éléments de ce système (des objets ayant certains attributs) et de leurs interactions. Ce modèle permet comme le montre la Figure 30 de se concentrer localement sur la compréhension de l'ensemble des interactions existant dans l'environnement direct de n'importe quel objet dans le système projet (partie en bas à droite) et de naviguer en conséquence de proche en proche entre objets reliés. Nous nous positionnons donc en complément des outils traditionnels, qui sont plutôt globaux mais pauvres en nombre d'interactions représentées simultanément (en haut à gauche de la figure). Par exemple, le réseau PERT (Program Evaluation and Review Technique) représente uniquement l'interaction séquentielle, ou encore l'organigramme WBS (Work Breakdown Structure) représente uniquement l'interaction hiérarchique (au sens projet).



**Figure 30 : Antagonisme entre le niveau de détail et le nombre de types d'interactions pris en compte (Marle 2002)**

Ceci aide à la prise de décision en environnement complexe en permettant de comprendre localement la propagation de l'impact d'un changement sur un élément du projet à l'intérieur du système tout entier (navigation entre des niveaux différents et entre des objets de différentes natures). Plus de détails sont disponibles dans le mémoire de thèse (Marle 2002).

Les événements peuvent avoir des aspects positifs tout comme une influence négative non seulement sur des objets du système en changeant leurs attributs ou en créant/détruisant de nouveaux/anciens objets, mais également sur des liens. Nous caractérisons donc ici un évènement comme un changement d'état identifiable et positionnable dans le temps, qui modifie un ou plusieurs attributs d'un ou plusieurs objets, ou un ou plusieurs liens entre plusieurs objets. Si l'évènement ne s'est pas encore produit et qu'il est potentiel (il peut ou pas se produire), on parlera alors de risque. Il est à noter que la confusion est possible quand on parle d'un risque lié à un objet, ou plus précisément lié à un attribut d'un objet, puisqu'il faut savoir si on parle de l'évènement, de l'objet impacté par cet évènement ou de façon détaillée de l'attribut qui va être modifié par cet évènement. Il sera donc précisé à chaque fois si nous nous intéressons aux objets ou aux risques liés à ces objets, même si des passerelles existent.

Par ailleurs, nous décidons dans ce modèle de laisser la possibilité à l'utilisateur d'ajouter de nouveaux évènements dans le système (les évènements qui apparaissent spontanément). Cette possibilité a deux objectifs principaux. D'abord, quand un nouvel évènement émerge, l'utilisateur peut l'ajouter dans le modèle et directement avoir une meilleure vision de l'impact de cette apparition sur le système projet dans son intégralité. En outre, il est possible d'employer le modèle pour simuler l'apparition possible de certains évènements et leur propagation à travers le réseau de projet.

Il y a donc d'après nous un rapport étroit entre évènements (ou risques) et objets, car l'évènement est forcément relié à des objets/attributs ou des interactions. Voilà pourquoi, comme nous focalisons sur les interactions, nous allons traiter aussi bien des interactions entre objets que des interactions entre risques (eux-mêmes rattachés à des objets). En effet, comme on parle d'anticiper, d'analyser, de prévenir, il vaut mieux avoir le temps de se préparer et pour cela se concentrer sur des évènements potentiels. L'autre possibilité est d'avoir un point de départ qui soit un évènement avéré, et de se poser ensuite des questions sur les conséquences potentielles de cet évènement par le biais d'évènements potentiels. La Figure 31 ci-dessous illustre ce modèle ALO-E du point de vue des objets (à gauche), il existe une vue presque équivalente modélisant des interactions entre risques, appelée ALO-R (à droite). On y voit l'impulsion donnée par un Evènement Avéré (EA) qui peut ou pas entraîner des conséquences, appelées Evènements Potentiels (EP).

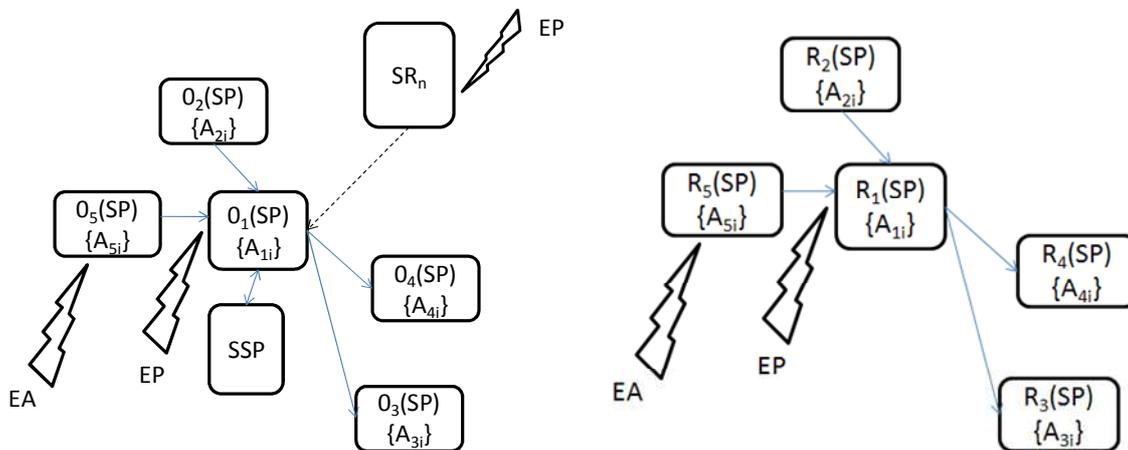


Figure 31 : Schématisation des évènements provoquant des changements d'attributs chez des objets (risques) et pouvant se propager via les interactions entre ces objets (risques)

**Les interactions entre objets du projet.** Deux objets sont en interaction si un changement d'état dans l'un des deux objets amène un changement d'état dans l'autre objet. Ce que nous appelons état correspond à la situation globale à un instant donné de l'objet, ce que nous représentons ici par la notion d'attributs. Par exemple, pour une tâche, on peut parler d'état d'avancement, de coût réalisé, de coût planifié (ou encore budget), de ressources affectées, de temps consommé ou encore de temps restant avant livraison. Lorsqu'on change une des valeurs planifiées de la tâche, par exemple sa date de fin planifiée, alors les tâches qui sont en interaction séquentielle risquent d'être impactées sur leur date de début planifiée.

De même, lorsqu'on change une des valeurs réelles de la tâche, comme son état d'avancement et son coût réel, alors on peut en déduire des choses sur la date de fin planifiée de la tâche (par exemple l'état d'avancement n'est pas suffisant par rapport au temps consommé) et donc sur les dates de début planifié des successeurs. De plus, le coût réellement dépensé sur une tâche peut avoir un impact sur le budget résiduel disponible pour les tâches du même groupe, en considérant que le groupe est à budget constant (contraintes non négociables). Cela aura donc un impact sur le budget finalement disponible pour les autres tâches du même groupe.

Pour terminer, deux tâches  $T_1$  et  $T_2$  peuvent être en interaction car elles contribuent à définir / spécifier / dimensionner le même composant d'un produit ou des composants  $C_1$  et  $C_2$  qui eux-mêmes sont reliés (spatialement, structurellement, fonctionnellement). Ainsi, une décision prise dans la tâche  $T_1$  sur le composant  $C_1$  pourra avoir un impact sur les degrés de liberté restants pour le composant  $C_2$ , et donc sur le déroulement de la tâche  $T_2$ .

La difficulté est augmentée de par la cardinalité des relations entre objets, à la fois parce qu'un objet peut être en interaction avec plusieurs objets, mais également parce qu'une interaction peut concerner plusieurs attributs, même si c'est simplement entre deux objets.

Il est important également de préciser l'aspect dynamique des choses. C'est lorsqu'un événement se produit sur un objet qu'il peut alors déclencher des changements d'état ou des transitions sur les objets avec lesquels il est en interaction. Un événement peut en déclencher un autre à l'intérieur du système, puisqu'un changement d'état sur un objet peut entraîner par le biais des interactions un ou plusieurs changements d'état sur d'autres objets ou sur le même objet. C'est cette notion de déclenchement d'événements en chaîne (ou en série) qui va nous intéresser tout au long de nos travaux. Elle repose sur des principes de transition ou de changement d'état et de propagation, c'est-à-dire de la multiplicité des transitions entre plusieurs objets. L'enjeu qui est derrière est bien d'arriver à comprendre comment le système projet pourrait évoluer en fonction de ces transitions, de savoir si elles sont désirables ou indésirables afin de pouvoir décider et implanter d'éventuelles actions préventives ou correctives.

**Les interactions entre risques (car ils sont liés aux objets).** Les risques dans un projet sont :

- Gérés pendant le processus de gestion du projet, c'est-à-dire avec une fenêtre de temps limitée,
- Interreliés, comme vu précédemment dans la description des facteurs de complexité.
- Supposés en nombre fini, car un projet est temporaire avec un nombre fini de ressources, d'objectifs, de moyens, c'est-à-dire un nombre fini d'objets qui le caractérisent<sup>5</sup>.

On peut même aller plus loin en disant que la connaissance des interrelations entre les objets du projet facilite l'identification des interrelations entre les risques, car ceux-ci sont reliés à un ou plusieurs objets via un ou plusieurs attributs. Par exemple, le calendrier de projet donne des informations sur des interactions séquentielles entre tâches. Cela permet d'identifier des relations possibles entre des risques de retard liés à ces tâches. Une relation entre composants du produit, qu'elles soient fonctionnelles, structurelles ou physiques, permettent de relier potentiellement des risques qui sont rattachés à des attributs du produit (fonction, qualité, coût) ou du projet (coût, délai). On peut donc utiliser des relations entre objets, qu'ils soient de même nature ou pas, pour identifier des relations entre risques. Cela sera facilité par l'utilisation des matrices introduites dans la section suivante.

---

<sup>5</sup> Dans la réalité, il y a une limite fixée par la capacité de gestion simultanée de plusieurs risques qui fait qu'on s'arrête à un périmètre « raisonnable ». On peut intégrer le risque d'indisponibilité du directeur de projet, on ne va pas jusqu'à identifier le risque qu'il glisse sur une peau de banane...

Nous définissons l'interaction entre deux risques comme une possible relation de cause à effet, ce qui revient à dire que l'occurrence d'un risque cause peut avoir un impact sur l'occurrence d'un risque effet. Cela signifie quatre choses :

1. Une interaction est orientée d'un risque vers un autre,
2. Une interaction entre deux risques peut être évaluée, par expertise et/ou par expérience, sous forme d'une probabilité ou plus généralement d'une possibilité de précédence,
3. Une interdépendance mutuelle entre deux risques s'exprime sous la forme de deux interactions orientées réciproques,
4. Etant donnée la liste des risques à un instant T, il existe un nombre fini d'interactions entre ces risques.

Notre point de vue est de toujours considérer l'interaction d'un point de vue possibilité de déclenchement d'un événement risqué à partir de l'occurrence d'une de ses causes, quelles que soit la nature des objets, des attributs ou des interactions incriminées.

**Dualité entre les deux espaces.** Les données ne sont pas exactement les mêmes, mais on peut considérer qu'il existe des passerelles d'un monde à l'autre. On pourrait alors se poser la question de savoir si l'espace des événements est le dual de l'espace des objets, au sens mathématique du terme. Cela aurait des conséquences intéressantes du point de vue comparaison de ce qui est réellement modélisé des deux côtés par rapport à ce qui devrait l'être. Pour l'instant, cette description algébrique des espaces n'est pas suffisamment détaillée, mais est une perspective de travail. Au final, ici, on considère le modèle ALO-E ou plutôt ALO-R, car dans les Evènements, nous nous intéressons en fait principalement aux événements potentiels, les Risques.

### Adéquation du modèle ALO-E/ALO-R avec les spécifications requises

Le modèle semble correspondre aux spécifications énoncées dans le paragraphe précédent (Tableau 5). Il est complet puisqu'il permet de décrire chacun des facteurs de la complexité projet. En effet, la taille et la diversité du projet se retrouvent principalement dans les objets et les attributs. Les interdépendances sont principalement décrites dans la catégorie lien. Enfin, les éléments de contexte sont pour leur part décrits par les événements et leur impact sur l'évolution du système. Il correspond également aux quatre pôles de la systémique, à savoir le pôle téléologique (objectifs, livrables, liens), le pôle ontologique (ressources, liens), le pôle fonctionnel (activités, projets, liens) et le pôle génétique (événements, liens). Il est à noter que les liens sont présents partout et entre tous les objets du projet. Le modèle permet de zoomer sur un objet en particulier et de s'intéresser à son environnement direct, puis de naviguer de proche en proche pour aller étudier un objet un peu plus loin. En ce sens, il permet à l'utilisateur de se focaliser sur un niveau de détail souhaité, et donc de ne pas être encombré par des informations superflues. La navigation est notamment un processus intuitif utilisée classiquement dans le Web et qui permet d'aller étudier des phénomènes de propagation, soit avant de prendre une décision, soit après avoir subi un changement, tout en restant facile d'utilisation. Enfin, la pertinence de ce modèle a été partiellement testée sur quelques applications terrain, et même s'il reste encore à l'appliquer à grande échelle, nous pouvons déjà être confiants quant à sa fiabilité.

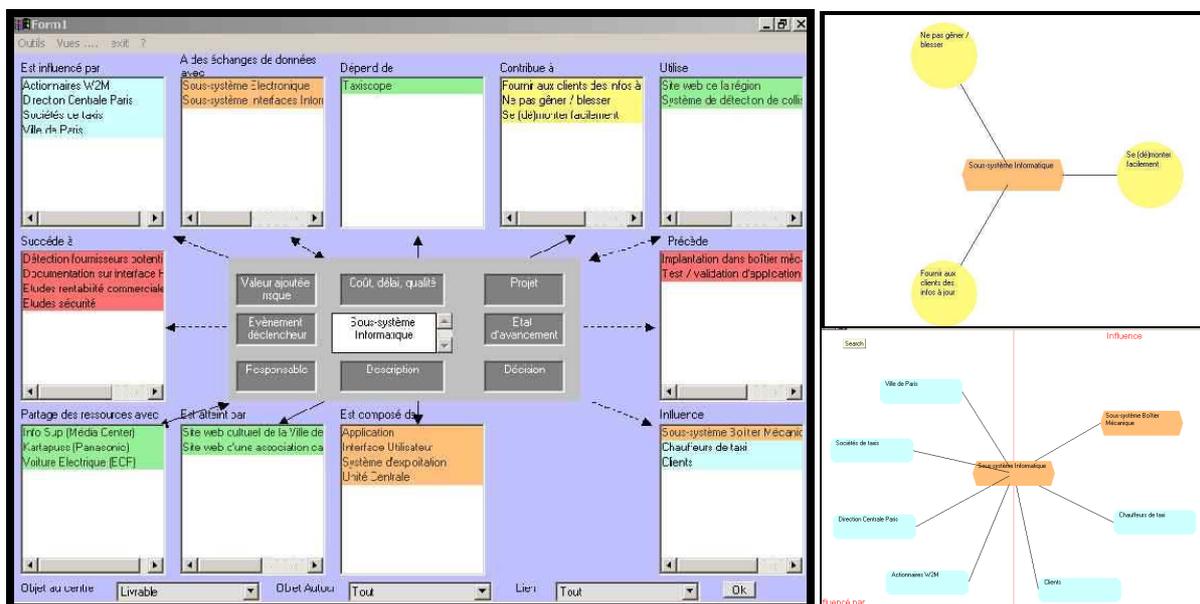
### 3.2.3. Applications

Cette modélisation est à la base de tous les travaux réalisés et présentés par la suite. La section suivante présente comment on obtient des données concrètes, binaires ou numériques, à partir du formalisme d'objets possédant des attributs, étant en interaction et pouvant être modifiés par des événements. Ici, seule l'application informatique du modèle développé dans le cadre du travail sur les projets de transformation interne chez **PSA Peugeot-Citroën** est introduite. Elle permet une première forme d'analyse « manuelle » des propagations possibles par une navigation entre écrans de type navigation web.

**Extension informatique : l'outil ICARE et l'application PSA Peugeot-Citroën / projets de transformation interne**

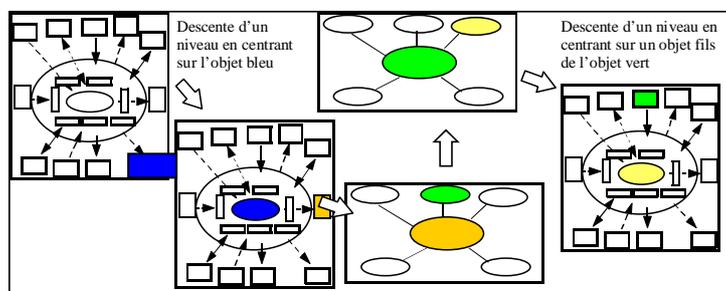
**Implantation sous forme de système d'information des principes vus précédemment.** Le point de vue classique en gestion de projet est d'afficher une vue globale d'un projet ou d'une sous-partie, en affichant un seul type d'interaction et souvent un seul type d'objet (WBS, PBS, PERT, Gantt). Il a donc été décidé d'isoler pour chaque personne ou objet du projet l'ensemble des informations qui le/la concernent directement, afin de pouvoir en fournir plus, mais que cela reste utile et exploitable. L'exploitation se fait sous deux formes représentées dans la Figure 32 :

- Une fenêtre de saisie et de consultation, avec un objet au centre et en périphérie les objets avec qui il interagit (à gauche de la figure)
- Une vue associée, qui est une représentation graphique plus détaillée et ergonomique, à but communicatif (à droite de la figure)



**Figure 32 : Impression écran de la fenêtre de saisie et de consultation d'un objet**

**Navigation manuelle pour anticiper des propagations potentielles.** Le principe fondateur est donc de pouvoir saisir ou consulter des informations à l'aide de la fenêtre fournie, et de pouvoir visualiser et naviguer dans les vues associées. La Figure 33 ci-dessous montre ce principe de navigation et de communication entre la fenêtre de saisie et la vue associée.



**Figure 33 : Navigation entre la fenêtre et les vues associées à différents objets**

**Mise en relation des personnes et travail collaboratif.** L'aspect fondamental de l'identification des interactions entre objets est qu'elles peuvent ensuite être gérées par les personnes qui sont derrière ces objets. Il y a toujours une personne au moins reliée à un objet : elle est responsable d'un projet, exécutante d'une activité, elle doit prendre une décision, etc... Cela entraîne deux choses essentielles, décrites ci-dessous.

**Une interaction identifiée et bien formalisée a plus de chances d'être bien gérée.** La formalisation des interactions, améliorée grâce aux concepts introduits, permet de mettre à jour des relations qui jusque là étaient implicites, inconscientes ou ignorées. Cette information peut être discutée et remise en cause par la personne qui n'est pas à l'origine de la création de l'interaction. Cela amène un jeu d'itérations pour négocier et éventuellement affiner la donnée qui se trouve partagée entre deux personnes.

**Il est possible de reconstituer des réseaux n'étant pas formalisés aujourd'hui.** En recollant des interactions personne-personne bout à bout, il est possible d'obtenir des chaînes plus longues, de constituer des réseaux de personnes ayant une ou plusieurs raisons de communiquer et travailler ensemble (voir Figure 34):

- Dans le cas des réseaux d'influence ou de contribution, ils permettent de voir des interactions à plusieurs niveaux, de remonter par exemple à la source pour savoir qui est au début de la chaîne d'influence et a finalement une influence indirecte sur tout le reste des objets de cette chaîne. Dans certains cas, cela s'apparente à une chaîne de valeur.
- Dans le cas des réseaux d'échange ou de ressemblance, ils permettent d'utiliser la richesse du groupe et la combinaison des idées.

La mise en évidence des relations et des flux d'informations, de décisions ou de matière qui circulent entre les acteurs du réseau est une chose essentielle dans le contexte actuel des projets de plus en plus complexes et multi-intervenants.

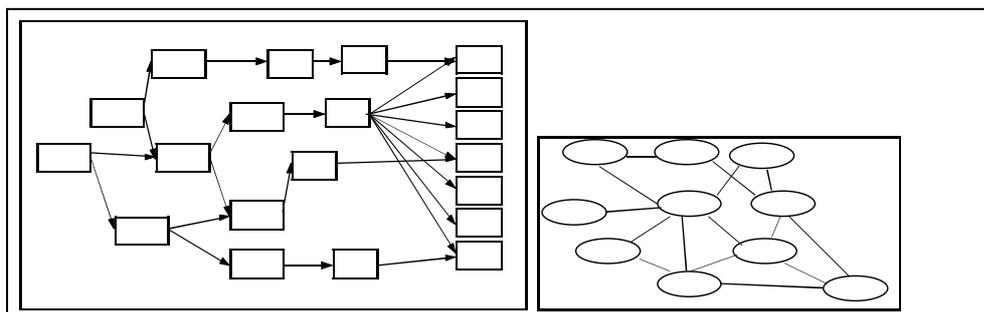


Figure 34 : Réseaux de contribution ou d'influence (gauche) et réseaux d'échanges (droite) reformés à partir d'interactions élémentaires

### 3.2.4. Conclusion intermédiaire

Ce travail de collaboration entre l'Ecole Centrale Paris et PSA Peugeot-Citroën a eu au final trois résultats majeurs:

- La création d'un référentiel projet sous la forme d'un modèle objets-interactions
- Le prototypage d'un outil associé, permettant la saisie et la consultation de l'environnement direct d'un objet, et un reporting graphique

La mise en relation des personnes en suscitant des échanges, par la formalisation des interactions, qui peuvent éventuellement conduire à la création de réseaux, ce qui contribue à décloisonner les métiers.

### 3.3. MODELISATION DES INTERACTIONS AU SEIN DU SYSTEME PROJET

L'objet de cette section est de montrer comment nous avons utilisé l'approche matricielle pour modéliser la complexité projet et notamment le phénomène d'interaction. Une application est détaillée sur le cas particulier des risques. Ce travail a été essentiellement mené dans le cadre des thèses de Ludovic-Alexandre Vidal et Chao Fang. Il est présent dans de nombreuses publications, car il pose les données manipulées ensuite. Là encore, presque toutes nos applications sont basées sur ce modèle.

#### 3.3.1. Description du problème

Nous ne travaillons pas sur la caractérisation des objets, de leurs attributs et des événements qui les affectent. On considérera donc dans la suite du mémoire des méthodes classiques pour la planification et le dimensionnement des tâches ou l'identification et l'analyse des risques. Notre périmètre se focalise en revanche sur l'identification et l'évaluation des interactions, que ce soit entre objets ou entre risques.

Dans le but de représenter pour pouvoir ensuite gérer les interactions qui existent dans un projet, nous avons fait un état de l'art dans deux domaines : la théorie des graphes et l'approche matricielle DSM (Dependency Structure Matrix ou Design Structure Matrix). Ces deux champs permettent de représenter des ensembles d'objets (ou nœuds) ayant des liens (ou arcs). Les liens et les arcs peuvent être pondérés ou non. Nous proposons donc à partir de l'approche matricielle DSM de modéliser d'abord en binaire puis en numérique les interactions qui existent au sein du projet.

#### 3.3.2. Notre première proposition : l'utilisation binaire de l'approche Dependency Structure Modeling (DSM)

Ce paragraphe présente l'approche retenue pour modéliser les interactions dans les projets. L'exemple de la modélisation des interactions entre risques est détaillé, d'abord en binaire puis en numérique. On obtient donc deux matrices qui permettront ensuite de faire des analyses plus ou moins poussées, d'en tirer des conclusions et de prendre d'éventuelles décisions, ce qui sera détaillé dans les chapitres ultérieurs.

**Description générique de l'approche matricielle utilisée.** La méthode DSM (pour Design Structure Matrix, ou plus récemment Dependency Structure Modeling) représente de façon générale les relations et dépendances entre objets. Elle a été introduite par Steward (1981) pour manipuler des tâches dans les projets de conception et développement, puis à des fins de planification pour estimer des durées incluant des itérations et des boucles de retour possible (Eppinger et al. 1994, Carrascosa et al. 1998, Eckert et al. 2004). Depuis, elle a été utilisée largement avec d'autres objets et dans d'autres buts, comme par exemple avec des composants produits, des projets ou des personnes (Danilovic et Browning 2007; Eppinger et Salminen 2001; Sosa 2008; Sosa et al. 2004). C'est un des outils les plus utilisés pour la gestion des interactions dans le domaine du génie industriel et plus particulièrement de la gestion de projet et de la conception de produit. L'activité de conception (design engineering) utilise souvent cette approche en se focalisant sur les composants du produit. L'activité de gestion de projet et notamment de gestion du temps utilise souvent cette approche en se focalisant sur les tâches du projet. Les principaux avantages de l'approche DSM sont :

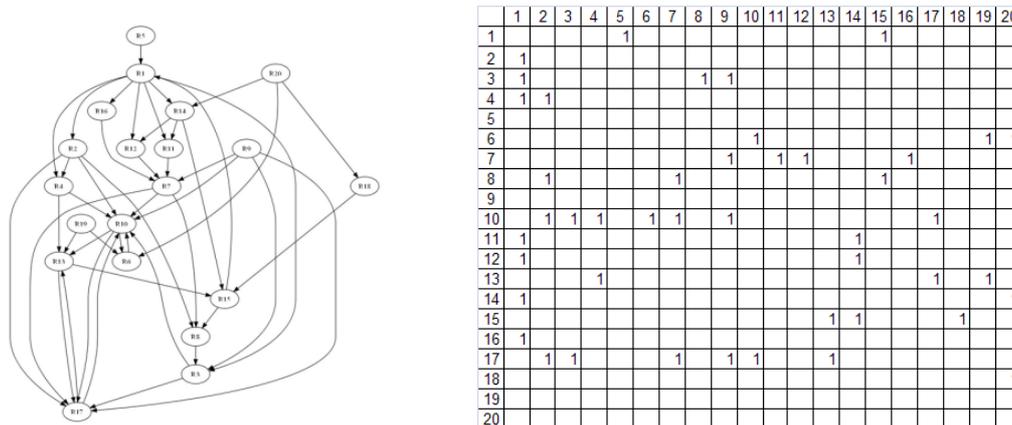
- De permettre une identification systématique des interactions puisqu'on considère chaque case de la matrice,
- D'éviter les problèmes de représentation associée au système complexe qu'on trouve notamment dans les représentations graphiques (les traits qui se croisent et qui aboutissent au fameux plat de spaghetti dans les cas très complexes),
- De faciliter les calculs inhérents au format matriciel, comme le produit matriciel, le calcul de valeurs propres ou encore la transposition, que nous utiliserons dans la suite de ce mémoire.

**Modélisation binaire des interactions à l'aide de l'approche DSM.** Nous présentons ici l'utilisation de l'approche matricielle dans le domaine des risques projet.

*Preliminaire.* L'identification des risques est une étape préalable à l'identification des interactions entre risques. Ce processus a été introduit dans la section 2.2 (page 42), et des détails sont disponibles sur les méthodes d'identification dans l'annexe 9.14 (page 158).

*Rappel.* Nous définissons l'interaction entre deux risques comme une possible relation de cause à effet, ce qui revient à dire que l'occurrence d'un risque cause peut avoir un impact sur l'occurrence d'un risque effet.

*Construction de la matrice binaire.* Les lignes et les colonnes de la matrice sont constituées par la liste identifiée au moment de l'analyse. Il s'agit donc pour nous d'une donnée d'entrée, nous verrons par la suite que le fait de travailler sur les interactions entre risques permet souvent d'enrichir cette donnée d'entrée. Les cellules en dehors de la diagonale signifient la présence d'interactions potentielles entre risques. La cellule  $(i,j)$  de la matrice est non vide lorsqu'il peut y avoir une interaction de cause à effet de  $R_j$  vers  $R_i$ . Nous appelons cette matrice **RSM** pour **Risk Structure Matrix**. Il peut donc y avoir une lecture en ligne  $i$ , qui indique tous les risques pouvant être directement à l'origine du déclenchement du risque  $R_i$  considéré, et une lecture en colonne  $j$  qui indique tous les risques pouvant être potentiellement déclenchés par l'occurrence du risque  $R_j$  considéré. La Figure 35 ci-dessous montre un exemple simple de l'équivalence entre graphe et matrice, mais où tout de suite apparaissent des liens qui se croisent, ce qui peut à plus grande échelle nuire à l'exploitation du graphe.



**Figure 35 : Représentations du même réseau d'après le formalisme graphe (à gauche) et matriciel (à droite)**

Afin de construire cette matrice, les interactions doivent être proprement identifiées. Cela se fait par une approche itérative, à partir d'une version initiale de la liste des risques que nous appelons  $L_0$ .  $L_0$  a pour dimension  $n_0$ , ce qui signifie que  $n_0$  risques ont été identifiés jusqu'à présent. Le but de notre procédure est d'obtenir une liste stable de risques à l'intérieur de laquelle se trouve l'ensemble des interactions identifiées.

La procédure est donc la suivante :

1. Pour chaque risque  $R_i$  de la liste  $L_0$ , nous identifions l'ensemble de ses causes et conséquences directes potentielles  $\{CCDP_k(i)\}$
2. Pour chaque  $k$ , si l'élément  $CCDP_k(i)$  appartient à la liste initiale, alors il existe un indice  $j$  tel que  $CCDP_k(i)=R_j$ . Nous renseignons alors dans la matrice que la case correspondante est non vide. Il s'agit de la case  $(i,j)$  si  $R_j$  est une cause de  $R_i$ , et de la case  $(j,i)$  si  $R_j$  est une conséquence de  $R_i$ . Nous avons donc soit  $RSM_{ij}=1$ , soit  $RSM_{ji}=1$ , soit les deux si les risques sont interdépendants.
3. Si au contraire l'élément  $CCDP_k(i)$  n'appartient pas à la liste initiale, alors nous le définissons comme étant le  $n_0+1^{\text{ème}}$  risque. Nous mettons un jour la liste qui devient  $L_1=L_0+\{R_{n_0+1}\}$ .
4. Cette opération est répétée pour chaque  $k$  et pour chaque  $i$  jusqu'à ce que la liste soit stable, c'est-à-dire qu'il n'y ait plus de nouveaux risques identifiés à partir des interactions depuis ou vers des risques existants.

À la fin, nous obtenons donc une matrice de dimension  $n \times n$ , avec  $n \geq n_0$ .

Ce processus permet de façon indirecte d'adresser une des problématiques classiques de la gestion des risques qui est l'exhaustivité de la liste obtenue par l'identification des risques. En effet, la majorité des projets s'arrête à l'identification de la liste initiale  $L_0$ , ce qui peut faire passer à côté d'un ou plusieurs risques importants.

Finalement, cela permet d'obtenir une information complète, cohérente et stable sur les interactions entre risques. Nous mettons également une procédure de vérification de chaque donnée par le fait que pour qu'une case  $(i,j)$  soit déclarée non vide, il faut que l'interaction soit annoncée à la fois par la source (du point de vue de  $R_j$ ) mais également par la destination (du point de vue de  $R_i$ ). Chaque incohérence est traitée au cas par cas pour arriver à un consensus.

La matrice **RSM** permet de capturer la structure du réseau de risques. Des exploitations de la matrice binaire sont déjà possibles, comme montré dans la section 4.3 (page 86 et suivantes). Toutefois, ce n'est en général pas suffisant et nécessite de s'intéresser à la force (ou au poids) des interactions, ce qui est l'objet du paragraphe suivant.

### 3.3.3. Notre deuxième proposition : l'utilisation en numérique de l'approche DSM

Nous introduisons les deux manières possibles de faire les évaluations et en déduisons la matrice numérique modélisant les interactions entre risques, appelée **RNM** (Risk Numerical Matrix). Il est possible, quoique plus difficile d'envisager de quantifier des interactions entre objets du projet.

*Preliminaire.* Il ne s'agit pas ici de faire un inventaire de la problématique et des méthodes existantes pour l'évaluation des risques. Il existe beaucoup d'ouvrages et de manuels de référence. Une liste est donnée en annexe car elle a fait l'objet d'un travail spécifique décrit dans le chapitre 5.1 (page 98) et détaillé dans l'annexe 9.14 (page 158).

Il faut juste noter que la nature de l'évaluation sera la même pour évaluer un risque et pour évaluer une interaction entre risques. Celle-ci peut en effet être considérée comme le risque qu'il y ait un déclenchement de l'effet à partir de la cause, et si c'est un risque, alors cela peut être évalué avec les mêmes techniques. Pour résumer, sur un ensemble de  $n$  risques, nous obtiendrons  $n$  évaluations de risques et entre 1 et  $n^2$  évaluations d'interactions potentielles entre risques. Ces évaluations seront toutes de type probabilité, même si nous discuterons ultérieurement de l'appellation probabilité et du contexte de validité d'utilisation de ce terme.

*Processus d'évaluation des interactions.* Deux approches peuvent être considérées :

- la première consiste à évaluer les interactions par comparaisons relatives. Des méthodes existent pour faire des comparaisons par paires, comme par exemple l'Analytic Hierarchy Process (AHP) ou Electre TRI.
- la seconde consiste à évaluer directement l'interaction par jugement d'experts, par exemple au moyen d'une échelle de Likert à 10 niveaux.

Nous proposons une première approche en cinq étapes pour estimer la force des interactions entre risques et obtenir une matrice numérique que nous appelons **RNM** pour **Risk Numerical Matrix**. Cette approche est présentée dans le cas de l'utilisation de l'AHP. Nous envisageons également l'utilisation d'autres méthodes de comparaison comme Electre TRI par exemple, qui positionne les éléments évalués par rapport à des éléments de référence. L'intérêt de ces méthodes est qu'il est parfois plus difficile d'évaluer directement un élément que de comparer deux à deux des éléments afin d'en tirer une évaluation relative.

Lorsqu'on demandait à des experts de prendre le point de vue d'un risque qui avait plusieurs causes et de comparer ces causes les unes aux autres, on obtenait des réponses assez claires sur le fait qu'une cause était beaucoup moins probable qu'une autre, ou un peu moins probable ou équivalente. En revanche, demander à ces mêmes experts une valeur de probabilité aboutissait souvent à des impasses.

L'approche relative est mise en avant ici car elle présente le double intérêt d'être jugée plus facilement utilisable par les experts et d'être jugée également plus fine en termes de précision, toujours en relatif.

Nous avons utilisé ici une démarche basée sur des calculs de type comparaison par paires similaires à ceux de la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process), introduite il y a une trentaine d'années par T. Saaty (1980). Cette démarche est présentée en détail dans l'annexe 9.10 (page 154). Elle structure le problème en sous-problèmes (critères) pour lesquels les alternatives sont comparées deux à deux. Dans ce cas, nous avons un seul critère qui est la force des interactions avec le risque considéré. La comparaison deux à deux peut donc s'exprimer sous la forme de la question suivante :

« Si  $R_j$  et  $R_k$  sont deux causes potentielles pouvant déclencher l'occurrence de  $R_i$ , alors  $R_j$  est, en termes de probabilité de déclenchement, par rapport à  $R_k$  : d'importance égale (note 1), un peu plus important (note 3), plus important (note 5), beaucoup plus important (note 7) ou absolument plus important (note 9). »

Les notes paires sont utilisées quand il y a hésitation entre deux catégories.

Nous obtenons donc au final la **RNM** qui définit dans la case (i,j) la force de l'interaction de  $R_j$  vers  $R_i$ . Dans certains cas, nous sommes allés jusqu'à définir une matrice symétrique **RIM** (pour Risk Interactions Matrix) obtenue à partir de la moyenne géométrique des cases (i,j) et (j,i). Elle traduit le fait qu'on utilise une valeur non orientée de l'interaction entre  $R_i$  et  $R_j$ , ce qui n'est pas le cas dans la **RNM**.

*Méthode d'évaluation directe.* Nous travaillons sur une approche similaire dans le cas d'une évaluation directe qui utiliserait des techniques avancées pour tenir compte de l'incertitude liée à cette évaluation : les nombres flous et la théorie des possibilités. On est plus au stade de l'avancement en cours et des perspectives. Il faut signaler quand même qu'une application directe a été faite avec une simple échelle de 1 à 10, traduisant qualitativement l'opinion d'experts. Elle est présentée dans le cas Tramway en Annexe 9.11 (page 155).

### 3.3.4. Applications

De nombreuses applications ont été réalisées tant sur des objets du projet que sur des risques projet. Elles seront introduites au fur et à mesure de leur utilisation dans les chapitres suivants.

### 3.3.5. Conclusion du chapitre

En termes de modélisation, nous avons introduit les objets constituant le projet, les attributs permettant de décrire ces objets, les liens établissant des interdépendances entre ces objets et les événements traduisant la dynamique de l'évolution du projet. En faisant ça, nous permettons d'aborder un système projet sous l'angle de la complexité et avec l'ambition de mieux comprendre et donc de mieux anticiper ce que peut devenir ce système ou d'agir plus efficacement pour maîtriser son évolution.

## 4. ANALYSER LES VULNERABILITES DU SYSTEME PROJET FACE A LA COMPLEXITE

Ce chapitre présente comment nous enrichissons le processus standard de gestion des risques projet par l'apport du concept de vulnérabilité. Il s'agit de prendre en compte non seulement les risques mais aussi les faiblesses internes du système projet qui le rendent vulnérable à ces risques.

La focalisation porte sur des faiblesses internes particulières, liées au manque de maturité à l'intérieur du projet, et sur des risques particuliers, appelés les événements complexes potentiels (ECP). Il s'agit des interactions indirectes, réactions en chaîne et autres boucles amplificatrices déjà présentées précédemment.

La solution apportée tient en trois temps (Figure 36). Premièrement, un système de mesure de la maturité projet a été développé (section 4.1). Deuxièmement, nous identifions et analysons les Evènements Complexes Potentiels auxquels le projet peut faire face par deux principes complémentaires qui sont l'analyse des propagations (en dynamique) et l'analyse topologique (en statique, voir sections 4.2 et 4.3). Troisièmement, le processus de diagnostic de vulnérabilité est présenté. Il permet de coupler les deux notions précédentes, afin d'étudier l'évènement non pas indépendamment mais en rapport avec l'objet potentiellement impacté et ses faiblesses (section 4.4).

Ce qui nous différencie des méthodes et outils classiques est donc la combinaison de l'évènement et de l'objet potentiellement impacté par cet évènement en plus de l'étude de phénomènes complexes assez peu modélisés dans le management de projet. Nous manipulons donc des méthodes et outils d'analyse topologique et d'analyse de propagations potentielles qui sont utilisés plus classiquement dans d'autres domaines, comme la sûreté de fonctionnement des produits et systèmes industriels. Le cadre du projet fait que les données ont des caractéristiques particulières de disponibilité, de précision et d'incertitude, car souvent liées à une projection dans le futur.

L'intérêt des méthodes présentées dans ce chapitre pour les utilisateurs est donc de pouvoir anticiper avec plus de précision et de fiabilité l'évolution ou les évolutions possibles du projet, en tenant compte de sa complexité. Il est rappelé ici que la complexité est une des causes principales de l'imprévisibilité du projet, et donc de l'échec récurrent des techniques de planification standard.

Le chapitre débouche sur un diagnostic de vulnérabilité (Figure 36) qui sert de donnée d'entrée à la prise de décision qui suit, qu'on peut appeler plan de traitement ou de réponse ou de mitigation de la vulnérabilité projet.

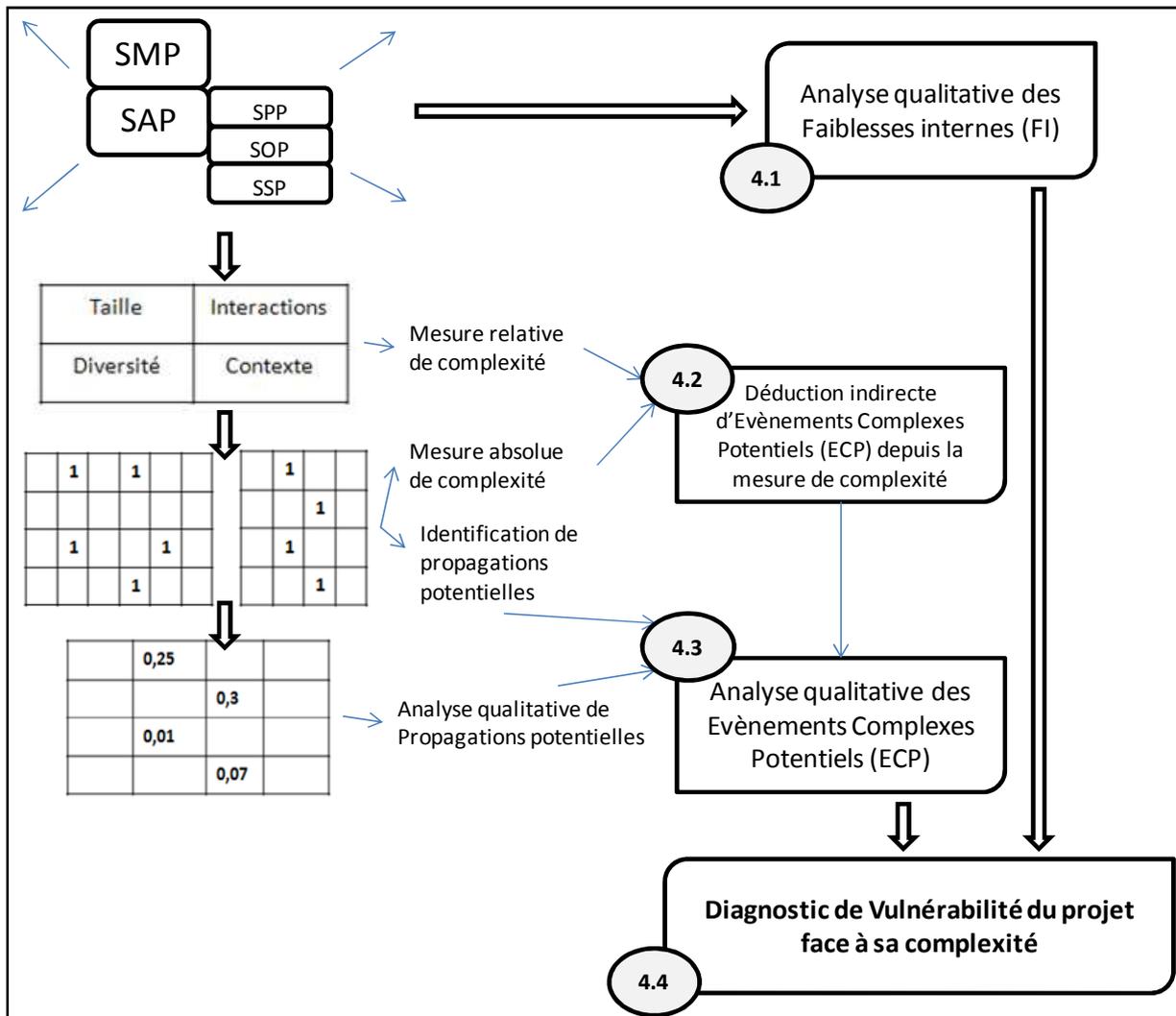


Figure 36 : Processus de diagnostic de vulnérabilité par l'analyse des faiblesses internes et des évènements complexes potentiels

Cette prise de décision sera étudiée dans le chapitre 5, soit pour changer l'état actuel du système, soit pour empêcher qu'il n'évolue vers un état non désiré, soit pour se préparer à réagir s'il évolue vers cet état non désiré.

#### 4.1. MESURER LES FAIBLESSES INTERNES LIEES AUX MANQUES DE MATURETE DU SYSTEME PROJET

Cette section introduit un modèle de mesure et d'exploitation de la maturité projet. Cela sert de base à l'estimation des faiblesses internes, et donc des vulnérabilités du projet. Il est basé sur une analyse statique du projet qui permet ensuite un diagnostic et un plan d'amélioration continue.

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la thèse de Nydia Gonzalez Ramirez et une application a été réalisée dans les projets de développement de nouveaux véhicules chez **PSA Peugeot-Citroën**. Il a fait l'objet de plusieurs publications en conférences internationales, dont *International Conference on Engineering Design (ICED'07)* et *PMI Research Conference (2008)*.

##### 4.1.1. Le problème : les modèles existants s'adressent à un niveau organisationnel plus global et plus long terme

Les entreprises ont besoin de piloter leurs projets et d'optimiser leurs processus en vue d'être plus performantes. Les tableaux de bord et les indicateurs de performance sont les résultats de l'application des processus mais ils représentent essentiellement des résultats passés. Nous considérons qu'avec l'utilisation d'un modèle de maturité, l'organisation peut être plus proactive en agissant en amont ou en temps réel sur les processus qui vont générer les résultats. Cependant, les solutions actuelles semblent ne pas répondre complètement à leur besoin. Ainsi, nous avons constaté certaines limites des modèles de maturité :

- Ils mesurent la maturité de l'organisation qui conduit les projets et non pas la maturité du projet lui-même.
- Ils se limitent à donner des « meilleures pratiques » pour atteindre un niveau de maturité supérieur mais ils ne donnent pas tous la méthode d'évaluation à suivre ni les méthodes pour accroître cette maturité.
- Le temps pour la mise en place des modèles est très long : il faut compter par exemple entre 18 et 30 mois pour passer du niveau 1 au niveau 2, puis environ 2 ans par niveau subséquent (CMMI 2006). On ne peut donc pas mesurer la maturité d'un projet dans chacune de ses phases du cycle de vie.
- Le fait de mesurer une ou même plusieurs fois la maturité de l'organisation pendant la durée de vie du projet n'apporte pas autant d'information qu'on pourrait le souhaiter, car les phases du projet sont de natures très différentes. Cela peut rendre service à l'organisation, mais pas au projet.

Notre objectif est donc de contribuer à combler ces manques en proposant une solution adaptée en matière d'amélioration de processus à différents niveaux (projet, support aux projets et organisation) avec le souci de prendre en compte l'axe « temps » pour alimenter des pistes de progrès continu.

Ce travail de recherche concerne l'évaluation et l'amélioration de performance dans le mode projet à travers la mesure de la maturité projet. Cela concerne à la fois la performance du projet, du service support aux projets qui définit, met à jour et vérifie l'implantation et l'application correctes des processus projet, et enfin de l'organisation qui supporte les projets. Nous définissons la maturité projet de la manière suivante :

« Un projet est dit mature si l'ensemble des processus qui le composent est maîtrisé et permet d'atteindre les objectifs fixés, cette maîtrise se contrôlant au fur et à mesure de l'avancement du projet. » (Gonzalez 2009)

Compte tenu de notre problématique et de la complexité d'un projet, le positionnement retenu est celui de l'approche systémique afin d'intégrer un modèle de maturité, une méthodologie d'évaluation et une méthodologie de préconisation de plans d'actions dans un système unique.

#### 4.1.2. La proposition : le Système de Mesure et d'Exploitation de la Maturité de Projet (SMEMP) qui détecte certaines faiblesses internes

##### Composition et périmètre du Système de Mesure et d'Exploitation de la Maturité

Le SMEMP est constitué de trois composants qui s'enchaînent :

- Un modèle de maturité : proposition des niveaux de maturité pour chaque domaine de la conduite de projet.
- Une méthodologie d'évaluation : élaboration des questionnaires en accord avec les niveaux de maturité proposés.
- Une méthodologie de préconisation des plans d'actions : les résultats d'évaluation servent de point de départ pour la construction de plans d'action afin de définir une stratégie de progrès et d'amélioration continue (cycle PDCA).

Le SMEMP s'applique à trois systèmes différents :

- Au niveau « Projet », il évalue la mise en œuvre et la maîtrise des processus de développement, permettant ainsi au projet de faire des progrès tout au long de son cycle de vie.
- Au niveau « Support aux Projets », il évalue la robustesse et la pertinence des processus qui sont mis en œuvre par les projets.
- Au niveau « Organisation », il évalue l'ensemble des projets en faisant des agrégations de niveaux de maturité multi-projets.

##### La mesure de maturité

Le premier composant de SMEMP est le modèle de maturité qui adopte un cadre bidimensionnel (Figure 37). La dimension horizontale est relative aux phases du cycle de vie d'un projet et la dimension verticale est relative aux domaines en conduite de projet à évaluer (qui peuvent être la gestion de la qualité du projet, la maîtrise de la configuration du projet, la planification du projet, etc). Ces phases et ces domaines peuvent être adaptés selon chaque organisation.

La plupart des modèles de maturité mesurent la maturité à travers l'atteinte de certains niveaux qui vont en général du niveau 1 au niveau 5. Dans notre cas, nous adoptons la même échelle mais à la différence des modèles classiques, nous proposons une échelle spécifique de maturité pour chacun des domaines à mesurer.

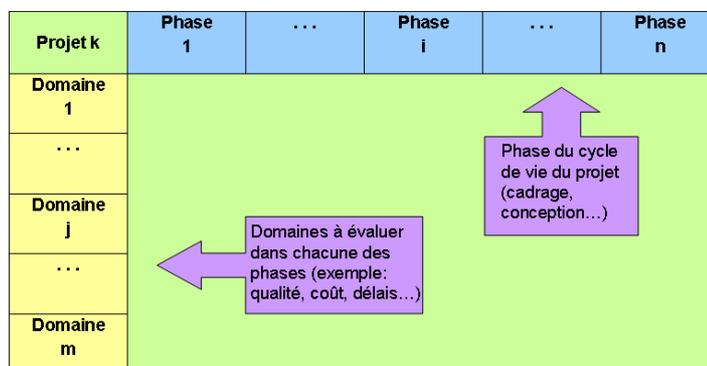


Figure 37 : Les deux dimensions du modèle de maturité (phases et domaines)

### L'évaluation par questionnaires

Nous proposons une méthodologie d'évaluation qui permettra d'obtenir les niveaux de maturité élémentaires, puis par agrégation pour une phase, un domaine, un projet et pour l'organisation. Des questionnaires sont utilisés pour obtenir le niveau de maturité du projet. La plupart du temps, il s'agit d'une auto-évaluation mais dans notre cas d'étude, nous proposons de définir en plus une équipe pour effectuer l'audit. Pour chaque question, il y a trois réponses possibles : « Oui », « Non » et « Ne s'applique pas » :

- Oui = le processus est bien établi et exécuté de façon cohérente
- Non = le processus n'est pas bien établi et n'est pas exécuté de façon cohérente.
- Ne s'applique pas (nsp) = le processus ne s'applique pas dans la phase et le domaine

Pour obtenir le niveau de maturité d'une phase  $i$  pour un domaine  $j$  ( $M_{ij}$ ), nous comparons les réponses obtenues aux différents niveaux de chaque échelle de maturité. Pour obtenir un certain niveau, des réponses positives à toutes les questions appartenant au même niveau sont nécessaires car, comme dans la plupart des modèles de maturité, il faut avoir complètement franchi un niveau de maturité avant de passer au suivant (SEI 2006 ; Kerzner 2003). Cette hypothèse est contraignante et prête à discussion, mais dans cette première version, c'est là-dessus que nous nous sommes basés. Dans l'exemple de la Figure 38, la réponse négative à une question du niveau 3 donnera le niveau de maturité 2 pour la phase  $i$  dans le domaine  $j$  (la réponse « Ne s'applique pas » n'est pas prise en compte pour l'obtention du niveau de maturité).

$M_{ij} = 2$	Niveau 1	Question 1.1	oui
		Question 1.2	oui
		Question 1.3	oui
	Niveau 2	Question 1.4	oui
		Question 1.5	oui
		Question 1.6	oui
		Question 1.7	oui
	Niveau 3	Question 1.8	non
		Question 1.9	non
		Question 1.10	oui
		Question 1.11	oui
	Niveau 4	Question 1.12	oui
		Question 1.13	non
	Niveau 5	Question 1.14	nsp
		Question 1.15	nsp
		Question 1.16	oui
		Question 1.17	non



Figure 38 : Exemple d'obtention du niveau de maturité dans une phase  $i$  pour un domaine  $j$

Un même questionnaire est appliqué à deux personnes différentes, un membre du Système Projet (SP) et un membre du Système Support Projet (SSP). Ainsi, nous pouvons obtenir le niveau de maturité  $M_{ij}$  des deux systèmes pour une phase et un domaine donné, par exemple (Figure 39) :

Projet $\kappa$	Phase 1		...		Phase $i$		...		Phase $\pi$	
	SSP	SP	SSP	SP	SSP	SP	SSP	SP	SSP	SP
Domaine 1	5	4	4	3	4	4	4	5		
...					4	2				
Domaine $j$					5	3				
...					4	5				
Domaine $m$					4	3				

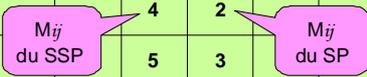


Figure 39 : Comparaison entre les niveaux de maturité du SSP et du SP

Les niveaux de maturité des deux systèmes (SP et SSP) sont comparés afin d'identifier les écarts entre les systèmes ou entre les perceptions de chaque système.

### *La préconisation de plans d'action*

Les résultats de l'évaluation permettent d'identifier les points d'amélioration grâce à la comparaison effectuée à la fois entre les niveaux souhaités et les niveaux réels mais également entre les niveaux de maturité du Système Support Projet (SSP) et du Système Projet (SP). Quatre possibilités d'actions ressortent de cette évaluation :

- Cas 1 « Processus manquant dans le référentiel et dans le projet » : Conception d'un processus de développement de projet.
- Cas 2 « Processus existant dans le référentiel mais non appliqué par le projet » : Conception ou amélioration du processus d'accompagnement aux projets.
- Cas 3 « Processus manquant dans le référentiel mais existant dans le projet » : Conception de processus de retour d'expérience pour faire bénéficier les autres projets de ce qui a été créé dans ce projet particulier.
- Cas 4 « Processus existant dans le référentiel et dans le projet » : Conception de processus d'amélioration continue.

### **Application aux projets véhicule PSA Peugeot-Citroën**

Dans le cadre de la thèse de Nydia Gonzalez, nous avons développé et utilisé le SMEMP à partir des phases et domaines du processus de développement de nouveaux véhicules de l'entreprise **PSA Peugeot-Citroën**. Elle dispose de son propre Schéma Opérationnel de Développement (SOD) régulièrement mis à jour. Il est basé sur l'historique de l'entreprise ainsi que sur des standards, comme le PMBOK du Project Management Institute (PMI 2008) pour la partie management de projet et le CMMI pour la partie maturité (SEI 2006).

Cela a débouché sur une meilleure compréhension des capacités d'anticipation et de réaction dont l'entreprise disposait sans en être toujours consciente. Réaction locale en termes temporel, puisque certaines actions peuvent être menées en cours de projet. Local en termes de granularité, puisque certaines actions concernent un sous-processus spécifique dans un domaine particulier et ne nécessitent pas de passer par des circuits décisionnels élevés et compliqués, qu'ils soient méthodologiques ou opérationnels. Il y a eu une prise de conscience d'une possibilité d'amélioration continue, d'abord décentralisée et locale, bénéficiant ensuite à des niveaux plus hauts et plus lointains dans le temps (projets futurs, référentiel futur).

#### 4.1.3. L'évolution : vers l'intégration à la philosophie Lean et la chasse aux gaspillages / faiblesses internes par amélioration continue

Travailler sur ses points faibles pour se rendre moins vulnérable est quelque chose d'assez classique, même dans la vie courante (santé, sport, compétences professionnelles, ...). Toutefois, ce n'est pas pour ça que c'est bien réalisé et bien outillé.

D'un point de vue technique, il serait bon de toujours chercher à améliorer les indicateurs, pour qu'ils soient toujours plus près à la fois des bénéficiaires des actions et aussi des évaluateurs. Il faut qu'ils puissent être simples et rapides à renseigner pour déboucher sur des actions pertinentes et rapides à mettre en place.

D'un point de vue plus philosophique, et c'est d'ailleurs une des orientations au sein de l'entreprise **PSA Peugeot-Citroën**, le lean amène une recherche continue des gaspillages, de la complexité superflue, des pertes, bref, de pas mal de faiblesses internes du système, afin de les éliminer ou a minima de les réduire. Même si chacun a son vocabulaire et ses outillages propres, les finalités sont assez proches. Je pense notamment que la complexité superflue est une faiblesse interne importante du projet, et le chapitre 5 présente certaines actions pour la réduire.

## 4.2. PRENDRE UNE PHOTOGRAPHIE DU SYSTEME PROJET AFIN D'EN DEDUIRE DES ECP (EVENEMENTS COMPLEXES POTENTIELS)

Cette section présente deux manières d'anticiper les évolutions possibles d'un système complexe à partir d'une photographie de son état à un instant donné. Nous présentons d'abord un indicateur relatif de complexité qui permet de comparer des projets ou des sous-ensembles d'un projet, puis un ensemble d'indicateurs absolus, faisant partie du domaine de l'analyse topologique des réseaux.

Le premier type de mesure a été étudié dans le cadre de la thèse de Ludovic-Alexandre Vidal, avec une application dans une entreprise de production de spectacles **Tachyon Productions**. Il a fait l'objet de deux publications dans *Expert Systems with Applications* (annexe 9.2 pages 146 et suivantes) et *International Journal of Project Management* (annexe 9.4, pages 148 et suivantes).

Le second type de mesure a été étudié dans le cadre de plusieurs projets de développement, essentiellement la thèse de Chao Fang, et accessoirement la thèse de Ludovic-Alexandre Vidal et le stage master recherche de Sebastian Lederer. Il a porté sur des données issues des projets de développement **PSA Peugeot-Citroën**, mais sans réelle application in vivo, ainsi que sur des données issues du projet Tramway chez **Alstom Transport**. Il a fait l'objet d'une publication dans la *Dependency Structure Modelling Conference* (avec Sebastian Lederer) et d'une soumission à la revue *Reliability Engineering and Systems Safety* (avec Chao Fang, voir page 149).

### 4.2.1. Le problème : comprendre à partir d'indicateurs instantanés simples et factuels à quels phénomènes le projet pourrait être confronté

#### Mesures existantes

Ce paragraphe donne un bref état de l'art sur les mesures et indicateurs de complexité définis dans le champ du management de projet ou pouvant être adaptés au management de projet. Les travaux d'Edmonds, de Latva-Koivisto et de Nassar et Hegab constituent la base principale de cette revue de littérature, soit environ 50 mesures de complexité identifiées (Edmonds 1999; Latva-Koivisto 2001; Nassar and Hegab 2006). Nous distinguons trois types de mesures.

#### *La complexité computationnelle*

Elle correspond essentiellement aux problèmes de séquençement et de dimensionnement des plannings projet (Akileswaran 1983).

#### *La complexité relative à la structure du projet*

Elle est essentiellement reliée à la structure des graphes ou arborescences qui sont utilisés pour décrire le projet (graphe de tâche, organigramme, relations entre composants produit, etc...). On trouve trois grands indicateurs :

- Le CNC (Coefficient of Network Complexity) défini par Kaimann (1974), où dans le cas du réseau PERT l'indicateur représente le nombre d'arcs (liens de séquentialité) au carré divisé par le nombre de nœuds (tâches).
- Le nombre cyclomatique donnant le nombre de cycles indépendants dans un graphe (Temperley 1981).
- Le degré de corrélation entre activités (Nassar et Hegab 2006) :
  - $C_n = 100 \times (\log(a(n-1)) / \log [(n^2-1) / 4(n-1)])$  si n est impair et
  - $C_n = 100 \times (\log(a(n-1)) / \log [n^2 / 4(n-1)])$  si n est pair

### *Les mesures holistiques de complexité*

Les mesures basées sur l'approche systémique ou sur la mesure de l'information font partie de cette catégorie. On peut citer l'exemple traditionnel de la mesure entropique statique de la complexité par l'information de Shannon (1948) :

- $Sha = - \sum \log_2 (p (N_i))$

### **Limites et spécifications pour une mesure de complexité**

Latva-Koivisto (2001) propose plusieurs critères dans son rapport de recherche tels que la validité, la fiabilité, la facilité d'implémentation informatique, la facilité de calcul de la mesure et le caractère intuitif de cette dernière. Certaines limites ont été évoquées dans la littérature (à partir de critères similaires à ceux de Latva-Koivisto ou d'autres), en premier lieu à propos de la fiabilité de telles mesures et des dangers de leur interprétation au premier degré. En second, le caractère non intuitif ou difficilement accessible à l'utilisateur final, à la fois pour obtenir les mesures mais également pour communiquer dessus une fois qu'elles sont obtenus. Troisièmement, ces mesures font essentiellement référence à un modèle particulier de description du projet ou d'un sous-ensemble du projet (le réseau de tâches, le graphe des relations entre acteurs, ...).

Pour le groupe de mesures de complexité computationnelle, l'inconvénient principal est qu'elles focalisent sur un modèle particulier du système pour un problème particulier pour l'élaboration du calendrier de projet par exemple (scheduling en anglais).

Le second groupe de mesures pose certains problèmes de fiabilité, avec des contre-exemples de graphes qui présentent des mesures de CNC similaires mais avec des interprétations différentes de leur complexité perçue par l'utilisateur. Ces mesures étant dépendantes du modèle choisi (PERT, WBS, OBS, CBS, PBS, RBS, ...) et du degré de finesse ou de granularité du modèle, elles sont influencées et biaisées par la focalisation du modélisateur (type d'information et niveau de détail de cette information). Il faudrait donc comparer des choses comparables, c'est-à-dire des graphes développés avec la même intention de degré de finesse (ou niveau de détail), ce qui peut être assez difficile pour des projets ou des sous-projets modélisés par des personnes différentes ayant des buts, des pratiques et des contraintes différentes.

Le troisième groupe présente des difficultés d'appréhension et de réalisation de la mesure. Après avoir effectué cette mesure, il faut passer à l'identification des sources de complexité et des actions à mener. Cette dernière est rendue plus difficile par le manque d'intuitivité et d'accroche dans la réalité concrète du projet (la notion d'entropie par exemple).

Au final, nous avons cherché à développer, sur la base de l'approche systémique, des indicateurs de complexité qui soient :

- Fiables, au sens degré de confiance que l'utilisateur peut accorder à la mesure,
- Intuitifs, compréhensibles et facilement applicables. L'utilisateur doit comprendre en quoi cela permet effectivement de mesurer la complexité, et doit pouvoir également communiquer sur cet indicateur à d'autres personnes,
- Indépendants de tel ou tel modèle utilisé au sein du projet. La complexité doit être la complexité du projet et pas la complexité du modèle projet,
- Capables de mettre en avant les sources de complexité, en reliant la mesure finale aux sources qui en sont le plus contributives. Ceci permettra de faciliter les éventuelles prises de décision qui seront à faire après la phase d'analyse.

### 4.2.2. Première proposition : un indicateur relatif pour comparer la complexité de projets ou de parties d'un même projet

Ce paragraphe introduit un indicateur relatif de complexité qui permet de comparer des projets ou des sous-ensembles d'un projet. Cela peut être un autre projet concurrent en phase de sélection ou un projet de référence, bien connu et pour lequel on sait ce qui s'est passé et pourquoi. La valeur en elle-même ne permet pas de faire des interprétations, c'est la comparaison des valeurs qui peut fournir des suggestions ou recommandations d'action. Elle peut notamment permettre d'en déduire des Evènements Complexes Potentiels (ECP, les « attaques » de la complexité).

#### Elaboration de l'indicateur et principe de calcul

Le calcul est effectué à partir de notre référentiel de complexité introduit dans le chapitre 2 et à partir de la méthode d'évaluation par comparaison par paires AHP décrite dans l'annexe 9.10 (page 154). Le but (au sens de la méthode AHP) est de mesurer la complexité, les critères sont les 18 éléments du référentiel de complexité et les alternatives peuvent être des projets ou des sous-ensembles d'un même projet.

A partir des scores bruts obtenus par comparaison par paires des alternatives  $S(i)$ , on en déduit une mesure relative de complexité  $CI_i$  décrite dans l'équation ci-dessous :

$$CI_i = \frac{S(i)}{\max(S(i))} \rightarrow 0 \leq CI_i \leq 1$$

Cette mesure relative et normée de complexité permet de classer des projets ou des sous-ensembles d'un projet selon leurs sources de complexité. Il est ainsi possible de focaliser l'analyse sur tel ou tel élément du référentiel (catégorie « Interdépendances » ou un élément particulier « Nombre de parties prenantes ») à partir de scores similaires à  $CI_i$  mais détaillés sur un ou plusieurs critères au lieu des 18. De nombreux détails sont donnés dans l'Annexe 9.2 (pages 146 et suivantes) qui présente également le cas d'application que nous introduisons brièvement dans le paragraphe suivant.

#### Application au choix de projets Spectacle

Ce travail a fait l'objet d'une application au sein d'une entreprise de production et de montage de spectacles musicaux, **Tachyon Productions**. Il s'agissait d'aider cette entreprise à sélectionner ses prochains projets en lui apportant un éclairage complémentaire sur leur complexité, en plus des critères classiques que peuvent être le budget, l'impact médiatique ou autre. Les données ont donc été collectées par interviews de plusieurs membres de la société, et ont permis l'élaboration des index de complexité relative pour les sous-critères (éléments du référentiel de complexité) et pour l'objectif (un index de complexité globale). A partir de là, des discussions ont porté sur la compréhension de telle ou telle valeur (ou différence entre projets), qui ne correspondait pas forcément ce que chacun pensait avant l'exercice. Des différences de perception notables entre participants ont été relevées, qui ont amené là-aussi des échanges aboutissant à la ré-évaluation du paramètre. Aucun mauvais compromis n'a été pris dans cette étude, les participants sont allés au bout de leur idée et ont su trouver des arguments convaincants pour aboutir à des évaluations partagées. Enfin, une étude de sensibilité a été menée afin de voir l'impact d'un changement (ou d'une erreur) dans les évaluations d'entrée sur le classement final en sortie, puisque le but est bien d'aider à prendre la décision de lancer tel projet et de ne pas lancer (ou de reporter) tel autre. Elle a permis à chacun de se rendre compte si l'on était proche d'une frontière, ou d'une possibilité de basculement du classement, ou si l'on était dans une zone plus calme, qu'on peut qualifier de robuste. Le choix final a été bien sûr effectué en fonction d'autres paramètres en plus du paramètre complexité, mais celui-ci a apporté un éclairage complémentaire et différent, et a sans aucun doute influencé ce choix.

### 4.2.3. Deuxième proposition : des indicateurs topologiques absolus pour déterminer de façon indirecte des ECP

Ce paragraphe introduit plusieurs indicateurs absolus de mesure de complexité. Comme dans le paragraphe précédent, cela permet d'en déduire indirectement des Evènements Complexes Potentiels.

#### Indicateurs issus de l'analyse topologique de réseau

Plusieurs applications sont possibles, en manipulant par exemple des matrices de risques, d'acteurs, de tâches ou de projets. Pour des raisons de volume et de redondance, seule l'application aux risques est présentée ici.

Nous introduisons 4 indicateurs pour montrer l'éventail des possibilités d'analyses, et la difficulté éventuelle pour récolter, calculer ou exploiter les données. Le premier indicateur est le plus simple et le plus local, le degré actif ou passif (exemple ci-dessous) de chaque risque (nœud du graphe), c'est-à-dire le nombre de liens en entrée et en sortie.

$$Deg_i^P = \sum_{j \in G} RSM_{ij}$$

À partir de la **RSM**, il est possible d'obtenir une seconde matrice, appelée **RRM** (Risk Reachability Matrix) dans laquelle  $RRM_{ij} = 1$  si et seulement s'il existe au moins un chemin de  $R_j$  vers  $R_i$ . On peut ainsi calculer de façon plus globale, car tenant compte des liens indirects, le nombre de chemins allant d'un risque à un autre, ou le nombre de chemins menant à un risque, ou le nombre de risques pouvant engendrer un risque, ou la longueur moyenne (ou maximale) des chemins menant à un risque.

$$N_i^S = \sum_{j \in G} RRM_{ij} \text{ représente le nombre de risques pouvant être impactés par le risque } R_i \text{ (les sorties S de } R_i)$$

La Figure 40 ci-dessous illustre sur le cas Tramway le nombre de risques potentiellement causes ou conséquences de chaque risque, avec des zones très différenciées. Les risques  $R_2$ ,  $R_{55}$  et  $R_{43}$  qui sont des accumulations de beaucoup de causes. Les risques  $R_6$ ,  $R_{49}$ ,  $R_{27}$  et autres sont des sources, causes potentielles de nombreux autres risques dans le réseau. Enfin, les risques avec beaucoup de causes et d'effets simultanément sont des transitions, avec plus de causes que d'effets pour  $R_{12}$  et  $R_{52}$  et l'opposé pour  $R_{10}$ ,  $R_{13}$ ,  $R_{39}$ .

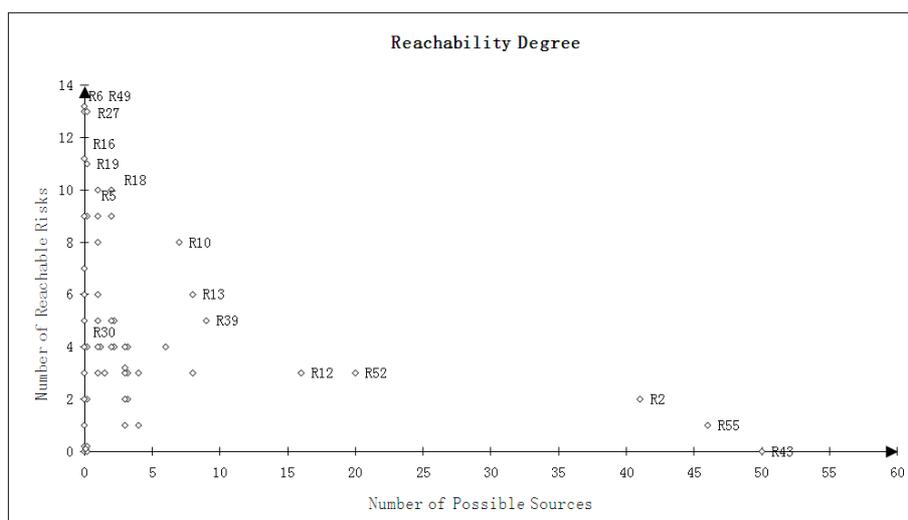


Figure 40 : Nombre de risques pouvant atteindre et pouvant être atteints par un risque donné

Nous avons développé des indicateurs relatifs aux interfaces hétérogènes, c'est-à-dire entre natures différentes de risques ou entre propriétaires différents (Figure 41).

Local	D1	D2	D3	D4	D5	D6
D1	13	9	0	2	0	1
D2	16	23	0	2	3	1
D3	4	11	6	0	0	0
D4	0	0	0	0	0	0
D5	1	1	0	0	0	0
D6	1	1	0	0	0	0

Global	D1	D2	D3	D4	D5	D6
D1	28	25	0	5	0	1
D2	40	44	0	6	3	2
D3	40	42	6	2	4	2
D4	0	0	0	0	0	0
D5	1	3	0	0	0	0
D6	6	3	0	0	0	0

**Figure 41 : Nombre d'interfaces entre domaines différents (similaire pour interfaces entre responsables différents)**

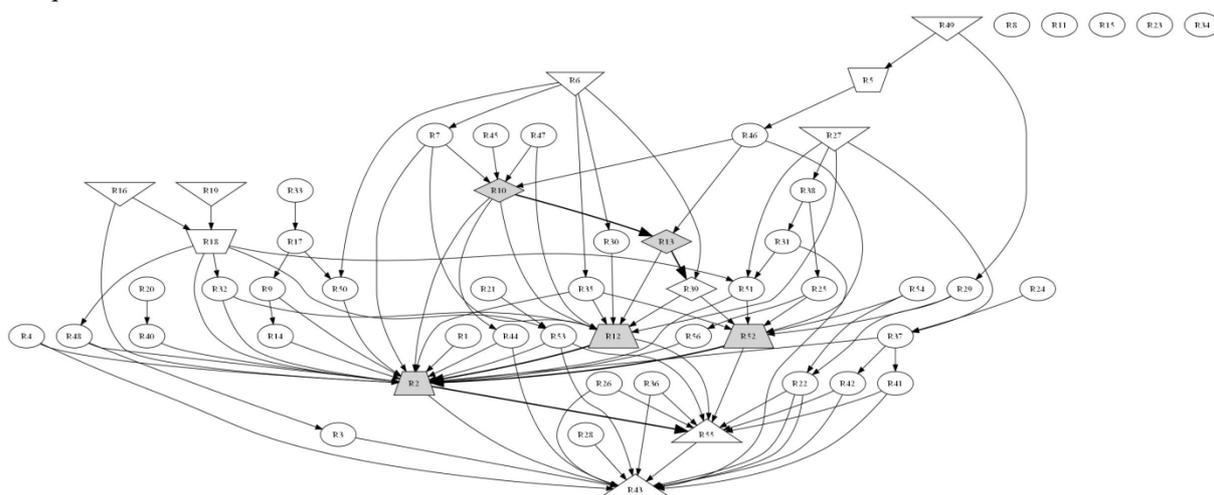
Par exemple, l'indicateur ci-dessous calcule le nombre d'interfaces directes et indirectes (globales, d'où le G en exposant) entre deux domaines de risques  $D_u$  et  $D_v$  (risques contractuels et risques technologiques par exemple).

$$I_{D_u, D_v}^G = \sum_{R_i \in D_u, R_j \in D_v} RRM_{ij}$$

Pour finir, un dernier type d'indicateurs nous a paru intéressant, qui mesure la centralité ou le degré d'entourage d'un nœud ou d'un arc (betweenness en anglais, d'où le B), à savoir par exemple le nombre de chemins passant par un nœud (ou un arc) donné. L'équation ci-dessous donne l'exemple du nombre de chemins passant par l'arc reliant les risques  $R_p$  et  $R_q$ :

$$B_{p \rightarrow q} = \sum_{i, j \in G, i \neq j \neq p \neq q} RRM_{pi} \text{ AND } RRM_{jq}$$

La Figure 42 ci-dessous illustre une mise en relief de certains risques, que ce soit par un code couleur (nœud gris, arc en gras) ou une forme particulière (triangle pointe en bas pour les risques sources, pointe en haut pour les risques d'accumulation, trapèzes pour les risques de transition). L'intérêt de toutes ces mesures est de détecter des problèmes potentiels avec des risques qui au départ n'avaient pas été individuellement jugés critiques.



**Figure 42 : Mise en valeur de certains nœuds du réseau pour des raisons topologiques**

### 4.2.4. L'évolution : des indicateurs encore plus adaptés à la disponibilité des données et au besoin de l'utilisateur

Les indicateurs de mesure de complexité, relative ou absolue, ont montré leur intérêt dans l'aide à l'identification d'ECP et l'aide à la priorisation de certains événements lorsqu'on tient compte de leur positionnement dans le réseau complexe auquel ils appartiennent. Des suites sont en cours ou envisagées.

#### Travaux en cours

Un stage Master Recherche est en cours avec Sergio Alonso. Il porte sur l'élaboration d'indicateurs relatifs de complexité des processus d'une entreprise, en focalisant sur ses processus de transformation (les projets de transformation interne) appliquée à un type particulier de processus non encore défini. La particularité de ce stage est donc de mixer l'analyse des processus du projet et du système résultant. Jusque-là, nous avons toujours étudié l'impact du système résultant sur le système projet. C'est la première fois que nous étudions également la complexité du système résultant.

#### Travaux futurs

En plus du travail sur les processus de transformation, qui débouchera fin 2011 sur le lancement d'une thèse avec le **CEISAR** et au moins un des partenaires du CEISAR, à savoir **Axa**, **Air France** et **Total**, cela permet d'ouvrir de nombreuses perspectives en fonction du système résultant étudié. Historiquement, nous avons toujours travaillé dans les grands produits complexes (automobile, ferroviaire, aéronautique). Un autre exemple d'extension du domaine d'application est une possibilité de travailler sur des projets de construction ou de rénovation de réseaux énergétiques. Cela est favorisé par l'arrivée récente d'Enrico Zio et de la chaire « Science des systèmes et défis énergétiques » de l'entreprise **EDF**. Le chapitre 6 reviendra plus longuement sur ce dernier point.

D'un point de vue plus technique et court-terme, la première amélioration envisagée serait d'introduire des nombres flous permettant de tenir compte de l'incertitude sur certaines des évaluations fournies en entrée. De plus, la méthode AHP présente certaines faiblesses, comme par exemple la sensibilité à l'ajout ou au retrait d'une alternative dans le classement final (Holder 1990). Il faudrait donc que la liste soit sûre avant de démarrer l'analyse, le problème étant que les idées de nouveaux projets peuvent apparaître au fil de l'eau. Enfin, il sera étudié la possibilité d'intégrer les interactions et corrélations entre les différents facteurs (comme suggéré par le coefficient de corrélation de Spearman que nous avons calculé), par exemple en utilisant une méthode de type ANP (Analytic Network Process). Une autre possibilité sera de se situer par rapport à des exemples de référence, ce qui est un des principes de base de la méthode Electre TRI, que nous comptons utiliser prochainement.

Les premières conclusions de ce travail préliminaire montrent que certaines métriques ne sont pas adaptées à ce contexte. Pour savoir si elles le seraient dans d'autres contextes (matrices de risques, matrices de tâches ou de projets par exemple), des études complémentaires sont à mener. Nous n'avons pas encore fini de creuser l'étude des domaines de validité de tel ou tel indicateur (ou de telle ou telle méthode) en fonction de la structure de la matrice, de sa taille, de sa densité, de sa répartition de remplissage, de son caractère plus ou moins bouclé, etc...

### 4.3. ANTICIPER LES EVOLUTIONS POSSIBLES DU SYSTEME PROJET AFIN NOTAMMENT DE DETECTER LES ECP

Cette section présente deux manières d'anticiper directement les évolutions possibles d'un système complexe à partir de l'étude en dynamique de son comportement, notamment des phénomènes de propagation. Nous présentons d'abord une identification d'ECP à partir de l'identification d'interactions qui peuvent propager des phénomènes « origine » en réactions plus ou moins surprenantes et désagréables (cascades, domino, papillon, boucle). Ensuite, l'utilisation de la quantification de ces interactions permet dans certains cas d'aller jusqu'à l'analyse qualitative de ces ECP.

Le premier type d'analyse se sert donc de données binaires (identification d'interactions) pour détecter des phénomènes complexes potentiels sans chercher à faire d'estimation. Cela permet de détecter de nouveaux phénomènes, non identifiés par les méthodes classiques d'identification des risques. L'exemple présenté utilise des matrices décrivant des interactions entre objets (acteurs, tâches et projets). Ce travail a été mené dans le cadre d'un projet collaboratif avec Julie Le Cardinal, avec une application **PSA Peugeot-Citroën**. Il a fait l'objet d'une publication dans *International Journal of Product Development* (section 9.6, page 150).

Le second type d'analyse porte ensuite sur l'anticipation des comportements potentiels du projet à partir de données numériques, et quelles différences sont constatées par rapport aux analyses classiques de risques. Cela repose sur deux approches complémentaires, qui sont la simulation à événements discrets et la modélisation mathématique matricielle directe. Ce travail a été mené dans le cadre de la thèse de Chao Fang. Il a fait l'objet de plusieurs communications en conférences et d'une publication chez *Decision Support Systems* (section 9.7, page 151). Il a été appliqué chez **JLSA Prod'** et **Alstom Transport**.

#### 4.3.1. Le problème : les anticipations de propagation se font actuellement plutôt sur des paramètres simples (coût-délai) ou globaux (objectifs du projet)

Les outils actuels de gestion de projet qui proposent des formalisations d'interactions restent simples, mono ou bi-interactions et focalisés sur des paramètres facilement mesurables, comme le coût et le temps. Aucun outil n'a été développé spécifiquement pour étudier des propagations, même s'ils permettent de le faire. Ainsi, on peut étudier l'impact d'un retard sur le reste du projet via l'analyse des marges et des tâches critiques. On peut aussi étudier les variations individuelles de durée ou de coût sur les valeurs agrégées au niveau du projet. Cela reste insuffisant et nécessite des outils plus précis, développées dans le but d'étudier ces propagations potentielles.

#### 4.3.2. Première proposition : l'identification d'Evènements Complexes Potentiels à l'aide de données binaires

Ce paragraphe introduit en quoi la manipulation de DSM et de DMM binaires permet d'obtenir des informations précieuses sur des Evènements Complexes Potentiels qui auraient pu échapper à l'analyse classique de risques. Il est rappelé qu'une DSM est une matrice carrée reliant les mêmes objets en ligne et en colonne, alors qu'une DMM (Domain Mapping Matrix) relie des objets différents et est donc souvent rectangulaire.

#### **Produits matriciels homogènes : utilisation des puissances d'une DSM**

Il est possible tout d'abord de multiplier la matrice d'interactions **RSM** par elle-même à la puissance  $n$  afin d'en tirer des conclusions sur l'existence de phénomènes complexes. Cela correspond au concept de puissances de la matrice d'adjacence en théorie des graphes et permet d'identifier des boucles d'ordre de plus en plus élevé (Ledet and Himmelblau, 1970).

On obtient deux résultats qui servent de base aux analyses décrites par la suite:

- la multiplication des matrices en booléen, c'est-à-dire que les matrices obtenues restent binaires (si  $m_{ij} > 1$  alors  $m_{ij} = 1$ ). Un élément non nul  $m_{ij}$  signifie alors que le risque  $R_i$  peut être atteint par propagation à  $n$  degrés à partir du risque  $R_j$ .
- la multiplication matricielle classique donne une matrice numérique en nombre entiers, où la valeur de la cellule  $m_{ij}$  donne le nombre de chemins possibles de  $R_j$  vers  $R_i$  dont la longueur est exactement  $n$ .

### *Identification de boucles potentielles*

Les boucles sont identifiables à l'aide des éléments diagonaux des matrices précédentes. Les risques impliqués dans une ou plusieurs boucles doivent être étudiés avec attention.

### *Etude de la propagation potentielle d'un risque donné*

On peut connaître tous les risques engendrés à  $n$  niveaux par un risque  $R_i$  en lisant la  $i^e$  ligne de la matrice  $RSM^n$ . On peut aussi connaître le nombre de chemins potentiels menant du risque  $R_i$  au risque  $R_j$  en additionnant les matrices successives  $\sum_n RSM^n$ .

## **Produits matriciels hétérogènes : utilisation du produit de plusieurs DMM**

Il s'agit ici de relier plusieurs natures d'objets par des produits successifs de DMM reliant ces objets 2 à 2. Prenons l'exemple d'une matrice AT qui modélise l'affectation des Acteurs aux Tâches du projet. Une seconde matrice TC modélise la contribution des Tâches aux Composants du produit. Enfin, une troisième matrice CF modélise la contribution des Composants aux Fonctions du produit. La matrice  $AT*TC$  permet de relier les Acteurs aux Composants, et la matrice  $AT*TC*CF$  permet de relier les Acteurs aux Fonctions. Même si ça n'a pas de valeur quantitative, la simple identification de ce qui pourrait être affecté par un évènement, un changement ou une décision à un endroit donné, est intéressante. Ce travail a été appliqué à l'affectation d'un acteur dans le projet.

### *Le problème industriel*

**PSA Peugeot-Citroën** gérait à l'époque ses projets de transformation interne avec une organisation décentralisée. Certains projets étaient lancés au niveau du département (R&D par exemple) ou même de l'entreprise, et les services pouvaient eux-mêmes proposer et lancer des projets, qu'ils soient à leur niveau ou qu'ils impactent aussi d'autres services.

Cela signifie qu'un problème sur un de ces projets pouvait avoir une conséquence sur d'autres projets, quel que soit leur type (avec une gravité allant croissante si on se rapprochait de la commercialisation du véhicule). Toutefois, le lien entre les projets de transformation interne et le reste (à la fois entre eux et avec les deux autres types de projets) n'était pas identifié et donc rarement (ou aléatoirement) géré, ce qui pouvait avoir des conséquences désastreuses, puisque les phénomènes en général s'amplifient quand ils se propagent.

### *La démarche de résolution*

Afin de résoudre la problématique de l'estimation des conséquences potentielles d'un mauvais choix d'acteurs à un ou plusieurs niveaux, nous avons adopté la démarche suivante. A partir du modèle ALOE décrivant les interactions entre les objets concernés, nous avons conduit avec l'aide d'un étudiant de master recherche Mounir Ben Zineb un certain nombre d'entretiens et épluché un certain nombre de documents afin de rassembler les données concrètes de l'entreprise.

La synthèse des données sous forme matricielle se justifie par le nombre d'interactions existantes qui rend difficile la visualisation graphique de l'ensemble des interactions. Elles sont formalisées sous forme binaire, car il paraissait difficile à ce stade de leur associer des évaluations comparables.

En effet, l'interaction entre un acteur et un projet est de type affectation, pour lequel on peut évaluer un taux d'affectation ou un taux de contribution (ce qui est déjà différent). En revanche, l'interaction entre deux projets peut être de différentes natures. Il paraissait donc dangereux de mixer des évaluations qui auraient pu amener à des conclusions erronées.

*Analyse des conséquences potentielles à un ou plusieurs niveaux par manipulation de matrices*

Nous considérons ici que l'événement initial est l'affectation de l'acteur  $A_i$  au projet  $P_j$ , que nous étudions en termes de propagation, sous-entendu propagation potentielle d'un événement négatif. Dans ce cas précis, il s'agit du risque d'inadéquation entre l'acteur et la tâche (ou ensemble de tâches) qui lui a été confiée. Comme le montre la Figure 43 ci-dessous, un acteur peut être affecté directement à peu de projets, mais influencer beaucoup d'autres projets ( $A_2, A_4$ ), ou les influencer à travers plusieurs chemins convergents ( $A_5$ ).

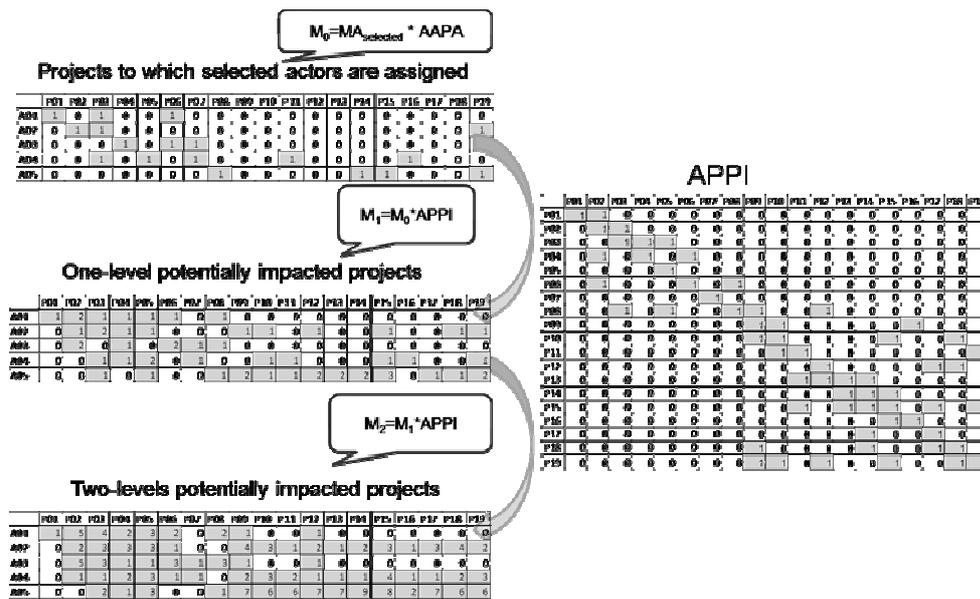


Figure 43: Propagation à 1 puis 2 niveaux d'un problème lié à l'affectation d'acteurs via les relations entre projets

*Conséquences sur la gestion des risques liés au choix d'acteurs dans les projets*

Lorsqu'on s'intéresse à l'affectation d'un acteur à une responsabilité, il est possible d'identifier l'ensemble des conséquences possibles de cette affectation. Cela permet de différencier des affectations a priori similaires (même budget, même durée, même grade ou ancienneté demandée) mais qui sont très différentes d'un point de vue positionnement dans le réseau complexe (nombre d'objets reliés directement ou indirectement, intégrée à des chaînes longues, amplificatrices ou bouclées, proximité d'une partie dense ou au contraire clairsemée du réseau, etc...). Nous nous sommes rendus compte que certaines personnes étant faites ou pas pour évoluer dans un environnement complexe, il fallait aussi en tenir compte au moment de l'affectation, soit en changeant l'acteur, soit en changeant l'environnement dans lequel il va évoluer (plus dur a priori).

Au final, notre méthode permet de réduire (on ne garantit jamais un évitement total) certains risques pendant le processus de décision, ce qui peut déjà faire gagner du temps par rapport à un processus de gestion de risques qui découvre le dysfonctionnement au moment où il se produit (donc plutôt pendant la réalisation) et qui se mettrait à étudier ses conséquences possibles, mais peut-être déjà trop tard. En effet, elle focalise sur le problème de choix d'acteur, en considérant celui-ci comme un nœud dans le graphe complexe du projet, et en étudiant les conséquences possibles d'un dysfonctionnement sur ce nœud via les interactions (ou arcs) qui le relie au reste du système.

### 4.3.3. Deuxième proposition : l'analyse qualitative d'Evènements Complexes Potentiels à l'aide de données numériques

Dans le contexte du management de projet, il est infaisable d'envisager des expérimentations réelles pour étudier tel ou tel comportement ou l'impact de tel ou tel paramètre, de telle ou telle donnée d'entrée ou de telle ou telle méthodologie. On ne peut de toute façon pas rejouer deux fois le même projet, puisque la notion de projet « à l'identique à l'exception du paramètre que l'on souhaite étudier » n'existe pas. De même que dans beaucoup d'autres domaines, il apparaît donc prometteur et dans la logique des choses d'utiliser des outils de modélisation mathématique ou de simulation comme une aide à la décision alternative (Arnott et Pervan 2008 ; Power et Sharda 2007).

#### Elaboration du modèle

Chaque risque est modélisé comme un évènement (nœud), qui se produit ou pas (valeur binaire) et qui entraîne ou pas chacune des branches (arcs) qui lui sont reliées en aval dans le modèle. La probabilité spontanée d'apparition d'un risque est celle donnée par les experts. La probabilité de transition est exactement ce qui est contenu dans la matrice **RNM** d'interactions entre risques. En effet, elle évalue la probabilité causale conditionnelle de l'occurrence d'un risque effet à partir de l'occurrence d'un risque cause.

#### Hypothèses simplificatrices

Nous faisons plusieurs approximations pour simplifier le modèle ou le rendre plus réaliste :

- On ne s'intéresse pas ici au temps, c'est-à-dire au temps de latence entre la cause et l'effet,
- Un évènement peut se produire plus d'une fois, ce qui peut arriver dans la réalité. Lorsqu'un risque est impliqué dans une boucle, il se peut que cette boucle repasse plus d'une fois par le même évènement,
- La structure et les valeurs dans la matrice sont stables pendant l'analyse. Si on peut bien sûr envisager la mise à jour de la liste des risques et de la matrice des transitions entre risques au cours du temps, il faut conduire l'analyse à matrice fixe.

#### Indicateurs clés

**Fréquence du risque (Risk Frequency).** C'est calculé à partir du nombre d'occurrences réelles de chaque risque :

$$RF(R_i) = \text{nombre d'occurrences constatées} / \text{nombre d'itérations}$$

Nous appelons ici **s** le vecteur synthétisant les probabilités spontanées des risques, **A** la matrice synthétisant les probabilités de transition entre risques et **P** le vecteur synthétisant les probabilités réévaluées des risques. Si nous avons  $n$  risques identifiés, alors **s** et **P** sont de dimension  $n$  et **A** est de dimension  $n*n$ . Si nous souhaitons considérer la propagation potentielle d'un risque au degré  $m$ , alors nous devons multiplier le vecteur **s** par la matrice **A** à la puissance  $m$ . on obtient donc pour un risque donné une réévaluation de sa probabilité suite aux différentes propagations possibles (à au plus  $m$  degrés) selon la formule suivante :

$$P(R) = (I - A)^{-1} \cdot s$$

Où **I** est la matrice identité de dimension  $n*n$ . Il s'agit bien sûr d'une approximation, la question étant de savoir quelle erreur est faite et quelle économie de temps de calcul permet cette formulation simplifiée.

**Etude localisée de la propagation d'un évènement donné.** Il suffit dans le modèle de mettre une valeur de 1 (probabilité de 100%) à un risque  $R_i$  dans le vecteur initial **s** en mettant les autres valeurs à 0.

Cela revient à dire que  $s = \mathbf{I}^i$  où  $\mathbf{I}^i$  est la  $i^{\text{ème}}$  colonne de la matrice identité **I**.

On a alors  $P(R_i)$  qui s'obtient grâce au produit  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{I}^i$

**Criticité locale, criticité globale.** Comme vu précédemment, les risques sont souvent caractérisés par la criticité en plus de la probabilité. Elle est généralement définie comme une combinaison de la probabilité et de la gravité, parfois à l'aide d'abaques et parfois à l'aide d'une formule combinant les deux valeurs, la plus simple et la plus répandue étant le produit. Même si nous recommandons d'être prudents par rapport aux phénomènes compensatoires qui peuvent se produire en multipliant (ou en additionnant) deux valeurs, nous nous intéressons ici à l'estimation de l'ordre de grandeur d'une criticité réévaluée en tenant compte des propagations possibles. Comme pour la fréquence simulée, on peut calculer une criticité simulée en incorporant à la fois la différence dans l'estimation de probabilité des risques mais également en incorporant les conséquences de ce risque.

$$C(R_i) = G^T \cdot (I - A)^{-1} \cdot (I^i \cdot P(R_i))$$

### Comparaison des résultats avec ceux obtenus par l'analyse classique

La première simulation consiste à rentrer les valeurs spontanées pour chacun des risques et à faire tourner le modèle pour en déduire les fréquences simulées, et analyser les écarts. La deuxième simulation consiste à focaliser sur un risque donné en lui rentrant une valeur de probabilité spontanée de 1 et en donnant 0 aux autres. Là encore, on analyse les fréquences simulées pour l'ensemble des risques. Réciproquement, on peut aussi chercher à analyser les scénarii qui conduisent à l'occurrence d'un risque particulier, comme le font très bien les réseaux bayésiens par exemple.

On obtient alors une ré-évaluation des priorités accordées à certains risques, car des résultats différents en termes de fréquence, de criticité, et donc de classement (voir Tableau 6). Ces analyses peuvent donc entraîner des changements dans l'établissement des priorités, et donc dans l'élaboration du plan d'actions qui suit (dans la phase de traitement des risques).

Lorsqu'un manager demande le « top 5 » des risques car seuls ceux-là seront budgétés, il est évident que le fait de considérer ou pas les risques comme interdépendants peut avoir une influence sur ce top 5 et donc sur la trajectoire future du projet car le plan d'actions sera différent et l'argent investi autre part.

**Tableau 6 : Modification des priorités des risques**

Ranking	By Spontaneous Probability		By Simulated Frequency		By Evaluated Criticality		By Simulated Global Criticality	
	Risk ID	Value	Risk ID	Value	Risk ID	Value	Risk ID	Value
1	R01	0.500	R01	0.807	R03	4.50	R01	25.88
2	R03	0.500	R03	0.771	R01	3.50	R02	12.15
3	R02	0.360	R02	0.696	R05	2.16	R05	11.36
4	R05	0.360	R10	0.529	R02	1.80	R10	10.11
5	R14	0.360	R04	0.495	R04	1.13	R03	9.53
6	R04	0.126	R17	0.469	R07	1.01	R04	7.69
7	R07	0.126	R14	0.445	R14	0.72	R07	6.55
8	R09	0.050	R07	0.425	R09	0.30	R12	5.40
9	R16	0.050	R12	0.400	R16	0.25	R13	5.34
10	R06	0.011	R11	0.393	R19	0.11	R11	4.75
11	R08	0.011	R08	0.388	R06	0.09	R17	4.05
12	R10	0.011	R13	0.383	R12	0.09	R06	3.69
13	R12	0.011	R05	0.364	R08	0.08	R14	3.51
14	R13	0.011	R06	0.266	R13	0.08	R08	3.39
15	R19	0.011	R15	0.196	R10	0.07	R15	3.11
18	R17	0.001	R19	0.014	R18	0.01	R19	0.24

Nota : il faut préciser que, même si ce genre de pratique existe et que nous nous y adaptons, nous ne la considérons pas comme optimale. Notamment en raisons des erreurs et incertitudes dans les évaluations de risques, il faut s'intéresser plus précisément au problème des frontières et des modalités d'évaluation : l'écart entre le top 5 et le 6<sup>e</sup> du classement, l'écart entre un risque considéré comme « moyen » et la frontière de cette zone, des risques extrêmement graves mais ayant une probabilité extrêmement faible et qui se retrouvent dans le ventre mou du classement, etc...

### Etude de la sensibilité des résultats à la non fiabilité des données d'entrée

Il existe de l'incertitude dans les estimations données, à la fois sur les risques et sur les transitions entre risques. Il est donc nécessaire de s'intéresser à la fiabilité des résultats obtenus. L'analyse de sensibilité permet d'étudier le comportement d'un modèle et notamment à quel point les sorties dépendent de la variation des entrées (Saltelli et al. 2000). On considère donc trois valeurs de probabilité spontanée pour chacun des risques, qui sont fournies par jugement d'expert optimiste, la plus probable et pessimiste. On obtient ainsi les variations sur les fréquences et les criticités simulées sous forme d'intervalles auxquels il est même possible d'associer une distribution de probabilité (Figure 44). L'analyse de sensibilité est donc un outil intéressant pour vérifier le classement des risques, puisqu'on peut déduire des choses de la comparaison des intervalles de variation de chaque risque (Meszaros et Rapsak 1996). C'est une aide à l'amélioration de la fiabilité de l'analyse et donc de la robustesse des suggestions qui en découlent. Par exemple, les risques R3 et R7 ont des valeurs moyennes proches, mais la valeur la plus basse de R3 est plus grande que la valeur la plus haute de R7 (Figure 44). Cela permet donc d'être confiant dans le fait d'engager des ressources dans la prévention de R3 plutôt que R7.

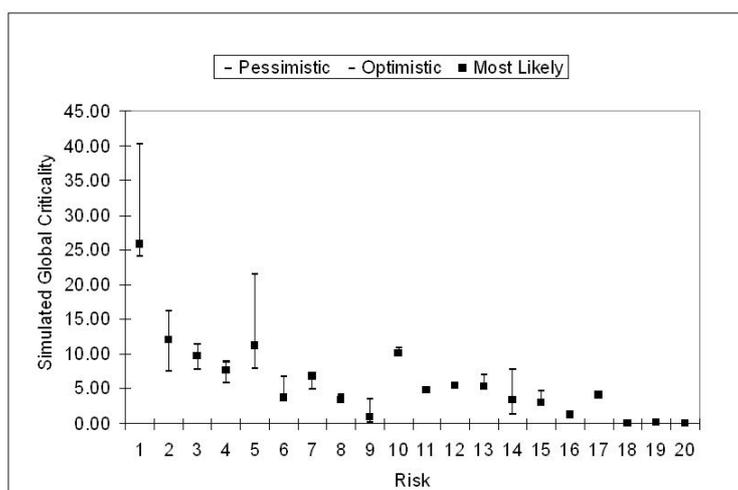


Figure 44 : Graphe de sensibilité de la ré-évaluation des risques par rapport aux incertitudes en entrée

#### 4.3.4. L'évolution : vers des fonctions de transfert hétérogènes plus élaborées

**Travaux en cours.** Un travail d'analyse qualitative d'ECP est en cours chez **Renault** dans le cadre des projets Véhicule. Leur besoin est de mieux comprendre l'impact de certaines décisions « produit » sur des paramètres « projet ». Ils aimeraient anticiper, dans un premier temps en binaire, des conséquences potentiellement désagréables d'une décision initiale qu'on croit positive. Il s'agit d'un stage Master Recherche mené avec Antoine Sévely et qui vise à déboucher fin 2011 sur le lancement d'une thèse CIFRE.

Un autre projet collaboratif dans la même veine est déjà bien entamé avec Marija Jankovic et Gilles Turré. Il porte sur l'étude de l'impact d'une innovation sur le reste du projet. Cette innovation peut être sur le produit (fonction, architecture, composant, technologie) ou sur le projet (méthodologique, organisationnelle, contractuelle). Dans tous les cas, elle peut avoir des conséquences surprenantes et parfois désagréables, l'une d'entre elles étant l'innovation subie. Cela veut dire qu'elle est la conséquence de quelque chose d'autre et, n'ayant pas été prévu au départ, elle pose en général encore plus de problèmes et de risques.

Enfin, un dernier projet collaboratif est en cours avec Marc Bouissou sur l'utilisation de la technique de modélisation des BDMP dans certains contextes de complexité (pas de boucle, des combinaisons multi-causes sous forme de portes logiques ET/OU).

**Travaux futurs.** Déjà citée, la thèse CIFRE **Renault**. D'autres projets plus conséquents sont à l'étude avec Marija Jankovic et Marc Bouissou, mais rien n'est engagé pour le moment.

#### 4.4. DIAGNOSTIQUER LA VULNERABILITE DU PROJET FACE AUX ECP

Cette section introduit le diagnostic final de vulnérabilité du système projet face à sa complexité. Le travail repose sur les sections précédentes (faiblesses internes en 4.1 et événements complexes potentiels en 4.2 et 4.3) et sur la formalisation de techniques d'identification et d'analyse de vulnérabilité projet. Il a été mené dans le cadre de la thèse de Ludovic-Alexandre Vidal (pour la partie vulnérabilité projet en général, appliqué sur le cas **FabAct**) et d'un projet personnel (pour des cas spéciaux d'événements complexes, appliqué sur le cas **Tramway**). Il a fait l'objet d'une publication en conférence *LambdaMu 2010*, d'une 1<sup>ère</sup> publication dans *Kybernetes : the journal of cybernetics and management science* (section 9.8, page 152) et d'une 2<sup>e</sup> acceptation dans *International Journal of Project Organisation and Management* (section 9.16, page 160).

##### 4.4.1. Le problème : en projet, on parle de risque, pas de vulnérabilité

Plusieurs problèmes ont été détectés dans les principes et la conduite des processus de gestion des risques. Ce mémoire présente les trois principaux. Premièrement, il y a dans certains cas une confusion dans le terme « risque ». Parfois, on parle de l'évènement (il risque de pleuvoir), parfois on parle de l'impact de l'évènement (la pluie risque de mouiller mon pantalon), parfois on parle de l'impact en fonction d'une finalité liée à cet objet (la pluie risque d'abîmer mon pantalon de costume), et parfois enfin on parle de l'impact pour l'acteur impliqué avec cet objet (je risque de rater mon entretien d'embauche à cause de mon pantalon abîmé par la pluie). Dans tous les cas, on modélise toutes ces formulations dans une même liste, ce qui veut dire que certains risques tiennent compte de l'objet potentiellement impacté et d'autres non. Cela dépend du degré d'expertise des personnes concernées, mais même entre experts il peut y avoir des différences dans la formulation du risque.

Deuxièmement, on fait l'évaluation d'un évènement, ce qui pose problème surtout sur la notion de gravité, car ça dépend pour qui. Il est clair que le risque de pluie n'a pas le même impact pour un agriculteur qui l'attend pour faire pousser ses cultures, pour ce même agriculteur qui a un rendez-vous capital avec des investisseurs et a oublié son parapluie, ou pour l'investisseur qui lui attend bien protégé dans son bureau. Toutefois, on associe une et une seule valeur d'impact à un risque, avec là aussi une utilisation de plusieurs termes, comme gravité ou sévérité qui prêtent à confusion.

Pour terminer, en phase de traitement des risques, on peut parler de l'évènement (prévention), ou de l'objet face à cet évènement (protection), ou de l'impact de l'évènement une fois qu'il s'est produit (réparation) ou de la conséquence possible de cet évènement une fois qu'il a impacté l'objet (confinement).

Nous proposons donc de mieux distinguer ce qui est relatif à l'évènement, indépendamment de l'objet, de ce qui est relatif au couple (évènement, objet). Cela peut s'étudier en amont de l'évènement, au moment où l'évènement se produit et qu'il est susceptible d'avoir un impact, puis en aval de cet impact direct, sur des éventuelles conséquences secondaires.

##### 4.4.2. La proposition : un processus et des indicateurs permettant de coupler l'évènement à l'objet potentiellement impacté par l'évènement

Le processus est calqué sur celui de gestion des risques, comprenant principalement identification, analyse et traitement. Les concepts du chapitre 4 portent sur les deux premières étapes, la troisième étant l'objet du chapitre 5. En revanche, les données manipulées changent puisqu'on tient compte à la fois des événements risqués, en particulier des ECP, mais également des faiblesses internes (pour savoir si ces événements peuvent avoir prise sur le projet).

### L'étape d'identification des vulnérabilités au sein du projet

Afin d'identifier ces vulnérabilités, nous utilisons l'approche systémique, basée sur différents travaux (Simon 1981, Le Moigne 1990; Vidal et Marle 2007; Vidal et Marle 2008). On effectue une réflexion de type stresser / récepteur qui permet d'identifier des vulnérabilités sous la forme de triplets (valeur(s), objet(s), événement(s)), les objets pouvant être des processus ou des ressources par exemple. Ce triplet peut être réduit à un couple (objet(s), événement(s)) qui permet déjà d'identifier l'impact local d'un événement sans forcément aller jusqu'à la dégradation potentielle de valeur.

Plusieurs moments de vulnérabilité sont distingués, selon où l'on se trouve par rapport à l'occurrence de l'évènement et par rapport à son impact sur l'objet.

- La vulnérabilité amont, qui détermine la capacité qu'on a à détecter qu'un événement pourrait se produire et à s'en prévenir, c'est-à-dire agir sur cet événement pour qu'il ne se produise pas. Cela comprend également la capacité à se protéger de cet événement, toujours avant qu'il ne se produise.
- La vulnérabilité immédiate, qui détermine la capacité à détecter que l'évènement se produit et à mettre en œuvre les éventuels plans de secours ou de réparation ou de protection complémentaire (réactifs) prévus.
- La vulnérabilité aval, qui détermine la capacité à détecter les conséquences potentielles indirectes de l'évènement et de son impact, et à éventuellement confiner cet événement ou a minima à alerter les objets en aval de la chaîne.

Dans les trois types de vulnérabilité, on retrouve à chaque fois des capacités de détection, de décision et de communication, qui peuvent être altérées (voir les faiblesses internes) et donc dont il faut tenir compte pour ne pas se focaliser seulement sur le couple (objet, événement) mais bien sur l'ensemble de la chaîne de transmission de l'information. Il est dommage d'avoir des bons outils de décision si les outils de détection sont défaillants, de même qu'il est dommage de prendre une bonne décision si sa mise en place sera défaillante ou de maîtriser l'impact local d'un risque si c'est pour qu'il dégénère et provoque cent fois plus de dégâts au final.

### L'étape d'analyse des vulnérabilités projet

Les vulnérabilités identifiées précédemment sont maintenant estimées et analysées en fonction de deux paramètres introduits qui sont la susceptibilité d'être affecté par l'évènement et la capacité (ou non-capacité) à y résister. Cette capacité se décline en résistance (ou non résistance, l'effet immédiat) et la résilience (ou la capacité à se réparer, à revenir au bout d'un certain temps à un état plus conforme, voire conforme). Cela permet de raffiner un peu l'analyse portant sur l'impact d'un risque.

En ce qui concerne l'analyse de la susceptibilité, reliée à l'occurrence d'un risque, nous n'avons pas encore conduit de travaux spécifiques. L'utilisation de notions plus fines permettant la distinction entre probabilité, vraisemblance et possibilité permettrait déjà d'améliorer les choses.

Pour les autres paramètres, des échelles de Likert à 10 niveaux sont proposées, construites par des experts, afin de catégoriser les différents degrés de non- résistance à un risque et de résilience une fois que le risque s'est produit. Cela est donc similaire d'un point de vue méthodologique et visualisation graphique au diagramme de Farmer (probabilité – impact) utilisé traditionnellement<sup>6</sup>.

Au final, un index global  $I$  peut être calculé, avec la prudence de mise dès qu'on agrège plusieurs informations en une seule, via une opération de multiplication, d'addition ou de moyenne. On appelle  $CR(V)$  le taux de contribution (Contribution Rate dans la publication originale) de l'élément vulnérable,  $NR$  la Non Résistance et  $R$  la Résilience. L'index  $I$  obtenu est un produit de ces trois valeurs.

$I(V)$  varie entre 0 et 100, car  $CR$  est compris entre 0 et 1 et  $NR$  et  $R$  sont respectivement compris entre 0 et 10.

---

<sup>6</sup> Il est rappelé ici que la notion d'impact est déjà sujette à caution dans son utilisation, puisque l'impact factuel d'un événement est différent de la gravité perçue associée à cet impact. Or, l'expérience montre que les deux notions sont parfois confondues, tant dans les méthodes que dans l'application terrain.

### Applications pratiques

Le cas **FabAct** s'intéresse essentiellement à des liens directs ressources – processus- valeurs.

Le cas **Tramway** porte lui plus spécifiquement sur la présence d'Evènements Complexes Potentiels, et sur la capacité ou non de l'organisation projet à leur résister. Il est détaillé dans l'article section 9.16 page 160, mais les principaux éléments du diagnostic de vulnérabilité sont résumés ci-dessous.

En premier lieu, l'étude des faiblesses internes a été réduite aux processus clés tels que définis spécifiquement par l'entreprise pour ce genre de projet (Figure 45). Trois valeurs ont été comparées : la valeur requise de maturité (*RM*), la valeur potentielle de maturité (*PM*) et la valeur courante de maturité (*CM*). La Figure 45 montre les valeurs obtenues et leur analyse sous forme d'écarts, respectivement entre valeur courante et valeur potentielle (ce qu'il serait possible d'avoir avec les référentiels à disposition dans le support projets) et entre valeur courante et valeur requise (ce qu'il faut pour le projet).

Key area	RM	PM	CM	Gap CM-PM	Gap CM-RM
Law	5	2	2	0	-3
Risk Management	4	1	1	0	-3
Technical : Security	5	2	2	0	-3
External Stakeholders management	4	2	2	0	-2
Internal Stakeholders management	4	3	2	-1	-2
Procurement management	4	3	2	-1	-2
Time management	5	4	3	-1	-2
Cost management	4	5	3	-2	-1
Financial management	3	2	2	0	-1
Technical : Safety	5	4	4	0	-1
Technical : Track installation	4	3	3	0	-1
Quality Management	4	5	4	-1	0
Scope management	5	5	5	0	0
Technical : Train design	4	5	5	0	1

**Figure 45 : Tableau d'analyse de maturité**

Certains processus sont des défaillances d'implantation de référentiels existants, alors que d'autres relèvent plus de la nouveauté de ce type de projet et donc de ce type de processus. En effet, l'entreprise construisait historiquement des trains et pas les bâtiments qui allaient avec, donc les paramètres techniques de conception sont naturellement plus matures que ceux de sécurité sur les chantiers. Même la notion de gestion du temps n'est pas exactement la même lorsqu'on développe un produit qu'on veut commercialiser et lorsqu'on délivre une infrastructure génie civil avec un contrat truffé de clauses et de pénalités.

La deuxième partie du diagnostic concerne donc l'étude des ECP associés à ce projet, que ce soit par analyse topologique ou par analyse de propagation. Comme déjà indiqué dans les sections précédentes, certains risques apparaissent comme des risques d'accumulation, ou de transition ou sources. Il y a donc plusieurs risques qui sont sous-estimés par l'analyse classique en raison de la non-prise en compte de leur positionnement dans le réseau complexe. De plus, certains ECP ont été mis en avant, comme des chaînes amplificatrices hétérogènes, partant d'un risque technique ( $R_{18}$ , retard sur le génie civil) et se terminant par un évènement contractuel critique ( $R_{43}$ , la perte de profit) avec entre les deux des étapes intermédiaires humaines, financières et techniques hors génie civil qui rendent la chaîne globale difficile à anticiper par les moyens classiques.

En combinant les deux analyses précédentes, on obtient un diagnostic de vulnérabilité orienté sur les faiblesses internes du projet face aux évènements complexes potentiels qu'il pourrait subir.

- La gestion du Génie Civil, avec de nouvelles interfaces tant externes qu'internes, et un contrat fortement cadré par des pénalités. C'est un monde nouveau pour l'entreprise, et elle avait embauché des personnels expérimentés et qualifiés dans des entreprises de génie civil. Toutefois, la maturité d'une organisation n'est pas uniquement dépendante de quelques individus et met du temps à progresser. Beaucoup de problèmes pouvaient donc se produire dans ce domaine, avec une difficulté à gérer les

jalons, les problèmes techniques et leurs conséquences sur les autres domaines techniques (train, voies, signalisation) et enfin la gestion spécifique des contrats et des ressources humaines.

- Les interfaces avec les parties prenantes locales, incluant la ville, les banques, la compagnie d'électricité, les sous-traitants génie civil, les fournisseurs de matières premières et l'état. L'agrément initial du contrat concerne tant la construction que l'opération et la maintenance de la concession une fois construite. Il comprend différents opérateurs internationaux mais essentiellement nationaux. Dans certains cas, un acteur local est donc la source d'un problème, qui se propage via l'entreprise maître d'œuvre jusqu'à être reproché par un autre acteur local (parfois le même, la ville qui n'attribue pas à temps les permis et autorisations et reproche le retard au jalon suivant). Cela entraîne quelques situations conflictuelles assez peu en rapport avec la réalité du problème initial, qu'il soit technique ou humain.
- La construction du dépôt de maintenance, qui sert de stockage aux trains. La vulnérabilité est ici due à la synchronisation nécessaire d'activités multiples partiellement corrélées, qui sont l'installation et l'énergisation des voies, le développement, la production et la livraison des trains et bien sûr la construction du bâtiment proprement dit. Un problème sur un de ces trois éléments cause non seulement une non satisfaction au jalon intermédiaire, mais peut également avoir des effets secondaires désagréables, comme le risque de vandalisme (si le dépôt est prêt mais reste vide parce qu'on attend les trains) ou d'avoir à stocker les trains ailleurs (si le dépôt n'est pas prêt quand ils sont livrés).

### Messages - clé

Ce diagnostic présente un intérêt pour les managers dans le monde du projet. En effet, ils pourront prendre des décisions qui auront plus de chances de correspondre au comportement réel du système plutôt que d'investir dans des actions inutiles tout en passant à côté de certaines actions utiles. Il faut bien voir que nos propositions modifient mais sans révolutionner. Si le fait de modifier de 10 ou 20% les analyses de risques permet de prendre des décisions plus fiables avec moins de gaspillages et de mauvaises surprises, nous aurons déjà le sentiment d'avoir contribué à quelque chose pour les gens à qui l'on s'adresse.

Dans un deuxième temps, la confrontation de ces nouveaux phénomènes ou ré-évaluations de phénomènes déjà identifiés à la structure de défense du projet est intéressante à plusieurs titres. Elle montre tout d'abord en quoi on peut cumuler des problèmes car on n'avait conscience ni de l'attaque potentielle ni de la faiblesse en défense. A l'inverse, mais c'est plus rare, on a parfois un danger complexe qui apparaît dans un secteur très mûr, et donc peu sensible. Il n'aura donc pas d'impact dans les faits, car le projet est comme vacciné.

En termes de développement, cette palette d'outils d'analyse est mobilisable à la carte, en fonction des données disponibles et des finalités de l'analyse. Ainsi, une analyse plutôt précise, avec un événement origine particulier ou un scénario redouté connu à l'avance ne mobilisera pas le même outil qu'une analyse un peu plus globale, générale, où on ne part pas avec un a priori d'étude mais une volonté de voir comment le système pourrait évoluer, et à partir de là d'en tirer peut-être des volontés d'analyses plus fines.

#### 4.4.3. L'évolution : des indicateurs encore plus adaptés aux différentes natures de risques, d'objets et donc de vulnérabilités

**Travaux en cours.** La thèse de Sanja Jovicic, dirigée par Jean-Claude Bocquet et co-encadrée avec Ludovic-Alexandre Vidal, Marija Jankovic et Dejan Petrovic de l'université de Belgrade, identifie les facteurs principaux de vulnérabilité des projets par une étude Delphi approfondie.

**Travaux futurs.** Parmi les extensions futures envisagées, on trouve l'adaptation de nos indicateurs aux différents moments où on fait l'étude, ainsi qu'aux différents types de couplage (objet, événement), en fonction du type d'objet, du type d'événement, et du type d'impact que l'événement pourrait avoir sur l'objet.

## 5. DECIDER EN MILIEU COMPLEXE ET (DONC) RISQUE AFIN DE MITIGER LA VULNERABILITE DU PROJET

Ce chapitre présente plusieurs travaux portant sur des actions innovantes de réduction de risque et/ou de vulnérabilité. Cela peut se faire en réduisant les dangers introduits par la complexité du système ou en augmentant la capacité à gérer cette complexité (en travaillant sur les faiblesses internes). Certaines de ces décisions s'adressent à un niveau local (système projet) et d'autres sont plus globales (système de gouvernance multi-projets). Les solutions proposées tiennent en quatre temps (Figure 46).

Premièrement, un modèle innovant est proposé pour la sélection de projets en interaction (section 5.1).

Deuxièmement, un modèle d'aide multicritères à la sélection de méthode(s) de gestion des risques projet est introduit (section 5.2).

Troisièmement, des méthodes sont proposées pour identifier et analyser des actions agissant sur les Evènements Complexes Potentiels et les faiblesses internes du projet, afin de réduire la vulnérabilité (section 5.3).

Quatrièmement, un modèle de clustering est proposé, permettant de regrouper directement ou indirectement des acteurs ayant des responsabilités dans le projet (section 5.4).

La Figure 47 illustre dans chaque cas de quel type de décision il s'agit, quelles sont les données manipulées et la façon de conduire le processus qui mène à la décision.

Nos propositions se différencient des méthodes et outils classiques par la prise en compte au moment de la décision des phénomènes complexes qui pourraient modifier son impact réel. Les données manipulées sont donc relatives à la complexité du projet afin d'identifier, d'évaluer et de choisir la meilleure stratégie possible. Là encore, le cadre du projet fait que les données en entrée de la décision ont des caractéristiques particulières de disponibilité, de précision et d'incertitude, qui perturbent la bonne application de modèles classiques.

L'apport scientifique des méthodes présentées dans ce chapitre est donc de permettre de prendre des décisions plus fiables quant à l'évolution souhaitée du projet en tenant compte de sa complexité.

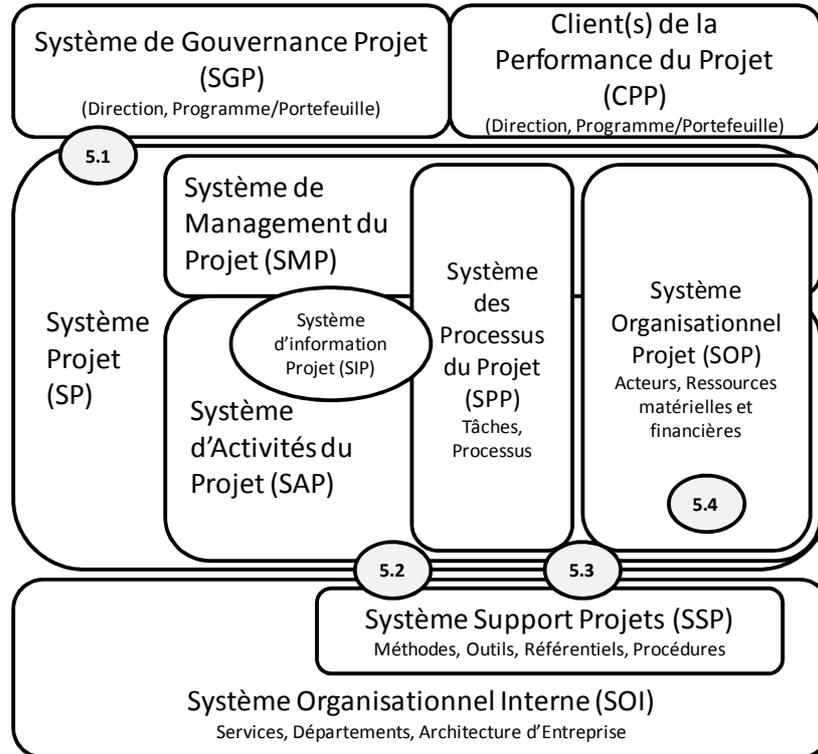


Figure 46 : Positionnement de nos aides à la décision par rapport aux systèmes impactés

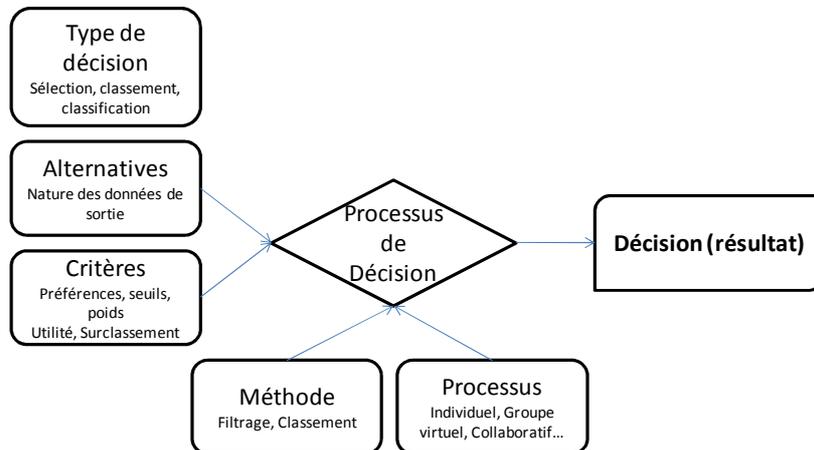


Figure 47 : Modèle type de description entrées/sorties de chaque décision abordée

## 5.1. SELECTIONNER UN PORTEFEUILLE DE PROJETS EN TENANT COMPTE DE LEURS INTERACTIONS

Cette section traite de l'intégration de la complexité, et notamment du paramètre « interactions », dans une décision particulière qui est la sélection de projets. Ce champ n'est pas nouveau, mais nous avons apporté une innovation dans les données manipulées et leur intégration dans la formulation du problème d'optimisation sous contraintes. Ce premier travail a fait l'objet d'une collaboration avec Baris Canbaz dans le cadre de son Master Recherche et d'une soumission à *European Journal of Operational Research* (section 9.13 page 157).

### 5.1.1. Le problème : les projets ne sont pas suffisamment considérés comme des éléments reliés entre eux par de multiples interactions

Les techniques d'aide à la sélection de portefeuille de projets assistent les organisations dans l'évaluation de l'adéquation d'un ensemble de projets à la croissance, à la rentabilité et plus globalement à la stratégie de l'entreprise (Mikkola 2001). D'après Cooper et al. (1997a ; 1997b) et Eilat et al. (2006), il y a trois grands objectifs associés à la sélection de portefeuille de projet :

- L'efficacité stratégique : les investissements doivent contribuer à des objectifs stratégiques de l'entreprise. Ainsi, même un projet apparemment profitable peut être rejeté s'il n'est pas en lien avec les compétences cœur de l'entreprise.
- L'efficacité : le but est de maximiser une valeur, souvent définie comme la rentabilité ou une autre mesure financière, reliant les résultats aux ressources utilisées pour obtenir ces résultats.
- L'équilibre : le portefeuille peut être équilibré selon plusieurs dimensions, comme la gestion temporelle du long terme et du court terme, du risque faible et du risque élevé ou encore selon les types de projets, les zones de marché visées ou les ressources mobilisées.

Malgré l'intérêt croissant pour ce domaine des entreprises, puis des chercheurs, certaines faiblesses ont été mises en avant depuis Baker et Freeland (1975) jusqu'à plus récemment Mikkola (2001) et Eilat et co-auteurs (2006). L'une des principales limites des modèles actuels de sélection des projets est le traitement inadéquat des interactions entre ces projets en lien avec les valeurs produites et les ressources utilisées. Parmi les modèles existants, nous sommes partis de trois approches permettant selon nous de poser des bases intéressantes pour un futur modèle, tout en donnant des idées de combiner certains avantages d'une approche tout en évitant son défaut grâce à l'intégration des deux autres : ce sont les modèles de Schmidt (1993), Dickinson et al. (2001) et Liesiö et al. (2008).

### 5.1.2. La proposition : tenir compte des interactions sur les ressources, les résultats et les probabilités de succès dans un modèle d'optimisation unique

Nous cherchons ici à atteindre les trois grands objectifs de la sélection de portefeuille de projets (efficacité, équilibre et efficacité stratégique) tout en considérant les interactions entre projets. Nous les formulons comme un problème d'optimisation linéaire en nombre entiers, visant à maximiser l'efficacité tout en respectant des contraintes d'équilibre et d'efficacité.

#### Fonction objectif

Le principe de base est d'avoir un certain nombre de projets et des les intégrer ou pas dans le portefeuille. Les alternatives sont donc les portefeuilles, au sein desquels la présence d'un projet se déclare par une variable binaire  $z$ . Si on considère les sorties  $y_r$ , et les entrées  $x_i$ , le revenu final est donné par la formule ci-dessous :

$$\text{Max (Revenue)} = \sum_{r=1}^R y_r - \sum_{i=1}^I x_i$$

Toutefois, les entrées et les sorties ne se calculent pas par simple agrégation en fonction des projets présents dans le portefeuille. Sans entrer dans le détail, les variables de la famille ( $p$ ) représentent les probabilités combinées de succès si deux projets sont présents ensemble, les variables des familles ( $u$ ) et ( $v$ ) représentent respectivement les effets de levier positif ou négatif dans l'utilisation des ressources ou la délivrance de résultats (dans cet exemple, on retrouve bien les notions de synergie et de cannibalisation pour les sorties). Avec l'insertion des trois interactions (entre entrées, entre sorties et entre probabilités de succès si deux projets se font ensemble), la formule devient :

$$y_r = \sum_{j=1}^{n_p} z_j \left( \sum_{l=1}^{n_p} z_l p_{jl} \right) \left[ v_{jj}^r + \sum_{i=1}^{j-1} v_{ji}^r z_i \left( \sum_{l=1}^{n_p} p_{il} z_l \right) \right] \quad \text{for } \forall r$$

$$x_i = \sum_{j=1}^{n_p} z_j u_{jj}^i + \sum_{j=1}^{n_p} \sum_{h=j+1}^{n_p} z_j z_h u_{hj}^i \quad \text{for } \forall i$$

### **Définition des contraintes**

Les contraintes suivantes doivent être respectées pour fournir un portefeuille équilibré et stratégiquement aligné. Elles sont présentées brièvement ci-dessous, les détails sont dans l'article 9.13 page 157.

#### *Contraintes d'équilibre du portefeuille*

Nous pouvons définir des contraintes permettant de contrôler la diversification des projets avec différents compromis d'inclusion ou d'exclusion et portant sur différentes dimensions. Par exemple, si le projet  $P_1$  est inclus, alors on souhaite que  $P_3$  le soit également.

$$IF z_1 = 1 \quad THEN \quad z_1 + z_3 = 2$$

A l'inverse,  $P_5$  et  $P_2$  et  $P_3$  sont mutuellement exclusifs, ce qui s'écrit comme suit :

$$IF z_5 = 1 \quad OR \quad z_2 = 1 \quad OR \quad z_3 = 1 \quad THEN \quad z_5 + z_2 + z_3 = 1$$

#### *Contraintes d'efficacité stratégique du portefeuille*

Ces contraintes vont garantir une adéquation stratégique et économique du portefeuille ainsi que sa faisabilité.

#### Contraintes sur la taille du portefeuille

Nous sommes allés plus loin que la simple limite max d'un portefeuille. Nous avons également considéré la variation de cette limite en fonction de la présence de tel ou tel projet. Ainsi, un décideur peut vouloir se concentrer sur un projet vraiment stratégique en réduisant le nombre d'autres projets menés en parallèle. Entre parenthèses, si plus de décideurs faisaient cela, nous aurions sans doute plus de facilité à mener les projets et à obtenir des succès locaux en ayant les moyens de se concentrer sur ce qui est réellement important...

Cela se formule comme suit, d'abord avec les bornes classiques :

$$\sum_{j=1}^{n_p} z_j \leq Max \quad \text{et} \quad \sum_{j=1}^{n_p} z_j \geq Min$$

Puis avec la formulation raffinée (valable aussi avec une borne inférieure) :

$$IF z_j = 1 \quad THEN \quad \sum_{j=1}^{n_p} z_j \leq Max_j \quad \text{for } \forall j$$

### Projets obligatoires, projets exclus

Simple à formuler, simple a priori à exprimer, cette contrainte influence le nombre de combinaisons possibles. Par exemple, le projet  $P_1$  est vital pour l'entreprise, car il utilise une technologie naissante qui doit être testée pour nos autres développements futurs, donc :

$$z_1 = 1$$

### Contraintes sur les objectifs stratégiques

Pour refléter si les projets contenus dans le portefeuille sont vraiment alignés avec les objectifs stratégiques de l'entreprise, nous utilisons une matrice  $S$  comprenant pour chaque  $P_i$  un score de contribution  $S_{ij}$  à chaque objectif  $O_j$ . La contrainte devient alors d'excéder un seuil minimal de contribution pour chaque objectif :

$$\sum_{j=1}^{n_p} z_j s_{jo} \geq \text{MinScore}_o \quad \text{for } \forall o$$

### Contraintes de seuil sur les entrées et/ou les sorties

En général, les entrées (notamment les ressources humaines et matérielles) sont limitées, et les sorties ont des objectifs minimaux. Les deux peuvent être modélisés sous forme de seuils, qui permettent de ne pas engager trop de ressources simultanément (et surtout pas plus que celles dont on dispose) et de garantir que sur chaque dimension de résultat, on obtienne un minimum :

$$x_i \leq R_i$$

$$y_r \geq Q_r$$

### **Exemple numérique**

Une comparaison a été faite sur un exemple numérique fictif comme on peut en trouver dans certains articles. Ils servent justement à tester les performances comparées de différents modèles en se basant sur des données communes. Nous avons pu vérifier l'intérêt de l'algorithme prenant en compte plus de contraintes liées aux interactions entre projets. Malgré un travail supplémentaire pour obtenir les données relatives aux interactions, la solution proposée par notre algorithme est meilleure en termes de performance. Surtout, elle donne des portefeuilles plus proches de ce qui est réellement susceptible de se passer, ce qui n'est pas le cas avec les algorithmes sans toutes les interactions modélisées. Cela signifie que la solution optimale sans interactions peut être éliminée avec notre algorithme, ou peut obtenir un score dégradé car les projets se cannibalisent.

### 5.1.3. Les évolutions envisagées : un axe stratégique de développement d'un point de vue applicatif

Nous considérons ce thème de recherche comme un axe majeur de développement, car les enjeux applicatifs sont immenses, si on pense à des programmes multi-projets dans le domaine bien sûr des entreprises industrielles, mais également des politiques publiques (locales, pour rester avec des projets concrets à taille humaine).

**Travaux futurs.** D'un point de vue scientifique, le modèle peut être raffiné en travaillant sur la fiabilité des données et sur l'algorithme d'exploration des solutions possibles pour augmenter la taille des problèmes résolubles. De plus, nous envisageons de traiter du séquençement des projets, voire de leur classification en sous-programmes, en plus du travail sur leur sélection. Cela rejoint la problématique de clustering développée en section 5.4.

## 5.2. SELECTIONNER UNE METHODE DE GESTION DES RISQUES PROJET EN TENANT COMPTE DE LA COMPLEXITE

Cette section introduit un travail sur le choix d'une méthode ou d'une combinaison de méthodes de gestion des risques projet. Ce travail est parti du constat fait par des entreprises sur les problèmes qu'elles rencontrent et les besoins qu'elles expriment par rapport à la prise en compte des interactions entre risques. Or, ce dernier point n'est pas pris en compte dans de nombreuses méthodes. Cela nous a amené avec Thierry Gidel de l'UTC à travailler sur la prise en compte de ce point dans les critères de choix d'une méthodologie de gestion des risques projet. Un test a été réalisé chez **Alstom Transport**, sans implantation concrète. Deux articles ont été acceptés, respectivement dans *International Journal of Project Organisation and Management* (section 9.14 page 158) et dans *International Journal of Multi Criteria Decision Making* (section 9.15 page 159).

### 5.2.1. Le problème : la ou les méthodes en place n'ont en général pas été choisie(s) avec un processus structuré

Les projets ont de plus en plus d'enjeux et font face à des risques de plus en plus nombreux, en raison du caractère incertain et sous pression inhérent à ce mode de fonctionnement. La gestion des risques devrait donc être un élément important du management d'un projet. Or, il n'en est rien, c'est souvent peu ou pas structuré, ou en tout cas fait parce qu'il faut le faire, et non pas parce qu'on y voit un vrai intérêt à le faire (Coppendale 1995; Lyons and Skitmore 2004). Cela explique en partie pourquoi les méthodes de gestion des risques projet ne sont pas souvent issues d'un processus de décision structuré, mais plus généralement apportées par une décision d'entreprise ou par l'expérience d'un expert ou d'un manager. L'expertise requise pour manipuler certaines méthodes peut être très importante, avec des concepts comme les chaînes de Markov, la simulation de Monte-Carlo, ou encore les portes logiques. Le choix d'une méthode parmi un ensemble plus grand nécessite donc une diversité et une profondeur de compétences difficilement accessible. Cela devient encore plus crucial quand le choix peut être fait de façon décentralisée selon les services et les projets, avec parfois des plate-formes logicielles sans support de formation, ou d'un bureau des projets ou d'un gestionnaire de risques transverse. C'est pour faciliter ce choix et faire en sorte qu'il reflète les capacités et besoins réels de l'entreprise et de ses projets que nous proposons un processus structuré d'aide multicritères à la décision.

### 5.2.2. La proposition : modéliser les alternatives et les critères de décision à travers un processus d'aide multicritères à la décision

#### **Formalisation de la démarche**

Le processus se compose de trois étapes:

- La première étape filtre les méthodes qui ne correspondent pas à la maturité de l'organisation. L'organisation ne serait pas capable d'implanter correctement et efficacement ces méthodes, il ne sert donc à rien de les laisser dans les alternatives disponibles. Si l'organisation a un score inférieur au seuil minimal de la méthode, alors la méthode est retirée de la liste.
- La deuxième étape filtre également les méthodes, mais cette fois parce qu'elles ne correspondent pas aux préférences des décideurs. Si la méthode a un score inférieur au seuil minimum imposé par les décideurs, alors elle est retirée de la liste.
- La troisième étape classe les méthodes restantes en utilisant les préférences des décideurs sous forme de poids des critères. C'est donc une agrégation multi-critères d'évaluations individuelles (chaque méthode selon chaque critère), qui est faite à partir d'une technique de distance (distance par rapport à une solution idéale théorique et une solution minimale faisable théorique).

## Modélisation du problème de décision

Cela commence bien sûr par la collecte des données concernant les critères de sélection et les alternatives qui sont ici décomposées en Méthodes d'Identification de Risques et Méthodes d'Analyse de Risques (respectivement RIM et RAM en anglais). Un extrait de la liste des RIM est donné dans le Tableau 7 ci-dessous.

**Tableau 7: Liste des RIM (extrait)**

#	Complete Name	Description
RIM1	Preliminary Risk (or Hazard) Analysis (PRA or PHA)	Identifies the potential dangerous elements, dangerous situations and hazards. Then, identifies and evaluates situations which could become dangers (with probability) and their consequences (with gravity).
RIM2	Strengths, Weaknesses, Opportunities & Threats (SWOT)	Strategic planning tool based on information gathering and structuring, mainly used in early phases.
RIM3	Scenario analysis	Process of analyzing possible future events by considering alternative possible outcomes (scenarios).
RIM4	Who What When Where How Why	Information structuring tool used to gather information and risks on a project
RIM5	Probabilistic Risk Analysis (PRA)	Systematic and comprehensive method combining ESD, MLD, FTA, etc.
RIM6	Failure Mode, Effects (and Criticality) Analysis (FMEA or FMECA)	Consists of a qualitative analysis of dysfunctions modes followed by a quantitative analysis of their effects, with probability and gravity.

Le Tableau 8 ci-dessous synthétise les critères relatifs à la maturité organisationnelle requise (étape 1) et aux préférences des décideurs (étapes 2 et 3).

**Tableau 8: Liste des critères**

#	Criterion	Family	Type of PRM method
C1	Product design maturity	Organizational maturity	RIM and RAM
C2	Project management maturity	Organizational maturity	RIM and RAM
C3	Risk management maturity	Organizational maturity	RIM and RAM
C4	Product innovation level	Organizational maturity	RIM and RAM
C5	Simplicity of use	Decision-makers' preferences	RIM and RAM
C6	Interaction considerations	Decision-makers' preferences	RIM and RAM
C7	Completeness	Decision-makers' preferences	RIM
C8	Number of characteristics	Decision-makers' preferences	RIM
C9	Types of data	Decision-makers' preferences	RAM
C10	Graphical display	Decision-makers' preferences	RAM
C11	Specificity	Decision-makers' preferences	RAM
C12	Notoriety	Decision-makers' preferences	RAM

Enfin, le Tableau 9 montre un extrait de l'évaluation des alternatives selon les critères pertinents à chaque type de méthode (indiqués dans le Tableau 8).

**Tableau 9 : Evaluation des RIM suivant les critères pertinents (extrait)**

PRM index	RIM index	Product design maturity (C1)	Project management maturity (C2)	Risk management maturity (C3)	Product innovation level (C4)	Simplicity of use (C5)	Interaction considerations (C6)	Completeness (C7)	Number of characteristics (C8)
PRM1	RIM1	1	1	1	1	1	2	3	2
PRM2	RIM2	1	1	1	1	2	1	2	1
PRM3	RIM3	1	1	1	1	2	2	2	2
PRM4	RIM4	3	3	3	3	3	1	1	1
PRM5	RIM5	3	3	3	3	2	2	3	3
PRM6	RIM6	3	3	3	3	2	2	3	3

En plus de ces données brutes, on demande à un ou plusieurs décideurs d'évaluer d'une part la maturité organisationnelle de l'entreprise ( $O_j$ ), d'autre part les préférences en termes de seuils minimaux ( $MT_j$ ) et de poids ( $FW_j$ ) pour les critères correspondants. Il est à noter que les poids sont exprimés avec des nombres flous pour traduire l'incertitude associée à l'expression d'une importance, qui utilise régulièrement des paramètres sémantiques (très, beaucoup, un peu, etc...).

$$O_j = \frac{1}{Nd} \sum_{k=1}^{Nd} O_j^k, \quad MT_j = \min_k MT_j^k, \quad FW_j = \frac{1}{Nd} (FW_j^1 \oplus FW_j^2 \oplus \dots \oplus FW_j^{Nd})$$

### Utilisation des données pour filtrer et classer les méthodes

A partir de là, on effectue les deux filtres selon les formules ci-dessous, d'abord les méthodes surdimensionnées par rapport à l'organisation, puis les méthodes sous-dimensionnées par rapport aux exigences des décideurs.

*for j ∈ {1..4}, for i ∈ {1..51}, if  $O_j < MT_{ij}$  then  $S(PRM_i) = 0$ , else  $S(PRM_i) = 1$*

*for j ∈ {5..12}, for i ∈ {1..51}, if  $S_{ij} < MT_j$  then  $S(PRM_i) = 0$ , else  $S(PRM_i) = 1$*

$$S_i = S(PRM_i) = \frac{\sum_j FW_j * S_{ij}}{\sum_j FW_j}$$

Enfin, le classement se fait à l'aide du calcul d'une distance par rapport à une méthode fictive idéale ( $PRM^{\max}$ ) et une méthode fictive juste nécessaire ( $PRM^{\min}$ , faisable mais avec les scores minimaux à chaque fois), puis d'un coefficient de proximité qui pondère ces deux distances.

$$d_i^{\max} = d(PRM_i, PRM^{\max}) \text{ and } d_i^{\min} = d(PRM_i, PRM^{\min}) \Rightarrow CC_i = \frac{1}{2} (d_i^{\max} + (1 - d_i^{\min}))$$

### Application pratique

Une application numérique a été réalisée au sein d'Asltom Transport, mais pour servir de test à blanc, pas vraiment pour embrayer sur une utilisation concrète des résultats. Le test a été réalisé sur cinq projets différents, d'un type nouveau pour l'entreprise, pour lesquels la question de la gestion des risques était tout à fait pertinente. En raison de cette nouveauté, la maturité organisationnelle était naturellement faible dans plusieurs domaines, ce qui a amené à éliminer 15 RIM (sur 32) et 7 RAM (sur 19). Au second filtre, 11 RIM (sur 17) et 9 RAM (sur 12) ont été éliminées en raison des exigences des décideurs. La question s'est posée de savoir si la barre n'avait pas été mise trop haut, mais le test a été poursuivi jusqu'au bout avant de se prononcer sur une éventuelle relaxation des contraintes. Après calcul des scores et coefficients finaux, le choix final a porté sur une méthode de type diagramme d'Ishikawa (arbre cause-effet) mélangeant des éléments issus d'approches analytiques détaillées et d'autres d'avantage basés sur de la créativité. Cette meilleure prise en compte de la complexité des interactions entre risques permet d'aller au-delà des simples listes, et notamment check-lists basées sur des projets passés, mais qui ne pouvaient ni prendre en compte les liens entre risques, ni fournir des éléments pertinents dans la partie nouvelle du projet. Les décideurs ont été confiants dans les résultats fournis, et en particulier l'élimination de la méthode actuellement en place a été bien acceptée car argumentée à partir de leurs propres expressions.

#### 5.2.3. Evolution envisagée : travailler sur l'implantation et l'appropriation plus que sur la finesse du modèle

**Travaux futurs.** Nous verrons avec Thierry Gidel selon les opportunités qui se présentent au sein d'entreprises, mais l'idée est plutôt de convaincre de l'intérêt de cette question et du potentiel de notre démarche avant de chercher à l'améliorer. Toutefois, des passerelles sont possibles avec d'autres travaux d'aide multicritères à la décision que nous menons par ailleurs.

### 5.3. AGIR SUR LES RESEAUX DU PROJET POUR LE RENDRE MOINS VULNERABLE A LA COMPLEXITE

« Simplifier, c'est éliminer le superflu pour permettre au nécessaire de s'exprimer » (Hans Hofmann)

Cette section présente plusieurs travaux qui portent sur le traitement de la vulnérabilité du projet face à la complexité. Il s'agit de travailler sur une combinaison d'actions, qui peuvent soit agir sur les faiblesses internes du système, soit sur les événements complexes potentiels qu'ils pourraient subir, soit sur les deux en même temps. Trois propositions d'action sont présentées ici, sachant que le but final est d'arriver à des combinaisons pertinentes d'actions. Comme les actions sont interreliées, nous retombons sur une problématique similaire à celle de la section 5.1, mais avec des éléments plus détaillés.

Le premier paragraphe présente donc l'identification de processus pour lesquels une augmentation de maturité est nécessaire ou vivement souhaitée en raison de leur faiblesse face aux phénomènes qui pourraient se produire. Ce travail a été mené dans le cadre de la thèse de Nydia Gonzalez. Le travail a été appliqué essentiellement chez **PSA Peugeot-Citroën**, et un peu sur le cas **Tramway**.

Le second paragraphe s'intéresse aux décisions qu'on peut prendre pour agir sur la complexité, en la réduisant là où c'est nécessaire, possible et rentable. C'est essentiellement la thèse de Chao Fang qui s'occupe de ce point. Des publications ont été acceptées en 2010 dans les conférences *PMI*, *DSM* et *LambdaMu*, ainsi que dans *Decision Support Systems* (section 9.7, page 151). Le travail a surtout été appliqué au projet **Spectacle** et au projet **Tramway**.

Enfin, le troisième et dernier paragraphe développe les actions sur la capacité des acteurs à gérer la complexité. Ce travail a été mené dans le cadre de ma thèse, puis d'un projet collaboratif avec Julie Le Cardinal, puis enfin d'un autre projet individuel récent. Le travail a été appliqué chez **PSA Peugeot-Citroën** et sur le cas **Tramway** d'**Alstom Transport**. Une publication a été acceptée par l'*International Journal of Product Development* (section 9.6, page 150).

Une autre publication a été acceptée à l'*International Journal of Project Organisation and Management*, elle porte sur l'ensemble des trois stratégies évoquées ici (section 9.16, page 160).

#### 5.3.1. Le problème : savoir où et comment agir pour réduire la mauvaise complexité sans toucher à la bonne

La première difficulté dans un réseau complexe est de comprendre son fonctionnement global à partir d'évolutions, de décisions ou de changements qui peuvent être très locales. De la même façon, on retrouve cette difficulté dans la localisation des éléments locaux les plus pertinents à modifier pour obtenir un fonctionnement global désiré ou pour éviter un autre événement local non désiré. En effet, nous avons besoin d'un minimum de complexité pour faire fonctionner les systèmes, et notamment permettre l'émergence de propriétés que ne possède aucun élément.

La première question à se poser est donc de savoir à quel endroit et à quel moment nous avons besoin de cette propriété d'émergence, car ce n'est pas partout ni tout le temps. À l'inverse, il existe un certain nombre de phénomènes complexes superflus, qui sont en général involontairement mis en place pour diverses raisons lors de la structuration du projet.

La deuxième question à se poser est donc de savoir à quel endroit et à quel moment il vaut mieux chercher à réduire la complexité. Toute la difficulté est d'arriver à trouver les éléments les plus pertinents, là où les actions sont quand même faisables et ne nécessitent pas un trop grand effort pour être implantées. Il faut juste que cette réduction ne se fasse pas aux dépens de la bonne complexité vue précédemment. L'idée directrice derrière les trois éléments de propositions présentés dans les paragraphes suivants est plutôt de répondre à la deuxième question. La section 5.4 s'adressera elle simultanément aux deux questions.

### 5.3.2. Notre première proposition : agir sur les faiblesses internes en augmentant la maturité de certains processus

Il s'agit de travailler sur la formalisation de référentiels et leur implantation sur le terrain pour certains processus jugés importants et insuffisamment matures. Le but est de renforcer les défenses du projet en le rendant moins vulnérable à certains phénomènes, qu'ils soient intrinsèquement graves ou pas, un peu comme une vaccination. Pour cela, on utilise la section 4.1 qui identifie les processus faibles, en regard de laquelle on met les analyses des sections suivantes pour déterminer s'il y a ou pas des dangers susceptibles d'attaquer ces processus faibles. En effet, il est inutile de se faire vacciner contre la fièvre jaune si on reste en France.

Dans l'exemple du projet Tramway, certains aspects jugés non matures ont été adressés de par leur urgence (processus liés à la sécurité sur le chantier) ou leur importance (les processus juridiques liés aux spécificités locales de chaque pays). Toutefois, ces deux actions locales ont été accompagnées d'une action plus globale au niveau de l'entreprise pour une mise en place sur les nombreux projets futurs ou déjà en cours. Pour les processus de gestion du temps et de gestion du risque, des actions concrètes locales ont permis d'améliorer la prise en compte des interactions entre événements apparemment déconnectés afin d'en déduire des conséquences sur la bonne livraison à temps et donc sur les conséquences contractuelles de ces retards.

### 5.3.3. Notre deuxième proposition : agir sur les attaques externes en réduisant la complexité du réseau

Il s'agit de bâtir des stratégies de réponse au risque qui combinent des réductions en probabilité et en impact, à la fois sur les risques mais aussi sur des transitions entre risques, ce qui est déjà un peu innovant. Le but est de permettre de mitiger plus efficacement le projet, notamment en s'attaquant aux événements complexes potentiels, que ce soient des événements difficiles à appréhender (boucles, chaînes longues, hétérogènes et amplificatrices) ou que ce soient des événements sous-estimés par l'analyse classique. Cela se fait à partir des analyses topologiques et de propagation du chapitre précédent. On identifie certains points clés du réseau, avec le point de vue de la complexité. Certains de ces points-clés n'apparaissent pas à l'analyse classique. On identifie alors des actions portant sur ces éléments nouveaux, et on évalue une sorte de rentabilité par rapport à l'effet qu'ils sont susceptibles d'avoir et à l'effort que représente leur mise en œuvre. Là encore, notre apport est d'anticiper l'effet d'une action préventive en tenant compte de son impact global dont le réseau complexe, ce qui présente bien souvent une distorsion par rapport à l'anticipation qu'on avait par simple expertise locale.

Pour résumer, il s'agit essentiellement de casser des liens de transition (les arcs du graphe) et pas seulement de s'attaquer aux risques (les nœuds du graphe). Cela peut être fait à la conception, c'est un travail qui avait été abordé dans le cadre de ma thèse pour minimiser les liens transverses lors de la constitution du projet. Cela peut être fait a posteriori, une fois que le réseau a été constitué, afin de tenter de réduire sa complexité en tant que graphe.

Dans l'exemple du projet Tramway, les analyses issues du chapitre 4 montrent certaines variations qui correspondent à une sous-estimation de certains risques en raison de la non prise en compte de leur positionnement dans le réseau (Tableau 10 et Tableau 11). Les risques 2 et 10 notamment changent significativement de fréquence d'occurrence et de place dans le classement (Tableau 11).

Nous proposons alors trois actions classiques de réduction de risques critiques, qui sont les risques  $R_3$ ,  $R_{29}$  et  $R_{40}$  (Plan 2, actions 4, 5 et 6). Nous les comparons à trois autres actions qui agissent cette fois en fonction des valeurs raffinées des risques et donc de leur positionnement par rapport à la complexité. Nous agissons donc sur d'autres risques ( $R_{18}$ ,  $R_{37}$ ,  $R_{10}$ ) et avec des stratégies différentes, puisque nous agissons essentiellement sur les transitions entre risques au lieu d'agir sur les probabilités d'occurrence des risques (Plan 1, actions 1, 2 et 3). Les premiers résultats montrent donc que sous certaines conditions, il peut être plus efficace d'agir sur des transitions entre risques plutôt que d'agir directement sur des risques (Tableau 11). On note principalement les réductions spectaculaires des risques  $R_2$  et  $R_{18}$ , qui sont parmi les plus critiques, et surtout sans agir directement dessus, ce qui en général coûte moins cher.

**Tableau 10 : Valeurs initiales relatives aux risques (extrait)**

Risk Id	Risk name	Initial values (before simulation)				Initial classifications	
		Spont. Prob.	Gravity	Initial Criticality	Initial Ranking	Risk owner	Risk Nature
		SP	G	IC	IR	RO	N
1	Safety studies	0,001	1	0,00	53	1	Technical
2	Liquidated damages on intermediate milestone and delay of Progress Payment Threshold	0,308	8	2,47	4	2	Contractual
3	Vehicle storage in another city	0,381	5	1,90	5	1	Contractual
4	Vandalism on site	0,001	3	0,00	42	3	Contractual
5	Traction/braking function : behaviour in degraded mode on slope	0,086	2	0,17	27	1	Technical
6	New local laws and regulations	0,001	3	0,00	40	1	Contractual
7	Traffic signalling, priority at intersections	0,263	5	1,31	10	4	Contractual
8	Unclear Interface with the Client, for Infrastructure equipment	0,001	2	0,00	48	5	Contractual
9	Delays due to client late decisions	0,381	1	0,38	25	5	Contractual
10	Travel Time performance	0,001	3	0,00	43	4	Technical
11	Limited Force majeure definition	0,001	4	0,00	39	2	Contractual
12	Operating certificate delay	0,381	4	1,52	6	2	Contractual
13	Reliability & availability targets	0,086	3	0,26	24	4	Technical
14	Permits & authorisations	0,381	2	0,76	15	2	Contractual
15	Insurance deductibles	0,001	3	0,00	44	6	Financial
16	Archeological findings	0,381	3	1,14	11	2	Contractual
17	Discrepancies Client / Operator / Concessionaire	0,086	5	0,43	20	7	Contractual
18	Civil Work delay & continuity	0,381	4	1,52	8	8	Contractual
19	Responsibility of client on Civil Work delay	0,381	2	0,76	16	2	Contractual
20	On board CCTV scope	0,210	1	0,21	37	9	Technical

**Tableau 11 : Analyse raffinée des risques et effet de plans d’actions classiques ou non classiques (extrait)**

Risk Id	Risk name	Num. SP	Sim Freq	Ranking gap	Plan 1:	Plan 2 :
					A1-A2-A3 (frequency reduction)	A4-A5-A6 (frequency reduction)
1	Safety studies	0,001	0,001	-1	0,000	0,000
2	Liquidated damages on intermediate milestone and delay of Progress Payment Threshold	0,308		3	0,025	0,534
3	Vehicle storage in another city	0,381	0,381	-2	0,295	0,000
4	Vandalism on site	0,001	0,001	-2	0,000	0,000
5	Traction/braking function : behaviour in degraded mode on slope	0,086		-8	0,000	0,000
6	New local laws and regulations	0,001	0,001	-5	0,000	0,000
7	Traffic signalling, priority at intersections	0,263	0,263	-1	0,000	0,000
8	Unclear Interface with the Client, for Infrastructure equipment	0,001	0,001	-1	0,000	0,000
9	Delays due to client late decisions	0,381	0,452	1	0,000	0,000
10	Travel Time performance	0,001	0,179	21	0,000	0,179
11	Limited Force majeure definition	0,001	0,001	-4	0,000	0,000
12	Operating certificate delay	0,381	0,607	0	0,000	0,069
13	Reliability & availability targets	0,086	0,148	-2	0,000	0,062
14	Permits & authorisations	0,381	0,420	-3	0,000	0,000
15	Insurance deductibles	0,001	0,001	-2	0,000	0,000
16	Archeological findings	0,381	0,381	-1	0,000	0,000
17	Discrepancies Client / Operator / Concessionaire	0,086	0,172	4	0,000	0,000
18	Civil Work delay & continuity	0,381	0,655	3	0,000	0,655
19	Responsibility of client on Civil Work delay	0,381	0,381	-3	0,000	0,000
20	On board CCTV scope	0,210	0,210	7	0,000	0,000

### Depuis un plan d'actions manuel vers une optimisation sous contraintes

Nous avons commencé récemment à travailler sur des portefeuilles d'actions, combinant les actions issues de l'analyse classique et des actions issues de nos analyses raffinées. L'idée est d'aller vers une optimisation de l'impact tenant compte de la complexité des actions mises en place, tout en garantissant le respect d'un certain nombre de contraintes sur les ressources mobilisées ou le nombre d'actions en parallèle ou les risques secondaires pris en mettant en place ces actions.

#### 5.3.4. Notre troisième proposition : combiner les deux stratégies en augmentant la capacité des acteurs à composer avec la complexité

Il s'agit d'ajouter la complexité en plus de toutes les autres caractéristiques qui déterminent ce qui est une bonne affectation d'un couple (acteur-responsabilité). Cela peut se faire en amont ou plus souvent par réaffectation en cours de projet. Le but est d'éviter les conséquences négatives d'une mauvaise capacité de l'acteur à gérer la complexité, et notamment le nombre d'interfaces directes et indirectes qu'elle engendre. Il s'agit également de simplifier, non pas le réseau complexe lui-même, mais la façon dont il va être géré, en particulier les circuits de communication et de prise de décision. Pour cela, on fait le point sur certains nœuds et transitions critiques du réseau en regardant les personnes qui en sont responsables. Si elles ne sont pas aptes à jouer ce rôle de transmission et d'interfaçage multiple, il vaut mieux agir plutôt que d'en subir les effets négatifs. De plus, on s'intéresse à certaines zones particulières du réseau. Cela peut être un élément « simple » comme une chaîne longue ou une boucle, ou une zone dense, c'est-à-dire dans laquelle beaucoup de nœuds sont reliés par beaucoup d'interactions. On peut alors travailler sur ces zones en diminuant le nombre d'acteurs différents qui y sont affectés, quand cela est possible d'un point de vue compétences et humain (pour la personne qui abandonne une responsabilité, pour celle qui prend sa place, pour le relationnel, pour les aspects politiques, etc...).

Dans l'exemple du projet tramway, nous avons remarqué que certains acteurs étaient affectés à beaucoup de risques, mais que ces risques étaient faiblement reliés entre eux. Cela signifie que ces acteurs sont engagés dans beaucoup de relations concernant des chemins ou des boucles différentes, ce qui va donc les amener à avoir beaucoup d'interfaces à gérer et pour différentes raisons. Nous avons donc proposé à certains responsables de risques de changer, dans la mesure de leur capacité et de leur volonté, certaines de leurs affectations. De plus, deux acteurs ont été identifiés comme étant dans une situation critique d'un point de vue complexité et propagation. D'autres enseignements ont été tirés, comme le fait qu'un acteur pouvait impacter grandement le projet, bien au-delà de ce que représentait son affectation initiale. Cela posait alors la question de l'expertise et de l'expérience nécessaires pour l'affectation à ce risque. Les changements préconisés n'ont bien sûr pas été faciles, mais ont été jugés comme globalement positifs et surtout comme nécessaires.

#### 5.3.5. Evolution envisagée : vers l'optimisation d'un portefeuille d'actions

Comme il s'agit d'identifier et de sélectionner des activités en fonction de leur coût et de leur impact sur les risques, cette étape ressemble à ce qui est fait en planification et en pilotage (re-planification) suivant des principes de décision multi-critères. Pour chaque risque ou problème, on peut imaginer une ou plusieurs actions en indiquant leur impact et d'autres paramètres (coût, risque notamment). Une matrice qui croise les deux permet d'identifier d'éventuelles économies d'échelle (1 action valable pour plusieurs risques/problèmes) ou de renforcer l'intérêt de telle ou telle action. Le traitement des risques résiduels est à considérer également, puisqu'on doit surveiller qu'ils n'évoluent pas, ou plutôt qu'ils évoluent comme prévu, c'est-à-dire avec l'effet attendu de l'action préventive (mesure d'efficacité du plan d'actions).

**Travaux en cours.** La thèse de [Chao Fang](#) se termine par l'identification des actions pertinentes de réduction de complexité (proposition 2), puis par l'élaboration de premiers modèles d'optimisation utilisant des algorithmes génétiques ou des formulations plus classiques de programmation linéaire sous contrainte.

**Travaux futurs.** Ces travaux se poursuivront, éventuellement avec la même personne selon son avenir professionnel proche via la poursuite actuellement envisagée d'un post-doc.

## 5.4. AGIR SUR L'ORGANISATION DU PROJET POUR MIEUX COORDONNER CERTAINES DECISIONS

Cette section développe la capacité d'une organisation projet à gérer la complexité. Ce travail a été mené en deux temps, soit en agissant directement sur les acteurs du projet et leur regroupement, soit en agissant indirectement via des objets (risques notamment) auxquels sont affectés des acteurs.

Le premier paragraphe traite donc du regroupement de risques interreliés, ce qui amène indirectement des groupes de propriétaires de risques. Ce travail a été réalisé dans le cadre de la thèse puis d'un projet collaboratif post-doc avec Ludovic-Alexandre Vidal. Il a été appliqué sur les cas **Spectacle** et **Tramway**. Une des publications a reçu le prix du jury *Lambdamu* d'or de la meilleure communication interactive au congrès de maîtrise des risques *Lambdamu 2010* à la Rochelle. Un autre papier a été sélectionné parmi les meilleurs papiers de la conférence CIGI'09 (*Conférence Internationale de Génie Industriel*), ce qui a débouché sur une acceptation dans *International Journal of Production Economics* (section 9.10, page 154). Une autre publication a été acceptée par *Research in Engineering Design* (section 9.11, page 155).

Le second paragraphe traite du problème de la créativité en début de projet, qui est notamment influencée par la façon dont les individus sont organisés. Nous avons introduit avec Manuel Sosa de l'INSEAD une approche structurée permettant aux décideurs d'être guidés dans leurs décisions de former des équipes créatives. Ce travail a fait l'objet d'une première application chez un **éditeur de logiciels** allemand et nous sommes en discussion pour une seconde application dans le **département innovation** d'un constructeur automobile. Il a été publié à la conférence *ASME 2010 / Design Theory and Methodology* et fait l'objet d'une soumission en cours au *Journal of Mechanical Design*.

### 5.4.1. Le problème : regrouper des acteurs pour qu'ils échangent, alertent, se coordonnent et décident au mieux des intérêts locaux et globaux

La finalité de cette section est d'agir sur le système de management du projet, essentiellement son organisation, sans changer la complexité de ce projet. La problématique générale est que le découpage d'une organisation projet en groupes amène inévitablement des risques de mauvaise communication ou coordination (prise de décision) entre ces groupes, et ce quelle que soit la façon dont le découpage est fait. La réalité des interactions présentes entre éléments est telle qu'il est impossible d'obtenir des groupes totalement indépendants.

Afin de proposer une organisation alternative qui réduise les risques liés à la communication et à la coordination entre des acteurs qui traditionnellement ne sont pas regroupés ensemble, nous introduisons un problème d'optimisation, pour lequel nous développons un algorithme de résolution, basé sur des heuristiques ou de la résolution exacte par programmation linéaire. L'objectif est de constituer des groupes à l'intérieur desquels va se trouver le maximum d'interactions. Les acteurs faisant partie de ce groupe seront donc réunis pour discuter ensemble des liens possibles de cause à effet entre leurs responsabilités respectives et se mettront d'accord (si tout va bien) pour mettre en place des stratégies qui optimisent plus globalement la défense du projet contre des événements indésirables, surtout les plus graves.

### 5.4.2. Notre première proposition : regrouper des risques pour en déduire indirectement des regroupements entre les acteurs propriétaires de ces risques

#### **Le problème spécifique dans le domaine des risques**

Dans le domaine de la gestion des risques projet, un des dangers récurrents est que l'organisation ne soit pas adaptée à la complexité de la relation potentielle entre ces risques. Chaque responsable de risque se trouve en situation de prendre des décisions et d'anticiper, en cause ou en conséquence, ce qui pourrait se passer au sein de son périmètre de responsabilité. Cela nécessite de s'informer, de prévenir, de se coordonner avec d'autres responsables, ce qui suppose déjà d'être au courant de ses relations à un ou plusieurs niveaux.

Nous cherchons ici à nous adapter à la réalité du réseau d'interactions en proposant une organisation complémentaire à l'organisation projet. Elle forme une structure alternative, en général temporaire, qui crée des groupes de travail ou des réunions de coordination ou des task forces.

### Description du problème sous forme d'un PLNE (Programme linéaire en nombres entiers)

On considère un ensemble de risques ( $R_1 \dots R_N$ ) pour lequel on dispose de la matrice numérique introduite dans le chapitre 3. Nous définissons la valeur *INTRA* comme la somme des valeurs de toutes les interactions entre risques appartenant à un même groupe. Nous avons donc une ou plusieurs valeurs *INTRA* initiales qui correspondent à la structure ou aux structures qui permettent de découper la liste de risques (par nature de risque, par criticité, par site géographique, par département / service / centre de responsabilité, etc...).

Notre but est de maximiser la valeur *INTRA* en reconfigurant les groupes de risques, que ce soit par le nombre de groupes ou la taille de chacun des groupes. Appelons  $K$  le nombre de groupes, ou clusters, de notre solution.  $K$  n'est pas connu à l'avance. Il est donc possible de le faire varier ou de le fixer pour réduire le nombre de possibilités, comme nous le ferons dans la section suivante. La fonction objectif à maximiser devient alors :

$$INTRA = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ik} x_{jk} RNM(i, j)$$

Les contraintes du problème sont les suivantes.

$$\forall i, 1 \leq i \leq N, \sum_{k=1}^K x_{ik} = 1$$

Puisque nous faisons l'hypothèse que les clusters sont disjoints pour une gestion plus facile des groupes et des agendas individuels (un acteur dans un seul groupe et pas dans quatre en même temps).

$$\forall k, 1 \leq k \leq K, \sum_{i=1}^N x_{ik} \leq S_{\max}$$

Puisque nous voulons limiter la taille des clusters, afin de faciliter là encore le travail et la vie du groupe, et notamment les prises de parole et de décision ou encore la nomination d'un responsable de cluster.

Le problème est quadratique à la base, nous décrivons dans (Vidal et Marle 2009) comment le rendre linéaire, afin de pouvoir utiliser des heuristiques et logiciels plus classiques. Dans ce premier exemple, nous avons démarré avec OPL (Optimization Programming Language) qui a permis de résoudre le cas **Spectacle** (20 risques) mais pas le cas **Tramway** (56 risques). La complexité algorithmique est en  $O(2^{N-1})$  et les problèmes au-delà de 22 risques devenaient impossibles à optimiser. Nous avons donc développé des heuristiques élémentaires permettant d'approximer une solution.

### Application aux cas Spectacle et Tramway

*Le regroupement de risques pour mettre les interactions à l'intérieur des groupes.*

Deux applications ont été réalisées, elles sont dans les papiers *IJPE* et *RIED*. A titre d'illustration, la Figure 48 et la Figure 49 page suivante comparent les résultats obtenus grâce au clustering à ceux obtenus avec les configurations classiques (un seul exemple donné ici, le regroupement selon les propriétaires de risques, mais on peut aussi le faire selon les natures ou les valeurs).

Les interactions les plus fortes et les plus nombreuses sont à présent au sein des clusters, ce qui permet de faciliter la communication et la coordination sur des chaînes potentiellement amplificatrices, voire des boucles. Il est à noter en particulier que la plupart des regroupements actuels concernent des risques indépendants, ce qui oblige chaque propriétaire à gérer de nombreuses interfaces, sans savoir les trier. La reconfiguration permet de cibler directement les interfaces les plus importantes et de constituer des groupes de travail « denses » en termes d'interactions.

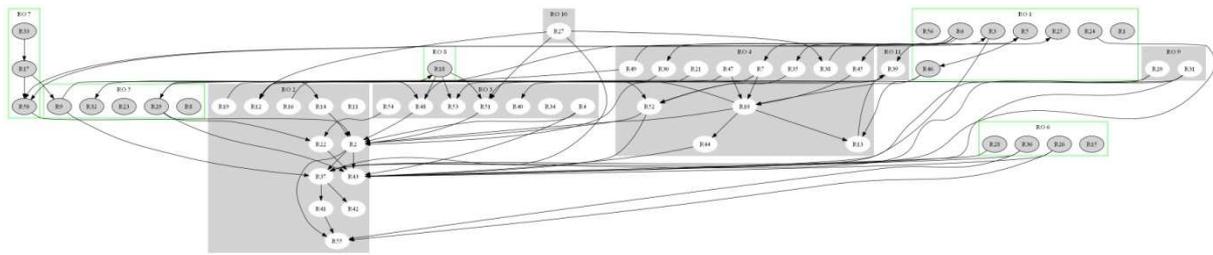


Figure 48 : Configuration classique représentant les interactions entre propriétaires de risques

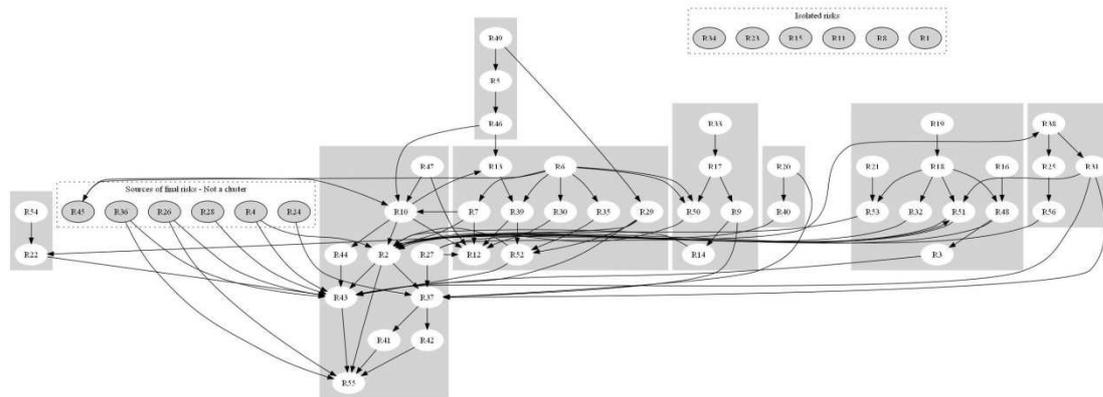


Figure 49 : Configuration regroupant les risques de façon à maximiser les interactions à l'intérieur des clusters

*Le regroupement de risques en tenant compte de contraintes supplémentaires sur les propriétaires*

L'alternative proposée ici est de tenir compte des acteurs qui sont propriétaires des risques au moment de regrouper ceux-ci. En effet, lorsqu'on forme un cluster de  $S_k$  risques (ou cluster de taille  $S_k$ ), on ne sait pas à l'avance combien d'acteurs différents sont concernés (entre 1 et  $S_k$ ). Ainsi, la contrainte de taille maximale d'un cluster  $S_{max}$  peut entraîner des clusters où il y aura peut-être trop d'acteurs différents (pour que le groupe soit gérable facilement) ou pas assez (si le même acteur est responsable de 80% des risques dans le groupe). De la même façon, la détermination d'un responsable du groupe de risques peut être plus ou moins facilitée ou déséquilibrée par la représentation des acteurs par rapport au nombre de risques qu'ils gèrent à l'intérieur du groupe. C'est pour cela que nous introduisons une nouvelle contrainte qui est le nombre maximal d'acteurs différents dans un groupe,  $NA_{max}$ , et qui se traduit par des résultats légèrement différents comme le montre le Tableau 12. D'un point de vue pratique, cela veut dire que nous limitons la taille des groupes d'acteurs qui sont induits par les groupes de risques. D'un point de vue algorithmique, cela nécessite de calculer ce nombre d'acteurs différents pour chaque cluster proposé, et de refuser les solutions violant la nouvelle contrainte.

Tableau 12: Comparaison des résultats obtenus par deux approches classiques (à gauche) et par nos deux approches tenant compte des interactions (à droite)

Clusters réalisés par...	Classe (CBC)	Propriétaire (CBO)	Interactions (CBI)	Interactions avec
				Contraintes d'Acteurs (CBI-CA)
Valeur intra-cluster totale (INTRA)	189	155	250	227
Nombre moyen d'acteurs par cluster	3,4	1	3,25	2,9
Ecart type sur le nombre d'acteurs	2,5	0	1,48	0,78
Nombre maximal d'acteurs	7	1	6	4
Nombre moyens de risques pour chaque acteur	2,3	5,4	1,65	2,05
Valeur moyenne des clusters	37,8	14,1	31,3	28,4
Ecart type sur les interactions dans les clusters	48	27	33	35
Taille moyenne des clusters	9,2	5,1	5,5	5,5
Ecart type sur la taille des clusters	6,5	7,2	3,3	3,9
Nombre total de risques au sein des clusters	56	56	44	44

## **Conclusion et implications managériales de la reconfiguration des risques**

Des travaux ont montré que certains chefs de projets avaient tendance à nier, ignorer et/ou reporter la gestion de leurs risques (Kutsch and Hall, 2005). D'un point de vue pratique, il existe un gap significatif entre les attentes et l'implantation réelle de la gestion des risques. Notre méthodologie permet une meilleure communication et coordination entre les acteurs et donc une plus grande confiance dans les activités de gestion des risques.

Le clustering de risques qui maximise les interactions au sein des clusters facilite la coordination des activités de gestion des risques qui concernent l'analyse et l'anticipation des propagations potentielles à partir d'un événement origine. En effet, il souligne le besoin de coopération et de communication transverse au sein de l'équipe projet. Il ne cherche pas à identifier de propriété ou de responsabilité d'un risque mais à identifier des interdépendances entre deux ou plusieurs risques. Il y a donc généralement moins de mécanismes défensifs lorsque le travail en groupe entre les membres du cluster démarre.

Cependant, cela implique potentiellement d'avoir à nommer un responsable de cluster, qui doit alors être faite avec précautions, étant donné que des risques de différentes natures sont regroupés. Il ou elle doit avoir suffisamment de recul et d'expérience sur les différentes composantes du projet représentées dans le cluster et avoir suffisamment d'autorité formelle ou informelle pour gérer les personnes provenant d'entités organisationnelles diverses. Il ou elle doit enfin être capable de faciliter la communication et la prise de décision en groupe, par son caractère et/ou son background méthodologique sur le sujet, notamment avec des gens de profils au départ plus variés.

La question peut être d'affecter un des membres propriétaires d'un ou plusieurs risques du cluster, ou d'affecter un responsable non représenté dans le cluster, mais ayant les caractéristiques décrites précédemment. Comme tout choix d'acteurs, il est multi-critères, et peut être fait en fonction de l'expérience, du niveau hiérarchique, du nombre de risques dont l'acteur est propriétaire, de la gravité des risques, etc... Une suggestion d'un des industriels ayant participé à cette recherche a été de faire voter les membres du cluster lors de leur première réunion (physique ou virtuelle). Le RCO (Risk Cluster Owner) devient alors responsable de l'animation et de la coordination du cluster, et de plus il a une légitimité reconnue par les autres.

Ce travail présente une approche innovante de clustering de risques permettant une gestion plus efficace de ces risques, notamment dans leurs interdépendances potentielles formant un réseau complexe. Cette méthodologie permet de comparer différentes façons de regrouper et de classer les risques, en fonction du nombre (ou pourcentage) total d'interactions comprises dans les clusters, en fonction de la taille (ou taille moyenne) et de la valeur (ou valeur moyenne) de chacun des clusters. Notre but est de proposer une structuration complémentaire aux structurations classiques existantes (par nature, par valeur, par service ou site géographique, en fonction de la WBS, de la PBS, de l'OBS, etc...). Elle permet d'aborder plus facilement le problème de l'anticipation et de la coordination multi-acteurs face à des phénomènes liés à la complexité, qu'ils soient réactions en chaîne ou boucles amplificatrices.

La classification des risques par leur valeur de criticité reste utile pour la priorisation des risques et l'allocation des ressources et des plans d'action. Mais le fait qu'un risque isolément faible puisse déclencher une chaîne comprenant des éléments plus dangereux peut influencer la décision de traiter ou pas ce risque origine. L'identification des clusters permet donc aussi de traiter des risques individuellement ou collectivement, on peut raisonner par exemple en termes de criticité d'un cluster, ou de plan d'actions appliqué à un cluster.

Le travail sur le terrain nous a confirmé dans l'aspect prometteur de ce champ de recherche, notamment dans la facilitation de la communication, et donc de la coordination entre acteurs dans un processus impliquant des éléments potentiels reliés entre eux de façon complexe. En particulier, on ne cherche pas de coupable potentiel mais des chaînes de propagation et des interfaces humaines pour couper ces chaînes (ou les déclencher si elles ont un impact positif). La nomination d'un responsable de cluster peut encore faciliter cette coordination, elle suppose toutefois de s'intéresser aux compétences et besoins spécifiques pour ce rôle. Celui-ci nécessite non seulement des compétences techniques et projet, mais aussi des capacités de gestion inter-personnelles avec des membres de sensibilités et d'intérêts différents (Zika- Viktorsson 2005).

### 5.4.3. Notre deuxième proposition : regrouper directement des acteurs pour améliorer le potentiel de créativité d'un groupe ou d'une organisation complète

#### **La spécificité du problème**

Le but est de former des équipes avec des personnes qui ont un historique de génération d'idées créatives en interagissant ensemble. On s'intéresse à deux types de décisions, ayant des envergures différentes.

##### *Le clustering local (ou incomplet)*

Le décideur veut former un ou plusieurs clusters au sein de son organisation (par exemple, cela représente moins de 20% de la taille totale de l'organisation). Nous appelons cela le problème n°1.

##### *Le clustering global (ou complet)*

Le décideur veut réorganiser entièrement son service afin de maximiser les interactions créatives positives. Nous appelons cela le problème n°2. Il peut s'agir là encore d'une volonté temporaire ou court-terme (séminaire de créativité pour projets de l'an prochain) ou d'une volonté à plus long terme de faire évoluer progressivement la structure de son service vers des groupes plus diversifiés et plus créatifs.

Il peut décider à l'avance de la structure de l'organisation future (nombre et taille des clusters, en plus des contraintes initiales de taille maximale et de disjonction des clusters), ou garder l'organisation existante (nombre et taille des groupes existants), ou laisser l'algorithme lui proposer une structure (avec des problèmes potentiels de déséquilibre dans la solution avec des grands groupes et des petits groupes, et surtout des problèmes de temps de calcul et de chance d'atteindre un optimum).

#### **Une approche structurée pour concevoir des équipes créatives**

Notre approche est basée sur la notion d'interaction créative, qui reconnaît que les personnes génèrent des idées créatives lorsqu'elles interagissent avec d'autres personnes dans le cadre de leurs tâches. Nous proposons donc une démarche en trois étapes: 1) Modéliser la structure organisationnelle actuellement en place, 2) Mesurer les interactions créatives dyadiques, 3) Former des clusters dont le potentiel de créativité est maximal.

##### *Modéliser la structure organisationnelle en place*

Trois types de données sont rassemblés dans cette étape. Tout d'abord, nous documentons où sont affectés les développeurs, à quel groupe organisationnel et sur quel site. La troisième information concerne leurs interactions relatives aux tâches qu'ils mènent. Ces données sont obtenues par questionnaires à l'ensemble des acteurs de l'organisation, et sont renseignées dans une matrice carrée appelée **A** pour **Actual Communication Matrix**. La case  $A_{ij}$  signifie que l'acteur  $i$  va vers l'acteur  $j$  pour demander une information relative à sa tâche.

##### *Mesurer les interactions créatives dyadiques*

Les interactions créatives sont celles dans lesquelles le récepteur de l'information est susceptible de générer de nouvelles idées utiles après avoir reçu cette information de la source. Nous modélisons donc les interactions entre paires d'acteurs, que nous appelons dyades, ou interactions dyadiques. Ce niveau est capturé en demandant à chaque acteur de répondre à la question suivante en utilisant l'échelle qualitative de Likert à 7 niveaux décrite suivante : « totalement d'accord », « d'accord », « plutôt d'accord », « je ne suis ni d'accord ni pas d'accord », « plutôt pas d'accord », « pas d'accord », « pas du tout d'accord ».

« Quand j'interagis avec [nom de la source], il est facile pour moi de générer de nouvelles solutions et des idées créatives. Ces idées nouvelles peuvent être rapport à la fois avec nos produits mais aussi avec la façon dont on fait les choses. »

Nous construisons à partir de cette information une matrice de créativité dyadique, appelée  $\mathbf{D}$ , qui utilise la même séquence que la matrice  $\mathbf{A}$  introduite précédemment. Nous pensons que le meilleur moyen de prédire l'interaction créative entre l'acteur  $i$  (le récepteur) et l'acteur  $j$  (la source) n'est pas uniquement l'interaction passée rapportée par le récepteur. Nous avons décidé de tenir également compte de la capacité de la source à faciliter ou déclencher la génération d'idées chez les personnes avec qui elle est en interaction. Cette capacité est calculée comme la moyenne des avis des autres acteurs sur l'acteur source, que nous recensons dans une matrice appelée  $\mathbf{D}_{avg}$  (average). Les cellules de  $\mathbf{D}_{avg}$  sont déterminées comme suit:

$$d_{avg,ij} = \frac{\sum_{k=1}^N (d_{kj}) - d_{ij}}{\sum_{k=1}^N a_{kj} - 1},$$

Où  $a_{kj}$  correspond à la cellule  $(k,j)$  de la matrice initiale  $\mathbf{A}$ . En conséquence, nous introduisons une matrice révisée  $\mathbf{D}_{rev}$ , dont chaque cellule  $D_{rev}(i,j)$  est calculée comme décrit-dessous :

$$d_{rev,ij} = \begin{cases} d_{avg,ij} & \text{if } d_{ij} = 0, \\ d_{ij} + d_{avg,ij} & \text{if } d_{ij} \in [4,7], \\ -1 & \text{if } d_{ij} \in [1,3]. \end{cases}$$

#### *Former des clusters créatifs*

L'objectif de notre algorithme de clustering est de maximiser les interactions créatives dyadiques positives au sein des clusters. La matrice  $\mathbf{D}_{rev}$  est donc la donnée d'entrée de notre algorithme. Si  $N$  est le nombre total d'acteurs et  $K$  le nombre de clusters, on définit la matrice d'affectation (ou d'affiliation)  $\mathbf{X}$ , qui est notre variable de décision, comme une matrice binaire rectangulaire  $N \times K$ . Comme dans la section précédente, l'objectif de l'algorithme est de maximiser la somme des valeurs positives à l'intérieur des clusters. Toutefois, la formulation des contraintes est légèrement différente, la matrice d'affectation  $\mathbf{X}$  étant sujette aux cinq contraintes suivantes :

(C1) **Les clusters sont disjoints.** Un acteur peut être inclus dans au plus un cluster.  $\mathbf{X}$  est donc binaire.

(C2) **La taille des clusters est comprise dans l'intervalle  $[S_{min}, S_{max}]$**

(C3) **La valeur minimale exigée pour une interaction créative au sein d'un cluster  $d_{min}$ .** Elle va influencer la force des interactions présentes dans les clusters, et donc la configuration obtenue au final, voire le nombre d'acteurs qui seront intégrés dans des clusters (il y en aura potentiellement moins si  $d_{min}$  est grand). Dans ce cas particulier, nous faisons le choix d'éviter les interactions négatives au sein des clusters. On fixe donc  $d_{min} = 0$ .

(C4) **Le nombre de clusters  $K$ .** Le décideur peut fixer  $K$  ou l'utiliser comme variable de décision. Quand  $K$  n'est pas pré-défini, il peut être encadré par l'intervalle suivant :

$$INT \left[ \frac{n}{S_{max}} \right] \leq K \leq INT \left[ \frac{n}{S_{min}} \right] \text{ où INT représente l'opérateur partie entière d'un nombre réel.}$$

(C5) **La solution proposée doit présenter une amélioration par rapport à l'organisation existante.**

Cette contrainte sera intéressante lorsqu'on cherche à former des clusters dont la configuration (taille et nombre) varie beaucoup de celle de l'organisation existante. Si on a une organisation avec 5 groupes de 11 et qu'on cherche à faire 11 clusters de 5, il sera difficile voire impossible de dépasser la valeur de créativité potentielle de départ. Mais les deux configurations ne sont pas comparables. Il faut donc se donner une valeur de départ qui peut être la valeur de l'organisation entière, ou la valeur de son groupe le plus créatif, ou la somme des valeurs des trois premiers groupes, etc...

*Stratégie de résolution*

Afin de pouvoir résoudre des problèmes de grande taille, comme celui proposé par notre application industrielle, il a fallu utiliser le logiciel C-Plex et non plus les heuristiques vues précédemment. Toutefois, même là, il était trop difficile de converger vers une solution optimale avec autant de degrés de liberté sur les contraintes. Nous avons donc décidé de fixer le nombre  $K$  de clusters et la taille  $S_k$  de chacun des clusters  $C_k$ . Pour une application à 58 acteurs, dont la complexité algorithmique est en  $O(2^{58} - 1)$ , cela change radicalement les choses.

**Application à un service de développement logiciel**

Nous avons implanté notre approche dans une entreprise de développement logiciel. L'entreprise, fondée en 1980, est publique et cotée en bourse en Allemagne. C'est l'un des leaders mondiaux sur un type particulier d'application à destination principalement de clients business (pas de consommateur individuel). Le département développement est distribué sur trois sites dans deux pays voisins. Pendant le temps de l'expérimentation, le département a été impliqué sur sept logiciels distincts (Sosa 2008, 2010). Deux méthodes ont été utilisées pour collecter les données : des interviews semi-structurées et une enquête web. Les interviews ont été conduites avec l'équipe de direction de l'entreprise, incluant le PDG, le vice-président en charge du développement ainsi que les leaders de groupes afin de comprendre leur portefeuille de produits, leur organisation générale et la nature des charges dans l'organisation. Ensuite, le questionnaire en ligne a été soumis à tous les membres du département. Les deux problèmes traités ont été les suivants.

*Trouver une équipe d'une taille donnée dont le potentiel de créativité est maximal.*

Cette taille a été fixée à la taille maximale du groupe existant dans l'organisation, soit 11. Cela nous paraît congruent avec les estimations empiriques ou les bonnes pratiques de constitution de groupes où nous avons vu des recommandations allant jusqu'à 12 personnes. La solution optimale est fournie dans la Figure 50.

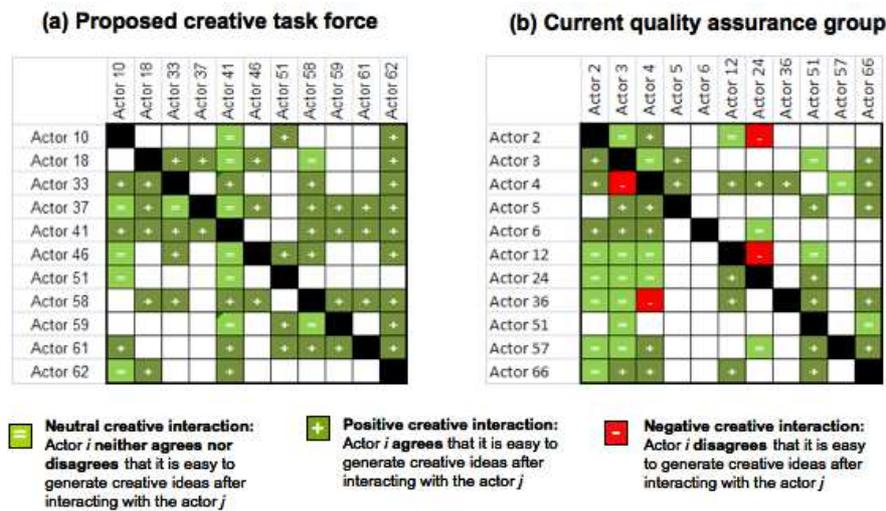


Figure 50: Comparaison du potentiel de créativité de notre proposition (à gauche) avec le meilleur groupe actuel (à droite)

Reconfigurer l'organisation complète en permutant les acteurs au sein d'une organisation similaire en nombre et taille de groupes.

Nous avons ici formulé une configuration identique à la configuration en place en nombre et taille de groupes (Figure 51). Cela pose une première question qui est de savoir si le décideur doit dimensionner une structure qu'il a en tête ou s'il doit s'adapter à la structure qu'il a actuellement sous la main.

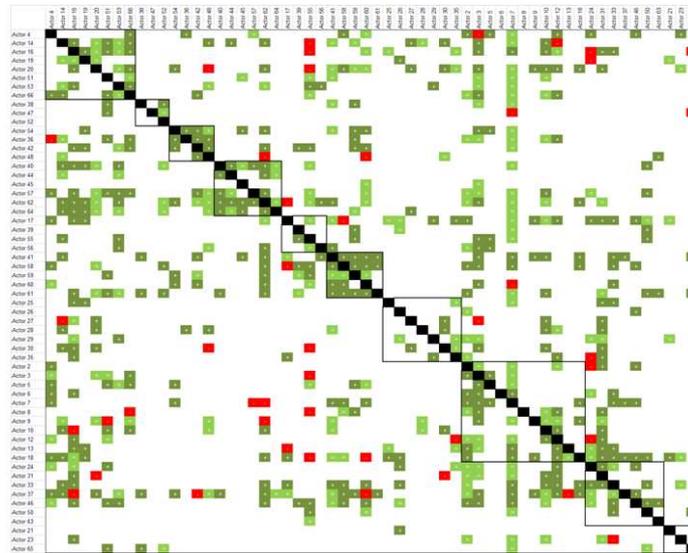


Figure 51: Notre proposition de configuration optimale tenant compte de l'exclusion des valeurs négatives

De plus, cette décision pose la question du changement organisationnel, c'est-à-dire de la différence entre la structure actuelle et la structure proposée. Nous montrons ci-dessous sur la Figure 52 l'allure du compromis qui doit être fait entre le potentiel supplémentaire de créativité (en ordonnée) et le taux de changement ou de conservation de l'organisation initiale (en abscisse). Les points sont des solutions faisables données par le logiciel pour plusieurs itérations de l'algorithme avec une contrainte de changement maximal progressivement relâché. A l'itération 0, on demande à garder 90% de l'organisation, puis 80%, puis de proche en proche jusqu'à 0% (optimisation totale du potentiel de créativité sans contrainte de conservation de l'organisation). La courbe montre bien que pour apporter plus de créativité, il faut forcément en passer par un changement plus important. Selon l'ambition ou la prudence du décideur, ou de façon générale son anticipation sur le coût et risque lié à ce changement (résistance), il pourra se placer différemment sur la courbe en termes de décision finale.

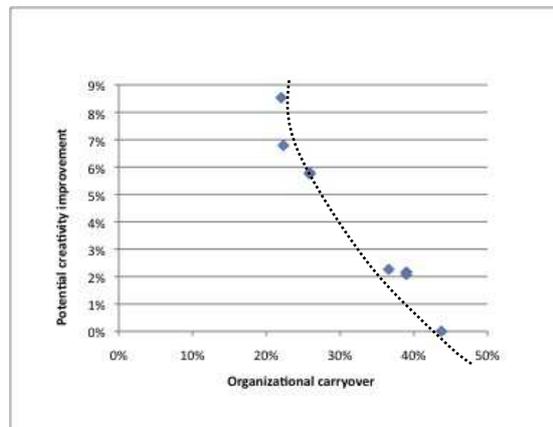


Figure 52: Illustration du compromis entre augmentation du potentiel de créativité et changement organisationnel

**Définition d'un indicateur fréquentiel pour évaluer la robustesse d'une configuration et pour aider à la pré-affectation d'une partie des acteurs.**

Nous introduisons la variable  $N_{Config}$  comme étant le nombre de scénarii différents testés (sur  $D_{min}$ , sur  $S_{max}$ , sur les tailles des clusters) et nous introduisons la variable  $l$  comme étant le numéro de la configuration testée ( $l$  varie entre 1 et  $N_{Config}$ ). Pour chaque jeu de paramètre ou configuration du problème  $Config_l$ , nous obtenons une matrice  $CO_l$  de clusters (CO pour Clustered Organization). Nous introduisons un index qui détermine le pourcentage de fois où deux acteurs  $i$  et  $j$  sont mis ensemble (index fréquentiel de cluster commun, Common Cluster Frequency Index en anglais). Un index complémentaire mesure le nombre de fois où un acteur est inclus dans un cluster (Index Fréquentiel de Clusterisation, ou Clustering Frequency Index).

$$CCFI(i,j) = \frac{\sum_l^{N_{Config}} CO(i,j)}{N_{Config}}, \quad CFI(i) = \frac{\sum_l^{N_{Config}} CO(i,i)}{N_{Config}}$$

Nous définissons la matrice fréquentielle **FM** comme la somme des  $CO_l$  divisée par  $N_{Config}$ . On a alors les termes non diagonaux  $FM_{ij}$  qui sont égaux à  $CCCF(i,j)$  et les termes diagonaux  $FM_{ii}$  égaux à  $CFI(i)$ . Les deux index, et donc la matrice **FM**, sont compris entre 0 et 1 (ou 0% et 100%). Nous introduisons une approximation de la matrice fréquentielle par une échelle qualitative correspondant à des paliers de pourcentage (0, 25%, 50%, 75%, 100%). Cela permet une lecture graphique plus intuitive et plus rapide, comme le montre l'exemple de la Figure 53, sur lequel se pose la question pour certains acteurs de leur appartenance « entre deux chaises » et pour le 5<sup>e</sup> cluster (en partant du coin en haut à gauche) de sa création ou pas. Il est possible de décider de ne créer un cluster que si la densité est supérieure à 90%, ce qui exclut le 5<sup>e</sup> cluster et réduit les 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>.

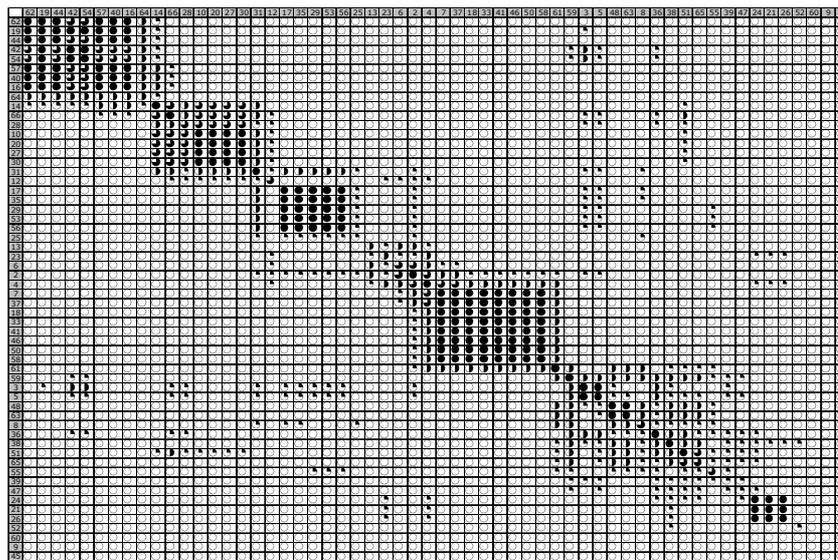


Figure 53 : Illustration de la matrice fréquentielle sur l'exemple du clustering d'acteurs

Pour conclure, il faut noter que cet indicateur fréquentiel est une aide à la décision, pas une règle automatique d'affectation. Ça peut aider, mais ça n'indique pas par exemple la force de l'interaction entre les acteurs  $i$  et  $j$ , simplement le nombre de fois où ils ont été mis ensemble. Même si on peut supposer que les deux sont liés, nous n'avons pas fait d'étude de corrélation pour vérifier que l'hypothèse est pertinente.

**Conclusions et messages-clé**

L'hypothèse sous-jacente à ce travail est que des interactions créatives positives du passé vont prédire des interactions créatives positives pour le futur, en combinant une évaluation individuelle et une évaluation collective (du type 360°). Cette hypothèse a été testée et validée par Manuel Sosa au sein d'un programme d'Executive MBA de l'INSEAD, dans le cadre d'un module d'innovation. Des détails sont disponibles dans (Sosa et Marle 2010).

Les deux expérimentations ont apporté une meilleure compréhension des phénomènes de réflexion et de créativité en groupe, déjà abordés par Cagan (2008). Nous voyons que le savoir, ou la « sagesse » collective est supérieure à l'opinion individuelle pour prédire comment des couples de développeurs vont performer quand ils sont mis ensemble. Globalement, ce travail contribue à avancer dans la question de former des équipes créatives, qui est aussi important qu'il est non trivial à résoudre. Il n'a jamais été traité complètement, notamment à cause des contraintes et des forces conflictuelles qui agissent dans le phénomène de créativité (Amabile 1996 ; Sternberg 1999 ; Linsey et al. 2010 ; Skilton et Dooley 2010). La créativité dans les équipes est en partie influencée par les concepts de diversité et de cohésion (Sosa 2010), mais notre approche évite de former les équipes sur ces seuls critères classiques, auxquels on peut rajouter « comment les acteurs s'entendent entre eux », « depuis quand travaillent-ils ensemble », « quelles sont leurs origines en termes de compétences et d'expérience » (Choi et Thompson 2005 ; Skilton et Dooley 2010). Notre approche semble former des équipes mixant diversité et cohésion, car les membres des clusters viennent de groupes organisationnels différents (diversité), tout en ayant un historique d'interaction et de collaboration positive (cohésion).

### 5.4.4. Evolution envisagée : un axe stratégique de développement, tant d'un point de vue scientifique qu'applicatif

Pour le travail sur les risques, plusieurs pistes sont en cours ou envisagées :

- Intégrer plusieurs caractéristiques dans la définition d'une interaction entre risques,
- Intégrer la dynamique (même potentielle) de l'interaction, et notamment le délai qu'il peut y avoir entre le déclenchement de la cause et le déclenchement de l'effet,
- Améliorer la fiabilité de l'évaluation pour augmenter la confiance dans le résultat final, par exemple en utilisant des approches floues (AHP flou), possibilistes ou d'autres approches comme Electre TRI (avec des points de référence),
- Explorer des nouvelles techniques d'optimisation pour le clustering et des nouvelles configurations (paramètres du problème d'optimisation) pour insérer des contraintes sur la densité minimale d'un cluster ou sur l'équilibre (lissage) recherché entre clusters,
- Appliquer dans d'autres domaines, notamment avec des clusters de tâches ou de responsabilités (de type WBS mais sous forme d'un réseau et pas d'une arborescence) ou à un niveau plus haut sur des clusters de projets.

Pour le travail sur la créativité, nous envisageons de pré-définir un minimum de connaissances ou de compétences que l'équipe créative devra posséder. Cela revient à intégrer le paramètre de diversité dans l'algorithme, alors que jusqu'à présent il est une conséquence de l'algorithme mais celui-ci n'est pas programmé pour. Ensuite, certains travaux porteront sur la fiabilité des valeurs numériques pour l'interaction dyadique (étape 2). En effet, une bonne partie de la fiabilité du processus d'optimisation et de la confiance qu'on peut accorder au résultat dépend de ces données d'entrée. L'échelle de Likert à 7 niveaux est sujette à discussion, puisqu'en particulier on transforme ces 7 niveaux bruts en 3 niveaux positifs, 1 niveau neutre et 1 seul niveau négatif (les notes brutes 1, 2 et 3 deviennent -1 dans la matrice). On pourrait imaginer plusieurs degrés de valeurs négatives, avec des contraintes d'exclusion qui seraient plus fines (par exemple, si c'est -1 c'est OK, alors que si c'est -2 ou -3 c'est exclu). De plus, nous n'avons pas fait de distinction entre « pas d'interaction » et « interaction neutre », puisque la case est respectivement vide ou nulle, ce qui revient au même pour l'algorithme. On pourrait imaginer une valeur proche de zéro mais non nulle pour l'interaction neutre.

Enfin, la performance du clustering (étape 3) dépend de la taille du problème et du remplissage de la matrice (densité et nature des valeurs présentes, notamment les valeurs négatives). L'autre paramètre est la configuration souhaitée par le décideur, et notamment les degrés de liberté qu'il laisse à l'algorithme. Les contraintes d'exclusion sont aussi à discuter, car la configuration actuelle peut être infaisable par rapport à la formulation du problème. Cela signifie que l'algorithme doit faire un certain nombre de changements pour arriver dans l'espace des possibles. On peut donc arriver à une dégradation du potentiel de créativité théorique, mais avec des clusters dont sont exclues les interactions négatives.

## 6. PROGRAMME DE RECHERCHE A MOYEN ET LONG TERME

Ce dernier chapitre présente mes ambitions scientifiques futures et comment les réaliser.

Mes finalités personnelles sont d'aller au-delà des clients directs, qui sont plutôt des entreprises, pour voir et tenir compte des parties prenantes à qui on s'adresse indirectement. Cela nous ramène quasi-systématiquement aux notions de société et de citoyen. De plus, je souhaite contribuer à aller vers des modes de management plus équilibrés, au sens du développement durable, donc plus raisonnables, pour que des éléments comme par exemple l'ambition donnée au projet, la négociation commerciale ou encore les conditions de travail des membres du projet ne soient pas exagérément tirés vers le toujours plus (en insistant sur le « exagérément »).

Mes finalités applicatives sont de travailler sur des systèmes complexes contribuant significativement à la société et aux individus, ayant des potentialités importantes d'innovation tant technologique qu'organisationnelle ou méthodologique, et enfin où l'équilibrage dynamique des paramètres mesurant leur performance est encore à faire. Bref, des systèmes où des transformations sont nécessaires et justifient de lancer et conduire un certain nombre de projets. L'idée est de montrer en quoi des projets ou programmes qui seraient plus efficaces, plus équilibrés et plus fiables permettraient de contribuer, même modestement, à l'évolution positive de notre société.

Mes finalités scientifiques sont d'une part, de diagnostiquer les transformations qu'il faudrait faire pour emmener un système vers un état désiré ou moins vulnérable, d'autre part de formuler des ensembles d'actions inter-reliées qui garantissent au mieux à la fois la performance et la possibilité d'obtenir cette performance. Les deux objectifs s'enchaînent, mais il peut y avoir des cas où le besoin est une donnée d'entrée et où le 2<sup>e</sup> objectif s'exécute sans le 1<sup>er</sup>. Le but est donc d'améliorer la performance et la fiabilité d'un ou plusieurs projets agissant sur des systèmes complexes en les concevant ou en les transformant.

Je travaillerai donc sur 2 types de systèmes, le système résultant (existant ou non) et le ou les système(s) projet permettant d'obtenir ou de transformer ce système résultant. Le système résultant sera considéré à 2 moments différents, au moment de sa conception ou de sa transformation lorsqu'il est en mode opération. Le système projet sera lui considéré à 2 niveaux différents, comme un ensemble d'actions au sein d'un projet unique ou comme un ensemble de projets au sein d'un programme / portefeuille.

Pour cela, je mobiliserai et ferai évoluer les 3 blocs M-A-D présentés dans ce mémoire, à savoir : 1) la Modélisation de complexité ; 2) l'Analyse des risques et opportunités dus à cette complexité ; 3) la prise de Décision qui en découle, décision qui se prend sous incertitude, due là encore notamment à la complexité.

La section correspondante indiquera quelques verrous scientifiques à sauter pour arriver aux finalités précédemment évoquées. Ces verrous sont dus notamment à la difficulté d'obtenir, traiter et interpréter des données de natures multiples et de fiabilité insuffisante.

Concrètement, des actions court terme sont déjà en cours ou planifiées. D'autres actions à moyen terme sont envisagées, avec des collaborations tant académiques qu'applicatives. Quand cela sera possible, des précisions seront données sur les sujets à développer, ainsi que sur les perspectives de développement d'équipe en termes d'animation scientifique, de recrutement et de financement. Enfin, le mémoire se terminera par un bilan personnel.

## 6.1. PRINCIPES POUR LA CONSTRUCTION DU PROJET SCIENTIFIQUE

Mes quatre grands principes sont :

- Travailler pour rendre service à quelqu'un, ce qui implique un équilibre entre des recherches appliquées et des recherches académiques,
- Travailler sur des sujets intéressants scientifiquement parlant et porteurs à la fois de progrès possibles et d'utilité concrète si ces progrès sont réalisés,
- Travailler avec des personnes intéressantes, que ce soient les bénéficiaires ou les collaborateurs (chercheurs permanents et étudiants).
- Travailler dans la continuité, avec des évolutions qui se justifient par rapport aux opportunités ou changements de contexte mais qui restent en cohérence par rapport à ce qui a été fait jusque là.

Il faut donc qu'il y ait combinaison entre le caractère important de l'enjeu abordé (scientifique et applicatif) et le caractère intéressant d'un point de vue recherche (thématique et collaborations).

### 6.1.1. Utilité des systèmes considérés

J'ai l'intention de continuer ou de commencer à travailler sur les systèmes suivants :

- Transport de passagers ou de marchandises, via les infrastructures et les mobiles (véhicules),
- Réseaux de production / distribution d'énergie, de télécommunications,
- Habitat, urbanisme et aménagement,
- Systèmes industriels existants, avec des aspects matériels (chaînes logistiques) et immatériels (organisation de l'entreprise).

La Figure 54 ci-dessous, sans aucune prétention de complétude, représente une partie des systèmes cités et de leurs interactions. Elle sert à illustrer qu'on peut agir :

- localement, à l'échelle d'un projet d'innovation par exemple sur un véhicule ou un nouveau matériau de construction,
- plus globalement à l'échelle de l'implantation ou de la rénovation d'un système de transport urbain (tramway, métro, bus ou combinaison),
- encore plus globalement à l'échelle d'un réseau énergétique intelligent ou d'une ville par exemple qui envisage son développement à 10 ans sur tous les plans cités sur le schéma.

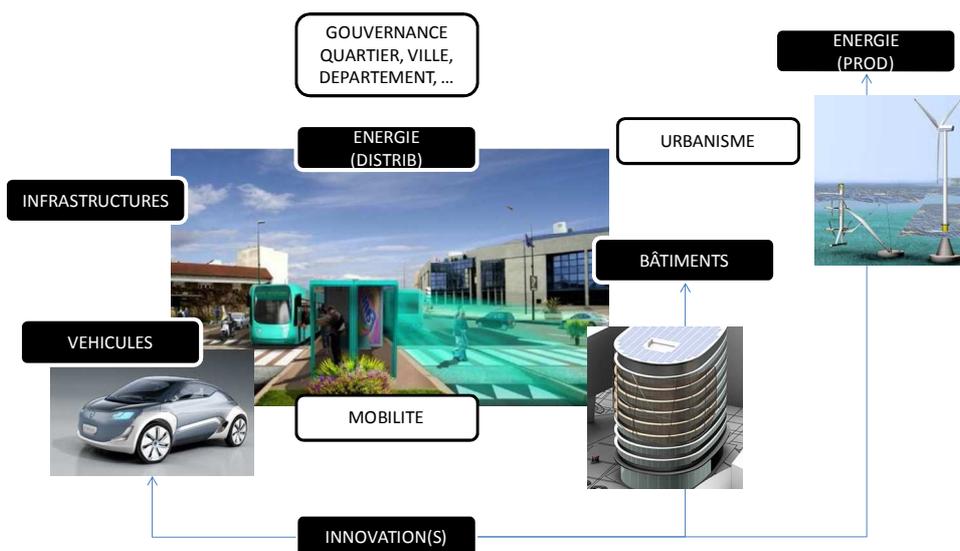


Figure 54 : Schématisation des systèmes complexes inter-reliés sur lesquels je compte travailler les prochaines années

### 6.1.2. Intérêt scientifique

Parmi les systèmes cités, ce que je trouve intéressant scientifiquement tient en trois points :

- Ils sont tous complexes de par la présence d'un grand nombre de paramètres contradictoires et inter-reliés pour lesquels il serait bon de chercher un équilibre plus qu'un optimum mono-paramètre (économique, social, environnemental).
- Ils sont tous complexes de par leur évolution dans le temps et de par les conséquences à plus ou moins long terme d'un évènement (problème subi ou décision voulue). L'équilibre pré-cité doit donc être gardé dans le temps, on parle alors plutôt d'équilibre dynamique ou d'homéostasie, et ça devient encore plus dur, pardon, plus intéressant.
- En plus d'être complexes, ils sont inter-reliés entre eux de façon complexe, ce qui rend les choses encore encore plus difficiles mais encore encore plus intéressantes...

Tous ces systèmes vont être conçus ou améliorés via des projets qui vont donc servir de vecteurs de transformation. La question va être d'obtenir et de traiter des données qui sont en grande quantité, ou à l'inverse pas suffisamment disponibles, qui sont de différentes natures et surtout avec des degrés de fiabilité en général faibles. La notion ou plutôt les notions d'incertitude vont donc être à développer, car nous avons souvent des données basées sur le jugement d'experts et non pas sur l'expérience, encore plus lorsqu'on parle de probabilité de transition et pas de probabilité d'occurrence. Intégrer l'incertitude dans les données manipulées, qui sont parfois des probabilités, va nous amener à gérer des combinatoires plus grandes de scénarii possibles ou à utiliser des méthodes spécifiques de prise en compte de cette incertitude. On peut citer ici la théorie des possibilités qui prolongerait l'utilisation que nous avons faite parfois de probabilités imprécises. On peut aussi parler de probabilités floues, l'idée est toujours de voir quelle incertitude nous avons en entrée et quelle influence cela a sur les résultats en sortie. L'idée est d'être toujours lucide sur le degré de confiance qu'on peut accorder à la détection et éventuellement l'estimation des évènements complexes potentiels, sachant qu'on parle parfois de transitions potentielles entre évènements potentiels qui concerneraient une organisation future et un produit en conception.

### 6.1.3. Collaborations et partenariats

Mes collaborations académiques et industrielles ont été jusqu'à présent basées sur la rencontre entre individus qui ont l'envie de travailler ensemble. Cela est plus aléatoire a priori mais permet à mon avis de développer des stratégies de collaboration à plus long terme que si ce sont deux institutions avec des représentants qui changent. Le contre-exemple est la thèse de [Nydia Gonzalez](#) qui a démarré par la rencontre avec [Frédéric Laforce](#), mais qui s'est ensuite déroulée avec quatre représentants différents de l'entreprise, ce qui n'a pas facilité la continuité du travail. L'intégration récente des arrivants au LGI sur les thématiques liées au risque fait qu'il est possible d'espérer quelque chose de collectivement plus pérenne. Je me vois donc travailler avec [Enrico Zio](#) et [Marc Bouissou](#) sur les méthodes de gestion des risques et sur les réseaux de production/distribution d'énergie et avec [Evren Sahin](#) sur l'analyse des chaînes logistiques. Des contacts indirects, académiques et industriels, en déboucheront mais je préfère bâtir d'abord avec mes voisins. Toujours en interne, je continuerai à travailler avec [Marija Jankovic](#) et [Bernard Yannou](#) sur le lien entre innovation et risques, plutôt au niveau mono-projet mais pourquoi pas au niveau multi-projets. Ayant collaboré plusieurs fois avec [Julie Le Cardinal](#), nous allons étudier par rapport à nos évolutions récentes et nos choix d'orientation s'il y a des sujets potentiellement communs. En externe local, l'arrivée sur le plateau de Saclay va s'accompagner de la création et donc de l'intégration potentielle à plusieurs structures, dont l'ensemble est d'une complexité qui pourrait se prêter à la mobilisation des outils développés dans ce mémoire ! En externe à plus grande échelle, nationale et internationale, il me semble là encore qu'il est plus efficace pour l'instant de nouer des relations interpersonnelles plutôt que des relations institutionnelles. A titre individuel donc, je me vois bien continuer à travailler avec [Thierry Gidel](#) de l'UTC et [Manuel Sosa](#) de l'INSEAD, et développer des collaborations avec des grands professeurs étrangers comme [Udo Lindemann](#) de TUM, [Steve Eppinger](#) du MIT et [John Clarkson](#) de Cambridge.

#### 6.1.4. Partir des réalisations pour aller vers les perspectives

Historiquement, ma thèse a démarré par une modélisation des objets et interactions d'un projet, mais dans un but d'analyse multi-projets chez **PSA Peugeot-Citroën**. La description de ces projets était une donnée d'entrée, et le but était plutôt d'arriver à les piloter vers l'atteinte de leurs objectifs, tout en améliorant certains paramètres collectifs comme l'alignement des objectifs ou l'utilisation coordonnée des ressources. Nous avons ensuite lancé des sujets plutôt orientés mono-projet, avec en 2006 les thèses de Ludovic-Alexandre Vidal (via un projet de master recherche avec lui qui s'était bien passé et nous avait donné envie de continuer à travailler ensemble) et Nydia Gonzalez (via un contact personnel avec Frédéric Laforce de **PSA Peugeot-Citroën**), puis en 2008 celle de Chao Fang (via une bourse CSC) et fin 2009 celle de Sanja Jovicic (via une co-tutelle avec une université serbe par l'intermédiaire de Marija Jankovic).

Jusqu' alors, la seule composante multi-projets était l'agrégation de données mono-projet et le pilotage au niveau supérieur de la maturité dans la thèse de Nydia. En parallèle, deux projets collaboratifs ont été menés sur l'intégration du niveau multi-projets, tout d'abord en mode pilotage (avec Julie Le Cardinal), puis en mode sélection (avec Baris Canbaz). Cela a permis de commencer à appliquer le processus Modélisation de Complexité – Analyse Evènements Complexes Potentiels – Décisions de traitement de la vulnérabilité au niveau multi-projets.

Enfin, je souhaite remonter cette fois en amont dans le temps et intégrer le système complexe résultant ou existant. La Figure 55 présente donc l'assemblage en un modèle MAD-3 (Modélisation-Analyse-Décision sur 3 niveaux) qui situe les projets passés, présents et futurs. Au niveau Système, les outils seront appliqués dans le but de diagnostiquer la vulnérabilité du système face à sa complexité et en déduire des idées de projets de transformation. Au niveau multi-projets, des idées de projets en interactions sont considérées afin de sélectionner des ensembles de projets (programmes ou portefeuilles) ayant des caractéristiques plus ou moins éloignées de ce qu'on obtiendrait en considérant les projets comme indépendants. Enfin, cette décision de lancement de projet(s) sert à la planification et au pilotage de chacun d'entre eux (ou de celui qui est l'objet de l'étude parmi un portefeuille). Il est donc possible de mobiliser nos outils sur un seul niveau ou sur une combinaison de deux ou trois niveaux. Des perspectives de développement niveau par niveau sont évoquées ci-dessous, sachant qu'un industriel peut nous solliciter pour une problématique plus ou moins large (diagnostic et / ou transformations qui s'en suivent) et à plus ou moins grande échelle (un seul projet ou plusieurs projets inter-reliés).

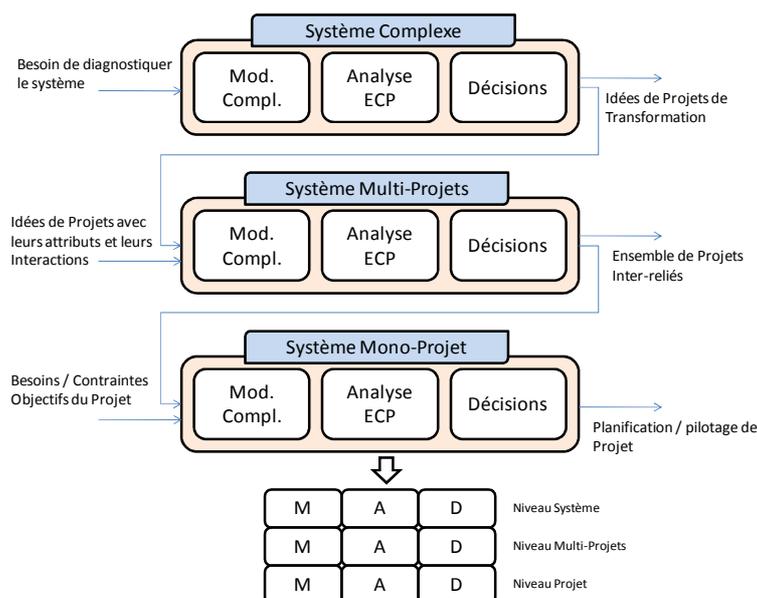


Figure 55 : Assemblage des blocs théoriques et des systèmes adressés en une grille de positionnement des projets

## 6.2. DECLINAISON EN PROGRAMME DE RECHERCHE AVEC ENJEUX SCIENTIFIQUES ET APPLICATIFS

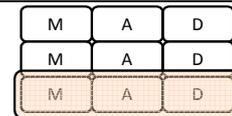
Pour moi, le plus important dans la recherche est le « avec qui », plus précisément le « avec quel client » et le « avec quels collaborateurs ». Ensuite vient le « quoi », décliné en « sur quoi » et « avec quoi », et enfin le « comment ». Cette section indique donc quelques projets déjà en cours, déjà engagés ou envisagés à court ou moyen terme, qui illustrent l'évolution vers de nouveaux systèmes, principalement des systèmes existants que sont un réseau énergétique ou une ville.

La logique de présentation de la section est d'abord niveau par niveau, puis bloc par bloc (comme le mémoire HDR). En effet, d'un point de vue applicatif, les projets sont plus souvent transverses mais d'un point de vue académique, il est plus fréquent de n'aborder qu'un seul bloc à la fois, pour creuser en profondeur un point précis. Les projets académiques par bloc sont donc en support des projets applicatifs par niveau.

Il y a des enjeux scientifiques dans les deux, car il est parfois aussi difficile de transposer une méthode dans un contexte où les données sont différentes et plus difficiles à obtenir. Les enjeux applicatifs se trouvent également partout, même si je considère que les sujets théoriques, à support académique, ne contribuent qu'indirectement aux systèmes adressés. A l'inverse, quand une entreprise finance une recherche, l'effort de généralisation ou au moins d'estimation du potentiel de transposition est systématiquement effectué.

### 6.2.1. Décomposition niveau par niveau : pour adresser des problématiques globales et avec des clients directs

#### Au niveau mono-projet



#### *Historique*

C'est à ce niveau que ça a commencé avec ma thèse appliquée chez **PSA Peugeot-Citroën**. Le but de l'étude était de faciliter la coordination et la sélection d'un ensemble de projets, toutefois, il était demandé de travailler avec un degré de finesse nécessitant la modélisation à l'intérieur de chaque projet, tout en étudiant les interactions entre projets. Cela a fait que les deux niveaux mono- et multi-projets ont démarré quasiment en même temps.

C'est là qu'ont été menées l'essentiel des recherches jusqu'à présent. On peut citer comme gros projets les thèses de Ludovic-Alexandre Vidal, Chao Fang et Nydia Gonzalez, même si cette dernière a également abordé des problématiques de comparaison multi- projets.

#### *Projets*

Le stage mené en ce moment par Antoine Sévely au Technocentre de **Renault** va dans la continuité des thèses précédentes dans la mesure où il porte sur une étude de la propagation dans l'espace et dans le temps de décisions projet vers des paramètres produit et vice-versa. Une thèse est envisagée avec Renault à la suite du stage.

De façon générale, ce niveau adresse un projet permettant de développer un système complexe et ayant une composante innovation. On peut citer comme exemple standard un projet de développement de nouveau produit type Renault/PSA Peugeot-Citroën, ou encore un projet de bâtiment innovant, tant dans sa structure (le produit) que dans la façon dont il est construit (le processus et l'organisation).

**Au niveau multi-projets**

M	A	D
M	A	D
M	A	D

*Historique*

En plus de ma thèse, il n'y a pas eu pour l'instant beaucoup de projets de recherche à ce niveau. Encore une fois, cela s'explique par le besoin de formaliser la modélisation, puis les outils d'analyse et de décision d'abord au niveau mono-projet, ce qui a déjà pris pas mal de temps. Il est toutefois possible de citer le projet collaboratif mené avec Julie Le Cardinal et **PSA Peugeot-Citroën** qui a débouché sur une publication dans *International Journal of Product Development* et le projet collaboratif mené avec Baris Canbaz dans le cadre de son mémoire thématique qui a abouti à un algorithme raffiné de constitution de portefeuille de projets en interaction (soumission en cours chez *European Journal of Operational Research*).

*Projets*

Ce niveau est intéressant car il fait le lien entre l'historique, le niveau mono-projet, et le futur, le niveau Système Résultant. Pour mener à bien les transformations souhaitées ou nécessaires, il convient de décider et de gérer au mieux un ensemble de projets, eux-mêmes devant être bien sûr individuellement correctement gérés. Des sujets à la fois académiques et applicatifs sont donc envisagés à ce niveau, afin : 1) de compléter le processus car jusqu'à aujourd'hui l'application aux objets Projets a porté d'avantage sur les aspects modélisation et optimisation, et moins sur l'analyse des Evènements Complexes Potentiels au niveau multi-projets; 2) de contribuer à la mise en place pour une entreprise de ce mode de sélection et de gestion multi-projets comprenant de façon plus fine les interactions entre ces projets.

A titre d'exemple, cela pourrait être un programme permettant de concevoir un système complexe ayant de multiples composantes et interactions avec d'autres systèmes (type Alstom Transport / SNCF ligne TGV), un portefeuille de projets de rénovation / maintenance d'installations existantes ou de développement d'applications informatiques, ou encore la construction et le raccordement d'un nouveau champ d'éoliennes en mer. La question peut donc porter sur des idées de projets ou sur des projets déjà lancés et pour lesquels une bonne gestion coordonnée s'impose, de par les interactions existant entre leurs objectifs, leurs ressources et leurs probabilités de succès.

**Au niveau du système complexe**

M	A	D
M	A	D
M	A	D

*Historique*

Ayant toujours travaillé sur le projet et pas directement sur le système qui était créé ou transformé par ce projet, il n'y a pas d'historique dans le domaine, mais un projet en cours. Il s'agit d'un stage Master Recherche avec Sergio Alonso, en partenariat avec le **CEISAR** (Center of Excellence in Informations Systems and Architecture) et l'entreprise **Axa**, qui détermine un modèle de mesure de complexité au niveau d'une entreprise. Ce modèle peut ensuite être décliné à un niveau inférieur à des unités opérationnelles ou projet, afin d'en déduire ensuite des transformations à effectuer en raison d'un mauvais indicateur de complexité, ou bien d'en déduire l'impact potentiel d'une transformation envisagée en termes de complexité (ajouter un critère supplémentaire à la sélection multi-critères de projet). Une thèse est envisagée à la suite du stage.

*Projets*

En plus de cette thèse potentielle, se termine bientôt la thèse de Chao Fang (automne 2011), pour laquelle une suite applicative est envisagée : en effet, les outils de diagnostic et d'anticipation pourraient s'appliquer au système multi-projets et au système résultant ou existant. Les outils d'analyse topologique et d'anticipation de propagation ont donc vocation à être réutilisés.

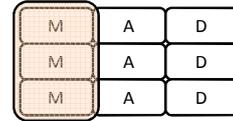
Un autre sujet plus appliqué porterait sur la refonte de certains modèles de production/distribution d'énergie et des infrastructures et bâtiments associés chez **EDF**, ce qui peut amener des collaborations avec la chaire EDF-Centrale-Supélec « Science des Systèmes et Défis Energétiques ». On peut citer entre autres la réflexion sur les investissements nouveaux / maintenance dans la gestion des actifs industriels (équipements, infrastructures), sur la redéfinition d'un modèle d'approvisionnement énergétique pour les gares du futur, sur la vulnérabilité d'infrastructures critiques au sein d'un réseau de distribution d'énergie.

Comme il s'agit ici d'établir un portefeuille de projets de transformation à partir d'un diagnostic du système existant, d'autres applications sont également envisagées, par exemple à des chaînes logistiques (type Michelin, Carrefour) ou à des entités urbaines de différentes tailles (quartier, ville, département).

A titre d'exemple, j'ai pris contact avec la ville de Châtenay-Malabry (une autre application intéressante aurait été le Grand Paris). Elle souhaite favoriser la mixité urbaine et sociale, l'utilisation économe des espaces naturels et urbains, la maîtrise des déplacements et la préservation de la qualité de l'air, de l'eau et les écosystèmes, et pour cela déploie un certain nombre d'actions de transformation de la ville, avec un slogan général « Répondre aux besoins sociaux avec l'économie comme moyen et les ressources naturelles comme contraintes ». Le problème dans ces contextes est l'imbrication avec les contraintes politiques (et notamment à l'approche des élections ou nominations), en plus de l'implication d'un très grand nombre d'interlocuteurs.

### 6.2.2. Décomposition bloc par bloc : des projets pour creuser et contribuer directement à la communauté scientifique

#### Modélisation de la complexité



#### *Historique*

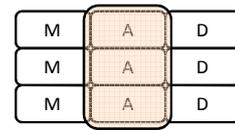
Nous avons déjà abordé un certain nombre de questions, plus ou moins profondément et sur plus ou moins de terrains d'application, via ma thèse, celle de Ludovic-Alexandre Vidal, ainsi que les projets collaboratifs avec Manuel Sosa, Thierry Gidel, Marija Jankovic, Julie Le Cardinal et Baris Canbaz.

#### *Projets*

La compréhension d'un système complexe passe par sa modélisation, qui est l'action d'élaboration et de construction intentionnelle de modèles susceptibles de rendre intelligibles certains phénomènes. Cela pose de nombreuses questions théoriques : quelle démarche modélisatrice ? Comment expliciter l'intention de la modélisation ? Comment caractériser l'organisation d'un système complexe et notamment sa composante multi-niveaux ? Comment caractériser la notion d'émergence au sein d'un système à partir d'éléments individuels mis en interaction ? Comment prendre en compte l'influence de l'humain en tant que participant et en tant que décideur ? Comment gérer la contradiction de l'unicité d'un système complexe face aux exigences de reproductibilité de la démarche scientifique ? Comment valider un modèle ou une décision d'action sur ce modèle ?

Scientifiquement, je pense qu'il faut aller plus loin dans la formalisation de données à la fois précises dans leur nature et imprécises dans leur évaluation. Cette piste de recherche porte donc davantage sur l'obtention des données avec l'estimation de leur incertitude / fiabilité. Il s'agit de travailler à la fois sur la nature de la donnée et sur la fiabilité de son estimation, que ce soit en termes d'attributs (trop ou trop peu, d'expertise, manque d'expérience, évolution dans le temps) ou surtout d'interactions (estimation de la possibilité d'activation de l'interaction, estimation de l'impact ou de la fonction de transfert de l'interaction, surtout quand elle est hétérogène ou multiple ou réciproque, couplage entre les deux notions précédentes).

**Analyse des risques, opportunités et vulnérabilités dues à la complexité**



*Historique*

Ce sont essentiellement les thèses de Chao Fang (indicateurs topologiques et analyses de propagation), Ludovic-Alexandre Vidal (sur les indicateurs de complexité et le concept de vulnérabilité projet) et Nydia Gonzalez (indicateurs de maturité) qui ont apporté des résultats dans ce bloc, avec à un degré moindre la thèse de Sanja Jovicic. Nous sommes à peu près au milieu de cette thèse qui porte sur les facteurs de vulnérabilité projet. Là encore, une exploitation de ce travail pour, d'une part focaliser sur la vulnérabilité due à la complexité et d'autre part appliquer ces facteurs à des systèmes existants, paraît prometteuse.

*Projets*

Je souhaite continuer à travailler sur la propagation dans l'espace (paramètres économiques, sociaux et environnementaux multiples et parfois contradictoires, parties prenantes multiples) et dans le temps (conséquences pendant le projet ou après la fin du projet, sur le système résultant). Plus spécifiquement, y a-t-il des corrélations entre ce que le projet délivre et comment il doit être organisé ? Le premier sujet concret de recherche concerne la modélisation et la comparaison de la complexité du système projet et du système résultant. Un produit complexe peut-il être conçu par une organisation simple ? Réciproquement, que se passe-t-il quand une organisation est trop complexe par rapport au produit (ou résultat) qu'elle délivre ? Quelle est la bonne complexité organisationnelle, quelle est la part de gaspillage, de bureaucratie inutile ? Peut-on se rendre compte via des complexités organisationnelles superflues qu'il faudrait simplifier non seulement cette organisation mais éventuellement le produit ? Peut-on anticiper l'impact d'une volonté de simplification du produit sur les changements organisationnels et procéduraux qu'il faut mettre en place dans les projets ? Cela pourrait donc se faire par analyse simultanée du système projet et de son système résultant (créé ou transformé par le projet). Cela transparaît parfois indirectement dans les analyses portant sur les réseaux de risques (ou de décisions), quand ceux-ci mélangent déjà des risques (ou décisions) liés au projet et des risques (ou décisions) liés au produit. Toutefois, lorsqu'on modélise des objets (tâches, acteurs, composants), la séparation est plus nette et jusqu'à présent seules des analyses de propagation ont été menées. Il serait sans doute bon de prolonger par des analyses topologiques comparées entre les deux natures de réseaux.

Ensuite, il paraît intéressant de travailler sur l'application du principe de vulnérabilité au niveau multi-projets, puis le confronter aux principes déjà existants dans l'analyse de certains systèmes complexes, afin d'arriver à une théorie et un diagnostic unifié (ou a minima compatible) de vulnérabilité due à la complexité. Le diagnostic de vulnérabilité d'un système existant accompagné du diagnostic de vulnérabilité des projets permettant de transformer ce système (notamment pour réduire ces vulnérabilités) serait utile et intéressant scientifiquement. En effet, certaines causes ou dangers sont communs ou au contraire contradictoires (un élément va renforcer le système mais rendre plus difficile sa transformation, ou vice-versa). Il sera donc plus aisé d'accompagner le système vers son nouvel état souhaité si on sait traiter à la fois ses problèmes et les problèmes liés à sa transformation.

**Aide à la décision en univers complexe et (donc) risqué**

M	A	D
M	A	D
M	A	D

*Historique*

Il s'agit principalement des thèses de Ludovic-Alexandre Vidal (clustering de risques) et Chao Fang (plan d'actions de réduction de complexité), ainsi que les projets collaboratifs avec Manuel Sosa (clustering d'acteurs), Baris Canbaz (sélection de projets interreliés) et Thierry Gidel (sélection de méthodes de gestion de risques projet). On peut rajouter à un degré moindre la thèse de Nydia Gonzalez (amélioration continue de processus) et le projet collaboratif avec Julie Le Cardinal (ré-affectation d'acteurs).

*Projets*

Tout d'abord, je pense qu'il faut aller plus loin d'un point de vue théorique dans la partie diagnostic et plan d'actions associé.

Un sujet théorique est envisagé sur la combinaison des fonctions de sélection, de clustering et de séquençement appliquée à différents objets, comme bien sûr les projets mais aussi à un niveau inférieur des tâches (qu'elles soient pour traiter les risques ou pour faire avancer le projet). Il y a de nombreuses applications à ce travail, et je souhaiterai donc accompagner cette thèse académique de plusieurs travaux appliqués, que ce soit dans le cadre d'autres thèses ou pas.

D'un point de vue conceptuel puis applicatif, il est envisagé de travailler sur la distinction de la « bonne » et la « mauvaise » complexité. En particulier, il serait bon de distinguer les systèmes où on va chercher à réduire la complexité de ceux où on en a besoin (pour des questions de redondance qui permet de palier à une défaillance locale ou pour favoriser l'émergence d'une propriété qu'aucun élément isolé ne possède). Cela peut s'appliquer à des réseaux de décisions, de risques, d'acteurs, de tâches et de projets.

Enfin, je souhaite travailler sur des outils de simulation in virtuo des projets ou ensembles de projets, afin d'aider d'une part à visualiser et anticiper les changements qui pourraient se produire à partir d'une décision ou d'un évènement quel qu'il soit, et d'autre part afin d'aider à la décision à partir de tests possibles qui sont in virtuo et n'entraîneraient donc pas de conséquences réelles fâcheuses. Il est possible de s'appuyer sur des outils de plus en plus perfectionnés, qu'ils soient à but pédagogique (simulateurs de gestion de projet comme par exemple SimulTrain©) ou à but opérationnel (tous les logiciels de gestion de projet, Microsoft Project, Primavera, PSN, OPX2, etc... et leurs interactions avec les logiciels dédiés produit comme TDC, Catia ou encore décision et risque comme DecisionTools, BayesiaLab, etc...).

### 6.3. BILAN PERSONNEL

Ce mémoire s'achève par un bref bilan de ces treize dernières années et par une synthèse de ce qui me passionne dans mon ou plutôt mes métiers et qui me donne envie de continuer. Bien sûr, pas de naïveté, tout n'est pas rose au quotidien quand il s'agit de rendre opérationnel des idées intéressantes sur le papier, mais la balance est largement positive.

#### **En termes d'expérience et de compétences**

Trois compétences clés sont présentées ci-dessous, elles correspondent à mon portefeuille d'activités et sont compatibles avec la grille établie par l'Ecole Centrale Paris, tant pour ses étudiants que pour ses enseignants-chercheurs : innovateur / leader / entrepreneur.

##### *Innovateur*

Une de mes caractéristiques personnelles, qui explique peut-être pourquoi je travaille sur le sujet des projets, par définition toujours en mouvement et toujours uniques. C'est parfois à double tranchant, car par exemple, au lieu de m'économiser en gardant constant le programme du MS et le contenu de mes cours l'année où je souhaite passer mon HDR, je n'y arrive pas...

##### *Leader*

La gestion du MS depuis mi-2006, la création et la gestion de l'Axe depuis fin 2006, ainsi que la gestion de programmes de formation initiale (le cours de 2<sup>e</sup> année avec les 450 élèves-ingénieur) et continue (une dizaine de stages inter-entreprises) ont permis d'accumuler de l'expérience dans le fait de travailler en tant que leader avec d'autres personnes de l'école ou de l'extérieur, que ce soit au niveau du recrutement ou de la gestion des personnes recrutées (voire de la terminaison de la collaboration, qui n'est jamais une chose facile mais est très formatrice).

##### *Entrepreneur*

Là encore, l'implication dans le MS, la Formation Continue et la recherche contractuelle m'a aidé à acquérir un certain nombre de compétences connexes, à la fois dans la recherche de financements (ce qui comprend du marketing, du commercial et en particulier de la négociation), mais également dans la gestion raisonnable des financements acquis (là encore via la négociation).

##### *Globalement...*

Comme dans le sport, la progression passe par une pratique régulière et avec des objectifs de plus en plus élevés. Pour les compétences classiques liées aux fondements de mon métier, comme la communication écrite et orale ou la pédagogie, cela ne pose pas de problème pour la régularité. Pour les compétences moins directement abordables, liées au leadership et à la gestion financière par exemple, je compte continuer à faire mes preuves.

## **Ce qui me passionne pour continuer**

### *La recherche*

C'est la découverte de ces trois-quatre dernières années. Le fait de creuser quelque chose de nouveau, de difficile, et surtout d'utile (directement et indirectement) et de déboucher sur des résultats est ce que je préfère dans mon activité globale. Ensuite, le fait de valoriser ces résultats sous forme essentiellement de communications et d'articles présente là encore plusieurs intérêts qui sont pour moi, pour le laboratoire ou pour la communauté scientifique. Cela représente une motivation complémentaire au fondement de la recherche, qui est de trouver des améliorations pour rendre service à quelqu'un. Dans mon domaine, ces améliorations portent sur la sélection et la conduite des transformations à mener dans les systèmes complexes, ce qui peut être un peu abstrait, mais cette notion d'utilité directe et indirecte pour des gens concrets reste importante.

### *L'enseignement*

Il est clair que tous les étudiants ne sont pas passionnés par les cours qu'ils suivent. Toutefois, ce qui me passionne, ce sont les étudiants chez qui on arrive à déclencher cet intérêt, cette motivation, cet oubli du temps qui passe (le fait d'accepter de travailler après 17h15...) et globalement cet œil qui brille lorsqu'ils travaillent sur leur cas d'étude et le présentent en fin de module. Après, c'est une question de pourcentage et ça peut varier d'un cours à l'autre et d'une année sur l'autre, mais je sais maintenant que ce qui me passionne dans l'enseignement, c'est de transmettre non seulement des savoirs, savoir-faire et savoir-être, mais également (ou surtout ?) une motivation pour les projets car on peut changer les choses, même modestement, en les paramétrant bien (ne pas tout mettre sur la rentabilité financière à court terme par exemple) et ensuite en les conduisant bien. J'essaie vraiment de leur transmettre qu'ils doivent d'abord s'engager dans des projets qui les motivent, avec des finalités qui les tirent, en qu'ensuite les concepts, outils et méthodes de gestion de projet sont là pour les aider à les réaliser.

### *La gestion du MS*

Comme pour un cours mais à une échelle un peu plus grande, j'ai l'impression d'avoir la possibilité de laisser une trace, de transformer positivement même légèrement les étudiants qui passent par mon Mastère. Si on peut leur inculquer, non seulement des techniques et méthodes, mais aussi des principes et des valeurs pour qu'ils se comportent ensuite comme des managers raisonnables et responsables, alors ce sera positif. Il ne s'agit pas de juste les rendre plus performants pour qu'ils utilisent leurs acquis dans l'exécution de tâches comme la délocalisation, le dégraissage d'effectifs ou la poursuite de rentabilité à tout prix.

## 7. COMPLEMENTS

### 7.1. CV SYNTHETIQUE

#### Etat-civil

<p>MARLE Franck Né le 17 juin 1975 à Lille Nationalité française Marié, deux filles</p>  <p><i>Fonction actuelle:</i> Chef de travaux à l'Ecole Centrale Paris dans le Laboratoire Génie Industriel et le Département d'enseignement de Sciences de l'Entreprise</p>	<p><i>Adresse personnelle :</i> 14, rue Général de Gaulle 92290 Châtenay-Malabry</p> <p><i>Adresse professionnelle :</i> Ecole Centrale Paris Grande voie des vignes 92295 Châtenay-Malabry Cedex</p> <p><i>Coordonnées :</i> 01 41 13 15 68 01 41 13 12 72 (fax) franck.marle@ecp.fr</p>
---	---

#### Formation

1991 Baccalauréat série C

Lycée Fénelon de Lille, mention AB

1997 Ingénieur Ecole Centrale de Lyon

Option Génie Industriel

1997 DEA en Génie Industriel de l'Ecole Centrale de Lyon

Co-habilité Ecole Centrale de Lyon – Ecole Centrale Paris, Option Organisation des Systèmes Complexes, mention B

Mémoire préparé sous la direction du professeur S. Aït-el-Hadj : « Outil de mesure et d'amélioration de performance du système logistique de Procter&Gamble : aide à la décision stratégique et à la convergence systémique », soutenu en septembre 1997

2002 Docteur en Sciences de l'Ecole Centrale Paris

Spécialité Génie Industriel et Management de Projets. Thèse préparée sous la direction du professeur Jean-Claude BOCQUET et soutenue le 25 novembre 2002. Mention TH.

Sujet de mémoire : « Modèle d'informations et méthodes pour aider à la prise de décision en management de projet »

### **Chercheur**

12 publications dans des revues internationales à comité de lecture,

32 communications dans des conférences internationales à comité de lecture,

Thèse de doctorat à cheval entre le Laboratoire Génie Industriel (75%) et PSA Peugeot-Citroën (25%)

### **Encadrant de Recherche**

De 2006 à aujourd'hui :

3 thèses soutenues : Nydia GONZALEZ (03/12/09), Ludovic-Alexandre VIDAL (18/12/09) et Chao FANG (02/12/11)

1 thèse en cours : Sanja JOVICIC (fin 2009),

9 stages DEA puis Master Recherche encadrés

Fondateur et Animateur d'une jeune équipe de recherche en management de projets (une des cinq équipes de recherche du Laboratoire Génie Industriel, parmi lesquelles 2 thèmes fondateurs et 3 jeunes équipes), voir : <http://www.gi.ecp.fr/Recherche/Managementdeprojets.html>

### **Enseignant et responsable de formations**

De 2006 à aujourd'hui : Responsable de programmes de formation

Mastère Spécialisé Management Industriel, Projets et Supply Chain (environ 20 étudiants), voir <http://www.gsi.ms.ecp.fr/fr>

De 1998 à aujourd'hui :

Responsable de différents modules entre 15 et 30h (Socle commun 2eA, 3eA Option Génie Industriel, MR Génie Industriel, MS Management Industriel, Projets et Supply Chain)

Intervenant en 3<sup>e</sup> année, DEA puis Master Recherche Génie Industriel, Mastère Spécialisé Génie des Systèmes Industriels (aujourd'hui MS Management Industriel, Projets et Supply Chain)

### **Autres informations**

De 2006 à 2010 : Gestionnaire du thème Management de Projets de Centrale Formation (catalogue inter-entreprises, environ 10 stages) et formateur inter-entreprises pour Centrale Formation

De 2001 à aujourd'hui : Enseignant-formateur pour UTC, Supelec, ENSIA, CNAM, ITII Bourgogne, ISC (entre 3 et 30h, entre 1 et 6 années de suite)

2001-2004 : Examineur au concours d'entrée Centrale-Supélec : épreuve orale de mécanique

De 2003 à aujourd'hui : Certifié PMP® du Project Management Institute

Loisirs : Avec mes filles ! (Mini-tennis, mini-golf, mini-foot, etc...) + lecture science-fiction + tennis de table & golf

7.2. LISTE DES FIGURES

Figure 1: Positionnement des dates-clés de mon parcours .....	11
Figure 2 : Travailler sur le système projet en lien avec le système qui en résulte et les systèmes qui l’environnent... 12	12
Figure 3: Synergies entre grands domaines d’activité.....	13
Figure 4 : Synthèse des résultats collectifs obtenus entre juin 2008 et juin 2010 .....	18
Figure 5 : Structuration de l’axe présentée lors du Conseil Scientifique de juin 2010.....	19
Figure 6: Extrait d’un des 11 numéros du Courrier de la Recherche en Management de Projets .....	19
Figure 7: Grands principes de fonctionnement collaboratif de l’Axe .....	19
Figure 8: Aperçu global du programme du MS qui contribue à la performance industrielle des entreprises .....	20
Figure 9: Lien entre le programme du cours Master Recherche et le contenu des activités de recherche .....	21
Figure 10: Déroulement du cours de Tronc Commun à la promo complète Ecole Centrale Paris .....	22
Figure 11 : Macro-planning des principaux enseignements réalisés depuis 1998.....	23
Figure 12: Diffusion des résultats de recherche dans l’ensemble des activités menées .....	24
Figure 13 : Depuis la description du système projet jusqu’à mon programme de recherche .....	27
Figure 14 : Vue téléologique des finalités du système projet.....	30
Figure 15 : Vue ontologique du système projet avec identification de l’ensemble des parties prenantes .....	33
Figure 16: Groupes de processus (PMI 2008).....	34
Figure 17 : Positionnement des macro-processus de décision en management de projet .....	34
Figure 18 : Positionnement des principaux documents issus des décisions de management de projet .....	36
Figure 19 : Le projet se structure par états successifs puis se pilote au cours du temps.....	37
Figure 20 : Illustration de l’avancement d’un projet par l’analogie avec un système mécanique en mouvement .....	41
Figure 21 : Ma vision du projet via ses évolutions possibles .....	41
Figure 22 : Quatre types de phénomènes induits par la complexité .....	47
Figure 23 : Représentation du décalage entre la complexité réelle des projets et la façon dont ils sont gérés.....	48
Figure 24 : Représentation graphique des méthodes classiques de gestion des risques projet.....	49
Figure 25: la complexité peut faire que le projet n’évolue pas comme prévu .....	52
Figure 26 : La complexité peut faire que la décision n’a pas l’impact prévu sur l’évolution future du projet.....	53
Figure 27 : Structure du programme de recherche et plan du mémoire .....	54
Figure 28 : Logique de construction des modèles de complexité projet .....	57
Figure 29 : Les quatre familles de facteurs de complexité .....	58
Figure 30 : Antagonisme entre le niveau de détail et le nombre de types d’interactions pris en compte (Marle 2002).....	64
Figure 31 : Schématisation des évènements provoquant des changements d’attributs chez des objets (risques) et pouvant se propager via les interactions entre ces objets (risques) .....	65
Figure 32 : Impression écran de la fenêtre de saisie et de consultation d’un objet .....	68
Figure 33 : Navigation entre la fenêtre et les vues associées à différents objets.....	68
Figure 34 : Réseaux de contribution ou d’influence (gauche) et réseaux d’échanges (droite) reformés à partir d’interactions élémentaires.....	69
Figure 35 : Représentations du même réseau d’après le formalisme graphe (à gauche) et matriciel (à droite) .....	71
Figure 36 : Processus de diagnostic de vulnérabilité par l’analyse des faiblesses internes et des évènements complexes potentiels .....	75
Figure 37 : Les deux dimensions du modèle de maturité (phases et domaines).....	77
Figure 38 : Exemple d’obtention du niveau de maturité dans une phase $i$ pour un domaine $j$ .....	78
Figure 39 : Comparaison entre les niveaux de maturité du SSP et du SP .....	78
Figure 40 : Nombre de risques pouvant atteindre et pouvant être atteints par un risque donné .....	83
Figure 41 : Nombre d’interfaces entre domaines différents (similaire pour interfaces entre responsables différents) .....	84
Figure 42 : Mise en valeur de certains nœuds du réseau pour des raisons topologiques.....	84
Figure 43: Propagation à 1 puis 2 niveaux d’un problème lié à l’affectation d’acteurs via les relations entre projets .....	88

Figure 44 : Graphe de sensibilité de la ré-évaluation des risques par rapport aux incertitudes en entrée .....	91
Figure 45 : Tableau d'analyse de maturité .....	94
Figure 46 : Positionnement de nos aides à la décision par rapport aux systèmes impactés .....	97
Figure 47 : Modèle type de description entrées/sorties de chaque décision abordée .....	97
Figure 48 : Configuration classique représentant les interactions entre propriétaires de risques .....	110
Figure 49 : Configuration regroupant les risques de façon à maximiser les interactions à l'intérieur des clusters ....	110
Figure 50: Comparaison du potentiel de créativité de notre proposition (à gauche) avec le meilleur groupe actuel (à droite).....	114
Figure 51: Notre proposition de configuration optimale tenant compte de l'exclusion des valeurs négatives .....	115
Figure 52: Illustration du compromis entre augmentation du potentiel de créativité et changement organisationnel	115
Figure 53 : Illustration de la matrice fréquentielle sur l'exemple du clustering d'acteurs .....	116
Figure 54 : Schématisation des systèmes complexes inter-reliés sur lesquels je compte travailler les prochaines années.....	119
Figure 55 : Assemblage des blocs théoriques et des systèmes adressés en une grille de positionnement des projets	121

### 7.3. LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Positionnement des publications dans les revues selon leur bloc thématique et leur état d'avancement ...	14
Tableau 2 : Le projet décrit comme un système complexe .....	44
Tableau 3 : Description complète du référentiel de complexité .....	59
Tableau 4 : Description du référentiel simplifié de complexité .....	60
Tableau 5 : synthèse des spécifications d'un modèle de complexité projet .....	63
Tableau 6 : Modification des priorités des risques .....	90
Tableau 7: Liste des RIM (extrait) .....	102
Tableau 8: Liste des critères.....	102
Tableau 9 : Evaluation des RIM suivant les critères pertinents (extrait).....	102
Tableau 10 : Valeurs initiales relatives aux risques (extrait).....	106
Tableau 11 : Analyse raffinée des risques et effet de plans d'actions classiques ou non classiques (extrait) .....	106
Tableau 12: Comparaison des résultats obtenus par deux approches classiques (à gauche) et par nos deux approches tenant compte des interactions (à droite).....	110

#### 7.4. BIBLIOGRAPHIE DU MEMOIRE

Sont indiquées ici les références citées dans le mémoire, il y a bien sûr à la fois non exhaustivité et redondance partielle avec les références présentes dans les publications, dont certaines sont mises en Annexe.

AFNOR. (1999). RG AERO 000 40, dans NF X50 410. Recommandation générale pour la spécification du management de programme, Editions AFNOR.

AFNOR. (2003). FD X 50-117: Management de projet, Gestion du risque, Management des risques d'un projet, AFNOR.

Akileswaran, V., Hazen, G. B., and Morin, T. L. (1983). "Complexity of the project sequencing problem " *Operations Research*, 31(4), 772-778.

Amabile, T. (1996). *Creativity in Context*, West View Press, Inc.

Ariyo, O. O., Eckert, C. M., and Clarkson, J. P. "Prioritising engineering change propagation risk estimates." *International Conference on Engineering Design - ICED'07*, Paris, France.

Arnott, D., and Pervan, G. (2008). "Eight key issues for the decision support systems discipline " *Decision Support Systems*, 44(3), 657-672.

Austin, S., Newton, A., Steele, J., and Waskett, P. (2002). "Modelling and managing project complexity." *International Journal of Project Management*, 20, 191-198.

Baccarini, D. (1996). "The concept of project complexity – a review." *International Journal of Project Management*, 14(4), 201-204.

Baker, N., and Freeland, J. (1975). "Recent advances in R&D benefit measurement and project selection methods." *Management Science*, 21, 1164-1175.

Barlow, J. (2004). *Project Risk Analysis and Management*, APM Publishing, High Wycombe.

Biggiro, L. (2001). "Sources of complexity in human systems." *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 5(1).

Bocquet, J., Cutting-Decelle, A., Gignoux-Ezratty, V., Giordano, J., Marle, F., Schindler, A., Stal-Le Cardinal, J., and Vidal, L. (2009). "La complexité dans les projets en entreprise : proposition d'une définition de la complexité et de méthodes pour sa détection et sa maîtrise." *Laboratoire Genie Industriel. Ecole Centrale Paris*.

Boulding, K. (1956). "General Systems Theory, the Skeleton of Science " *Management Science*, 2(3), 197-208.

BSI. (2002). *ISO/IEC Guide 73:2002. Risk Management – Vocabulary – Guidelines for use in standards*, British Standard Institute, London.

Cagan, J. (2008). "Cognitive based engineering design: An emerging direction of engineering research (Editorial)." *Journal of Mechanical Design*(130).

Calinescu, A., Efstathiou, J., Schimand, J., and Bermejo, J. (1998). "Applying and assessing two methods for measuring complexity in manufacturing." *Journal of Operational Research Society*, 49(7), 723-733.

Carrascosa, M., Eppinger, S., and Whitney, D. "Using the Design Structure Matrix to estimate Product Development Time." Proceedings of DETC 98, 1998 ASME Design Engineering Technical Conferences, Atlanta, Georgia USA.

Choi, H., and Thompson, L. (2005). "Old wine in a new bottle: Impact of membership change on group creativity." *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 98, 121-132.

Clarkson, J., Simons, C., and Eckert, C. (2004). "Predicting change propagation in complex design. ." *Journal of Mechanical Design*, 126, Doi: 10.1115/1.1765117.

Cooper, D., and Chapman, C. (1987). *Risk analysis for large projects : Models, Methods & Cases*, Wiley.

Cooper, R., Edgett, E. S., and Kleinschmidt, E. (1997a). "Portfolio Management in New Product Development: Lessons from the Leaders-I." *Research Technology Management*, 40(5), 16-19.

Cooper, R. G., Edgett, S. J., and Kleinschmidt, E. J. R. T. M. (1997b). "Portfolio Management in New Product Development: Lessons from the Leaders-II." *Research Technology Management*, 40(6), 43-52.

Coppendale, J. (1995). "Manage risk in product and process development and avoid unpleasant surprises." *Engineering Management Journal*.

Danilovic, M., and Browning, T. (2007). "Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices." *International Journal of Project Management*, 25, 300-314.

Dibben, C., and Chester, D. K. (1999). "Human vulnerability in volcanic environments: the case of Furnas, Sao Miguel, Azores." *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92, 133-150.

Dickinson, M. W., Thornton, A. C., and Graves, S. (2001). "Technology portfolio management: Optimizing interdependent projects over multiple time periods." *IEEE Transactions on Engineering Management* 48, 518-527.

Durand, J. (2007). "Management des risques dans les organisations industrielles complexes : prépondérance de la dimension managériale dans la genèse des vulnérabilités."

Dvir, D., Lipovetsky, S., Shenhar, A., and Tishler, A. (2003). "What is really important for project success." *International Journal of Management and Decision Making*, 4(4), 382-404.

Dvir, D., Lipovetsky, S., Shenhar, A., and Tishler, A. (1998). "In search of project classification: a non-universal approach to project success factors." *Research Policy*, 27(9), 915-935(21).

Earl, C., Johnson, J., and Eckert, C. "Complexity in planning design processes." 13th International Conference on Engineering Design, Glasgow, Scotland.

Eckert, C., Clarkson, J., and Zanker, W. (2004). "Change and customisation in complex engineering domains." *Research in Engineering Design*, 15(1), 1-21.

Edmonds, B. (1999). "Syntactic measures of complexity," philosophy University of Manchester, Manchester.

Eilat, B., Golany, A., and Shtub, I. (2006). "Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: A DEA based methodology." *European Journal of Operational Research*(172), 1018-1039.

Eppinger, S., and Salminen, V. "Patterns of product development interactions." International Conference on Engineering Design, Glasgow, Scotland.

- Eppinger, S., Whitney, D. E., and Gebala, D. A. "Organizing the tasks in complex design projects: development of tools to represent design procedures." NSF Design and Manufacturing Systems Conference, Atlanta GA, 301-309.
- Eppinger, S., Whitney, D. E., Smith, R., and Gebala, D. A. (1994). "A model-based method for organizing tasks in product development." *Research in Engineering Design*(6), 1-13.
- Forrester, J. W. (1968). *Principles of Systems*, Wright-Allen Press.
- Gareis, R. (2000). "Managing the project start." *The Gower Handbook of Project Management*, JR Turner and SJ Simister (ed), Gower, Aldershot.
- Giard, V. (1991). *Gestion de Projet*, Economica, Paris.
- Gonzalez, N. (2009). "Contribution à l'amélioration des processus de management de projet par la mesure et l'exploitation du concept de maturité projet. Application à l'industrie automobile," Ecole Centrale Paris.
- Gourc, D. (1999). "Le management des risques en contexte projet : Quelles problématiques ?" Ecole des Mines d'Albi-Carmaux.
- Haas, K. (2008). "Introducing the New Project Complexity Model - Management Concepts."
- Haller, M. (1976). "Les objectifs du Risk Management." *Les cahiers de Genève*, n°2.
- Heylighen, F., Cilliers, P., and Gershenson, C. (2006). "Complexity and Philosophy." *Complexity, Science and Society*, E. Radcliffe., ed.
- Holder, R. D. (1990). "Some comments on the analytic hierarchy process." *Journal of Operational Research Society*, 41(11), 1073-1076.
- Hollnagel, E. (2011). « Toward the Resilient Organization ». Inauguration de la chaire « Industrial Safety », Mines-ParisTech, France.
- IEC. (1995). CEI/IEC 300-3-9:1995 Risk Management: part 3 – guide to risk analysis of technological systems, International Electrotechnical Commission, Geneva.
- IEEE. (2001). IEEE Standard 1540-2001: standard for software life cycle processes – risk management, Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York.
- IPMA. (2006). IPMA Competence Baseline (ICB), Version 3.0, March 2006 International Project Management Association.
- ISO 31000 (2009), *Management du risque – Principes et lignes directrices de mise en application*.
- Jaafari, A. (2003). "Project management in the age of complexity and change." *Project Management Journal*, 34(4), 47-57.
- Kaimann, R. (1974). "Coefficient of network complexity." *Management Science*, 21(2), 177.
- Karsky, M. (1997). *Complex system dynamics or engineer's systemics*.
- Kelly, P. M., and Adger, W. N. (1999). "Assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation." Centre for Social & Economic Research on the Global Environment, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, U.K.

Kerzner, H. (2003). *Project management: A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling* New York: John Wiley & Sons.

Kutsch, and Hall. (2005). "Intervening conditions on the management of project risk: Dealing with uncertainty in information technology projects." *International Journal of Project Management*, 23(8), 591-599.

Latva-Koivisto, A. (2001). "Finding a complexity measure for business process models." Research report Helsinki University of Technology, Systems Analysis Laboratory.

Laurikkala, H., Puustinen, E., Pajarre, E., and Tanskanen, K. "Reducing complexity of modelling in large delivery projects." 13th International Conference on Engineering Design, Glasgow, Scotland.

Ledet, W., and Himmelblau, D. (1970). "Decomposition procedures for the solving of large scale systems." *Advances in Chemical Engineering*, 8, 185-224.

Lee, E., Park, Y., and Shin, J. (2008). "Large engineering project risk management using a Bayesian Belief Network." *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5880-5887.

Liesiö, J., Mild, P., and Salo, A. (2008). "Robust Portfolio Modeling with Incomplete Cost Information and Project Interdependencies." *European Journal of Operational Research*(190), 679-695.

Lindkvist, L. (2008). "Project management: exploring its adaptation properties." *International Journal of Project Management*, 26(1), 13-20.

Linsey, J. S., Tseng, I., Fu, K., Cagan, J., Wood, K. L., and Schunn, C. (2010). "A study of design fixation, its mitigation and perception in engineering design faculty." *Journal of Mechanical Design*, 132.

Luers, A., Lobell, D., Sklar, L. S., Addams, C. L., and Matson, P. M. (2003). "A method for quantifying vulnerability, applied to the Yaqui Valley, Mexico." *Global Environmental Change*, 13, 255-267.

Lyons, T., and Skitmore, M. (2004). "Project risk management in the Queensland engineering construction industry: a survey." *International Journal of Project Management*, 22(1), 51- 61.

Marle, F. (2002). "Modèle d'informations et méthodes pour aider à la prise de décision en management de projets," Ecole Centrale Paris, Paris.

Meijer, B. (2002). "Reducing complexity through organisational structuring in manufacturing and engineering." *Tackling industrial complexity : the ideas that make a difference*, F. G. R. H. (Ed.), ed., Cambridge: Institute for Manufacturing, Cambridge, 183-192.

Meszaros, C., and Rapcsak, T. (1996). "On sensitivity analysis for a class of decision systems " *Decision Support Systems*, , 16(3), 231-240. .

Mikkola, J. H. (2001). "Portfolio management of R&D projects: Implications for innovation management." *Technovation*, 21, 423-435.

Mora, S. (2009). "Disasters are not natural: risk management, a tool for development." *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications 2009*, 22, 101-112.

Moscowitz, A. "Pilote de projet et complexité." 6e Congrès européen de science des systèmes.

Nassar, K., and Hegab, M. (2006). "Developing a complexity measure for project schedules." *Journal of Construction Engineering and Management*

- Parsons-Hann, H., and Liu, K. (2005). "Measuring requirement complexity to increase the probability of project success."
- Penalva, J.-M. (1997). "La modélisation par les systèmes en situations complexes," Parix XI Orsay Paris.
- Perry, M., Dulio, A., and Cubanski, J. (2006). Voices of beneficiaries: Medicare Part D insights and observations one year later, Kaiser Family Foundation report.
- Pich, T., Loch, C. H., and De Meyer, A. (2002). "On uncertainty, ambiguity, and complexity in project management." *Management Science*, 48(8), 1008-1023.
- PMI, S. C. (2008). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK) (2008 ed.), Project Management Institute., Newton Square, PA, USA. .
- Power, D. J., and Sharda, R. (2007). "Model-driven decision support systems: Concepts and research directions." *Decision Support Systems*, 43(3), 1044-1061.
- Prigogine, I. (1996). *La fin des certitudes*, Odile Jacob.
- Raz, T., and Hillson, D. (2005). "A comparative review of risk management standards." *Risk Management: An international journal*, 7 (4), 53-66.
- Rowe, W. D. (1977). *An anatomy of risk*, Wiley.
- Saaty, T. (1980 ). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill.
- Saltelli, A., Chan, K., and Scott, E. M. (2000). *Sensitivity Analysis.* , John Wiley & Sons.
- Schlundwein, S., and Ison, R. (2005). "Human knowing and perceived complexity: implications for systems practice." *Emergence: complexity & organisation*, 6(3), 19-24.
- Schmidt, R. L. (1993). "A model for R&D project selection with combined benefit, outcome and resource interactions." *IEEE Transactions on Engineering Management*, 40, 403-410.
- SEI. (2006). *Standard CMMI® Appraisal Method for Process Improvement (SCAMPI), Version 1.1: Method Implementation Guidance for Government Source Selection and Contract Process Monitoring*, Software Engineering Institute (SEI).
- Shannon, C. E. (1948). "The mathematical theory of communication." *Bell Systems Technological Journal*,(27), 379-423.
- Shenhar, A. (2004). "Strategic Project Leadership: Toward a Strategic Approach to Project Management." *R&D Management*(34), 569-578.
- Shenhar, A. J. (2007). "Introduction." *Linking Project Management to Business Strategy*, A. J. Shenhar, Milosevic, D., Dvir D. and Thamhain, H. (Eds.), ed., Project Management Institute, Newtown Square, Pennsylvania.
- Shenhar, A. J., and Dvir, D. (2007). *Reinventing Project Management - The diamond approach to successful growth and innovation*, Harvard Business School Press.
- Simon, H. (1981). *The Sciences of the artificial*, The MIT Press, Cambridge

- Sinha, S., Thomson, A. I., and Kumar, B. "A complexity index for the design process." International Conference on Engineering Design, Glasgow, 157-163.
- Skilton, P., and Dooley, K. (2010). "The effects of repeat collaboration on creative abrasion." *Academy of Management Review*, 35(1), 118-134.
- Sosa, M. (2008). "A structured approach to predicting and managing technical interactions in software development." *Research in Engineering Design*.
- Sosa, M., Eppinger, S., and Rowles, C. (2004). "The Misalignment of product architecture and organizational structure in complex product development." *Management Science*, 50(12), 1674-1689.
- Sosa, M. E. (2010). "Where do creative interactions come from? The role of tie content and social networks." *Organization Science*.
- Sosa, M. E., and Marle, F. "Forming creative teams : an experimental approach." ASME DETC / CIE 2010, Montréal, Canada.
- Steffens, W., Martinsuo, M., and Arto, K. (2007). "Change decisions in product development projects." *International Journal of Project Management*, 25(7), 702-713.
- Sternberg, R. B. (1999). *Handbook of Creativity*, Cambridge University Press.
- Steward, D. (1981). "The Design Structure Matrix: a method for managing the design of complex systems." *IEEE Transactions in Engineering Management*, 28(3), 71-74.
- Temperley, H. (1981). *Graph Theory and applications*, Ellis Horwood Ltd., England.
- Von Bertalanffy, L. (1972). *Théorie Générale des Systèmes*, Dunod, Paris.
- Ward, S. C. (1999). "Assessing and managing important risks." *International Journal of Project Management*, 17(6), 331-336.
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics*, Cambridge, MIT Press.
- Williams, T. (2002). *Modelling Complex Projects*, John Wiley & Sons Ltd.
- Williams, T. M. (1999). "The need for new paradigms for complex projects." *International Journal of Project Management*, 17(5), 269-273.
- Zhang, H. (2007). "A redefinition of the project risk process: Using vulnerability to open up the event-consequence link." *International Journal of Project Management*, 25(7), 694-701.
- Zika-Viktorsson, A., and Ritzen, S. (2005). "Project competence in product development." *Research in Engineering Design*, 15, 193-200.

## 8. FICHES DE PRESENTATION DES THESES

### 8.1. THESE DE FRANCK MARLE (2002)

#### Composition du jury

Thèse soutenue le 25 novembre 2002 devant un jury composé de<sup>7</sup> :

M. Michel TOLLENAERE (*rapporteur*) Professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble

M. Christophe BREDILLET (*rapporteur*) Professeur à l'Ecole Supérieure de Commerce de Lille

M. Christophe MIDLER (*président*) Professeur à l'Ecole Polytechnique

M. Daniel COLAS Société PSA Peugeot-Citroën

Mme Anne-Marie EHRHARD Société Bull

M. Jean-Claude BOCQUET (*directeur*) Professeur à l'Ecole Centrale Paris

#### Titre du mémoire :

Modèle d'informations et méthodes pour aider à la prise de décision en management de projet

#### Résumé :

L'augmentation des contraintes de coût, délai et qualité, et de la complexité des projets rend de plus en plus difficile la visualisation, et donc la compréhension de ce qui se passe et de ce qu'il faut faire.

À partir d'informations incomplètes et peu sûres et sous une pression constante, il est difficile aujourd'hui de prendre des décisions fiables, notamment dans l'élaboration du projet, ce qui peut avoir de graves conséquences sur le succès du projet.

---

<sup>7</sup> Les fonctions et lieux d'exercice sont ceux de 2002

Le travail de recherche, appliqué chez PSA Peugeot-Citroën, a donné les résultats suivants :

- Création d'un référentiel projet qui identifie les objets constituant un projet et son environnement, les interactions entre ces objets, à l'intérieur d'un projet ou entre projets ou entre projets et autres entités, et les caractéristiques internes de description de ces objets,
- Description de trois opérateurs de base de l'élaboration de projet, qui contribuent à rationaliser les méthodes de conception de projet,
- Intégration de ces informations et méthodes dans un support unique qui :
  - Formalise une information jusque là pas toujours disponible, sur les interactions que chacun a avec son environnement direct, et sur les caractéristiques décrivant la situation de chacun,
  - Structure cette information en un format standard, permettant une interactivité et une représentation graphique poussée tenant en un écran (1 A4),
  - Aide à la prise de décision;
    - par l'apport d'informations supplémentaires et plus fiables,
    - par l'apport de méthodologie pour le déroulement des processus de décision dans l'élaboration de projet, à savoir pour la décomposition, l'affectation et la gestion de l'état d'avancement. Cela fiabilise le processus de décision,
  - Met en relation des personnes et crée des échanges, voire des réseaux qui permettent d'étudier notamment des chaînes d'influence et de contribution, ce qui contribue à décloisonner les métiers et les supports de communication, du type organigramme des tâches ou planning,
  - Permet de mieux évaluer l'impact d'un changement ou d'une décision, par la visualisation des réactions en cascade initiées par les interactions identifiées,
  - Permet de partager les représentations et les perceptions des personnes, afin de profiter de la richesse qu'il y a à récupérer des autres.

### **Mots-clés :**

*Management de projet ; structuration d'informations ; méthodes d'aide à la décision ; gestion des interfaces.*

## 8.2. THESE NYDIA GONZALEZ (3 DECEMBRE 2009)

### Composition du jury

Thèse soutenue le 3 décembre 2009 devant un jury composé de<sup>8</sup> :

M. <u>Philippe GIRARD</u>	( <i>rapporteur</i> )	Professeur à l'Institut National Polytechnique de Bordeaux
M. <u>Hervé PINGAUD</u>	( <i>rapporteur</i> )	Professeur à l'Ecole des Mines d'Albi-Carneau
M. <u>Alain BERNARD</u>	( <i>président</i> )	Professeur à l'Ecole Centrale de Nantes
M. <u>Serge RIPAILLES</u>		Société PSA Peugeot-Citroën
M. <u>Franck MARLE</u>	( <i>co-directeur</i> )	Ecole Centrale Paris
M. <u>Jean-Claude BOCQUET</u>	( <i>directeur</i> )	Professeur à l'Ecole Centrale Paris

### Titre du mémoire :

Contribution à l'amélioration des processus à travers l'utilisation de la maturité projet : application à l'automobile

### Résumé :

Le travail de recherche présenté dans ce document concerne l'amélioration de processus de développement d'un projet à travers la mesure de la maturité. Un projet est mature si l'ensemble des processus qui le composent est maîtrisé et permet d'atteindre les objectifs fixés, cette maîtrise se contrôlant au fur et à mesure de l'avancement du projet. Des modèles existants sont utilisés pour mesurer la maturité, cependant, une des difficultés que nous avons retrouvée dans leur utilisation et leur application est le « temps » de mise en place des pratiques pour accroître la maturité, ce qui ne permet pas de mesurer la maturité pendant le cycle de vie d'un projet. D'autre part, les modèles se limitent à donner une note en maturité et à décrire ce que l'organisation doit faire mais pas comment elle doit le faire. Nous pensons donc qu'il est nécessaire de définir non seulement un modèle de maturité pour effectuer une évaluation mais aussi d'exploiter les résultats afin de proposer des plans d'actions qui seront adaptés à chaque type de résultat obtenu. Pour répondre donc à notre problématique de recherche, nous avons proposé un « Système de Mesure et d'Exploitation de la Maturité de Projets » (SMEMP). Les contributions de ce travail de thèse sont présentées d'un point de vue scientifique et industriel. D'un point de vue scientifique, SMEMP propose une nouvelle démarche (basée sur l'approche systémique) qui consiste à mesurer et exploiter la maturité d'un projet durant son cycle de vie, dans l'objectif d'améliorer ses processus de développement. Il peut donc être utilisé comme outil d'aide à la conception de processus projet. Il apporte également des contributions aux modèles de maturité existants en intégrant de nouveaux concepts sur la mise en œuvre de plans d'actions (dans une logique PDCA). D'un point de vue industriel, notre proposition et sa mise en œuvre permettent à l'entreprise d'adapter SMEMP à ses projets et ses processus en cohérence avec son système de pilotage.

### Mots-clés :

*Management de projet ; processus ; maturité ; amélioration continue ; lean development*

---

<sup>8</sup> Les fonctions et lieux d'exercice sont ceux de 2009

### 8.3. THESE LUDOVIC-ALEXANDRE VIDAL (17 DECEMBRE 2009)

#### Composition du jury

Thèse soutenue le 17 décembre 2009 devant un jury composé de<sup>4</sup> :

M. <u>Didier GOURC</u>	( <i>rapporteur</i> )	MdC-HDR à l'Ecole des Mines d'Albi-Carneau
M. <u>Rémy GAUTIER</u>	( <i>rapporteur</i> )	MdC-HDR à l'ENSAM Aix-en-Provence
M. <u>Germain LACOSTE</u>	( <i>président</i> )	Professeur à l'Université de Toulouse
M. <u>Guy-Jacques BARLET</u>		Alstom Transport
M. <u>Franck MARLE</u>	( <i>co-directeur</i> )	Ecole Centrale Paris
M. <u>Jean-Claude BOCQUET</u>	( <i>directeur</i> )	Professeur à l'Ecole Centrale Paris

#### Titre du mémoire :

Thinking project management in the age of complexity

#### Résumé :

Un projet est un effort temporaire et unique entrepris pour fournir un résultat. Ce résultat est toujours un changement pour l'organisation, qu'il prenne effet dans ses processus, sa performance, ses produits ou services. De nombreux manques ont été détectés tant dans le monde industriel que dans le monde académique dans la mesure où les paramètres usuels (délai, coût, qualité) ne sont clairement plus suffisants pour permettre de décrire et gérer le projet à un instant t. Dès lors, les méthodes actuelles ne sont plus suffisantes pour répondre aux enjeux grandissant de la complexité projet, source de nombreux risques.

Cette thèse de doctorat propose de penser le management de projet dans ces contextes de complexité en cherchant à comprendre comment des aspects liés à la complexité peuvent être intégrés plus efficacement dans les pratiques de management de projet, et plus particulièrement dans le processus de management des risques projets. Elle commence par définir les concepts nécessaires puis vise à décrire dans un premier temps ce qu'est la complexité projet grâce à l'élaboration d'un référentiel de complexité projet. Ce référentiel est ensuite raffiné à travers la réalisation d'une étude Delphi internationale. Ce référentiel raffiné permet alors de construire une structure hiérarchique de type Analytic Hierarchy Process (AHP) et d'en déduire un indicateur relatif de complexité projet. En pratique cette approche permet notamment d'identifier les projets les plus complexes à l'intérieur d'un portefeuille ou les zones les plus complexes à l'intérieur d'un projet, afin d'assister le management de projets complexes. Ensuite, ce rapport a l'ambition de décrire les conséquences de la complexité projet et de comprendre en quoi les méthodes actuelles de management des risques projet ne permettent pas de prendre en compte convenablement certains effets de la complexité. Cette thèse de doctorat propose alors deux approches innovantes pour assister le management des risques des projets complexes. La première est une approche fondée sur la pensée systémique et qui repose sur l'introduction du concept de vulnérabilité projet. La seconde se fonde quant à elle principalement sur une approche analytique dont l'ambition est de regrouper les risques en fonction de leur niveau d'interaction potentielle (en termes de possibilité de relation de cause à effet) afin de faciliter la coordination. L'ensemble des résultats est testé et illustré grâce à des études de cas diverses (dans les secteurs de l'industrie automobile, pharmaceutique, du spectacle et de la construction).

**Mots-clés :** *Projet, Management de Projet, Complexité, Risque, Aide à la décision, Analyse systémique, AHP, Vulnérabilité, Partitionnement de graphe.*

## 9. FICHES DE PRESENTATION DES PUBLICATIONS (ACCEPTÉES OU SOUMISES)

Elles sont listées dans un ordre qui correspond à la chronologie du mémoire. Seule une fiche signalétique est donnée, avec résumé et mots-clés.

## 9.1. KYBERNETES - UNDERSTANDING PROJECT COMPLEXITY : IMPLICATIONS ON PROJECT MANAGEMENT

**Vidal et Marle (2008) - Publié**



Cet article correspond à la réflexion préliminaire sur la complexité projet (section 2.2 page 42) qui a abouti à la première version du référentiel, présenté en section 3.1 (page 58).

Il a été écrit dans le cadre de la thèse Ludovic-Alexandre VIDAL.

### **Abstract**

*Purpose* : Better identify, define and model complexity within the field of project management in order to manage better under conditions of complexity (and manage better complexity-induced risks).

*Design / Methodology / Approach* : A large literature review enlightens the lack of consensus on project complexity and thus provides a broad view and a critical analysis of the underlying concepts. A project complexity framework and definition are then proposed. After underlining the stakes of project complexity in accordance with these proposals, a project complexity model is then built notably thanks to systems analysis.

*Findings* : Proposal of standard project complexity framework and definition. Proposal of a synthesis of the relationships between the concepts of project uncertainty and project complexity. Proposal of a project complexity model (and validation thanks to industrial application).

*Research limitations / implications* : The literature review and project complexity framework tries to be exhaustive even though it is likely to be completed. The final version of the model is still to be computed and tested.

*Practical implications* : Avoid confusion when defining and managing a complex project, particularly between project team members (and as a consequence improve communication and information sharing). Better assess the propagation of a change within the project.

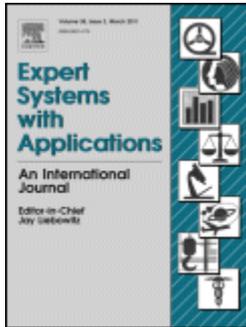
*Originality / Value* : The paper proposes an original framework and definition of project complexity. The complexity model permits the navigation from any element of the project to any other (when detail is needed) and is as a consequence original and complementary with traditional project management models and tools.

### **Keywords**

*Project management ; complexity ; uncertainty ; risk ; modelling ; systems analysis.*

## 9.2. EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS – USING A DELPHI PROCESS AND THE AHP TO EVALUATE THE COMPLEXITY OF PROJECTS

Vidal, Marle et Bocquet (2010) - Publié



Cet article correspond à une version plus élaborée du référentiel présenté en section 3.1 (pages 58 et suivantes), avec une application à des projets **Renault** et une analyse plus poussée de sensibilité.

Il a été écrit dans le cadre de la thèse Ludovic-Alexandre VIDAL.

doi:10.1016/j.eswa.2010.10.016

### Abstract

Project complexity is ever growing and needs to be understood, analysed and measured better to assist modern project management. The overall ambition of this paper is therefore to define a measure of project complexity in order to assist decision-making, notably when analysing several projects in a portfolio, or when studying different areas of a project. A synthesised literature review on existing complexity measures is firstly proposed in order to highlight their limitations. Then, we identify the multiple aspects of project complexity thanks to the construction and refinement of a project complexity framework thanks to an international Delphi study. We then propose a multi-criteria approach to project complexity evaluation, underlining the benefits of such an approach. In order to solve properly this multi-criteria problem, we first conduct a critical state of the art on multi-criteria methodologies. We then argue for the use of the Analytic Hierarchy Process. In the end, this tool permits to define a relative project complexity measure, which can notably assist decision-making. Complexity scales and subscales are defined in order to highlight the most complex alternatives and their principal sources of complexity within the set of criteria and sub-criteria which exist in the hierarchical structure. Finally, a case study within a start-up firm in the entertainment industry (musicals production) is performed. Conclusions, limitations and perspectives of research are given in the end.

### Keywords

*Project ; Complexity ; Delphi process ; Evaluation ; Multi-criteria ; Analytic Hierarchy Process (AHP)*

### 9.3. IJ OF TECHNOLOGY AND MANAGEMENT - BUILDING UP A PROJECT COMPLEXITY FRAMEWORK USING AN INTERNATIONAL DELPHI STUDY

Vidal et Marle - Version 2 acceptée avec révisions mineures en novembre 2011



Cet article correspond à une description plus précise du processus Delphi ayant permis d'obtenir le référentiel présenté en section 3.1 (pages 58 et suivantes), avec une exploitation selon différents angles (par type d'expertise, par genre, ...) des résultats statistiques de l'étude.

Il a été écrit dans le cadre de la thèse Ludovic-Alexandre VIDAL.

#### Abstract

Project management has spread around the world to become what it is today, that is to say a set of theories, principles, methodologies and practices. Past research works argue for a paradigm shift so that one could focus more on project complexity to manage projects more efficiently. However, there is a lack of consensus on what project complexity is, which makes it difficult to understand it good. As a consequence, this article reviews the literature in order to build a standardized project complexity framework. Then, it describes how a Delphi study was conducted over a panel of academic and industrial experts to refine it. Further on, it draws some conclusions regarding project complexity factors perception, functions of expertise type (academic/industrial experts, gender study). Finally, after a correlation study based on the Spearman Rank, some perspectives are given to illustrate the applications of the project complexity framework which is built.

#### Keywords

*Project management; complexity; systems analysis; Delphi methodology; position; gender; expert systems; Spearman Rank; measure; Analytic Hierarchy Process.*

#### 9.4. IJ OF PROJECT MANAGEMENT – MEASURING PROJECT COMPLEXITY USING AN AHP-BASED APPROACH

**Vidal et Marle (2010) - Publié**



Cet article correspond à une exploitation du référentiel de complexité sous forme d'un outil de mesure de cette complexité, présenté en section 4.2.2 (pages 82 et suivantes), avec une application chez **Tachyon Productions**.

Il a été écrit dans le cadre de la thèse Ludovic-Alexandre VIDAL.

doi:10.1016/j.ijproman.2010.07.005

##### **Abstract**

Project complexity is ever growing and needs to be understood and measured better to assist modern project management. The overall ambition of this paper is therefore to define a measure of project complexity in order to assist decision-making. A synthesised literature review on existing complexity measures is proposed in order to highlight their limitations. Then, we identify the multiple aspects of project complexity. We then propose a multi-criteria approach to project complexity evaluation, through the use of the Analytic Hierarchy Process. In the end, it permits to define a relative project complexity measure. Complexity scales and subscales are defined in order to highlight the most complex alternatives and their principal sources of complexity within the set of criteria and sub-criteria which exist in the hierarchical structure. Finally, a case study within a start-up firm in the entertainment industry is performed. Conclusions and research perspectives are given in the end.

##### **Keywords**

*Project; Complexity; Evaluation; Multi-criteria; Analytic Hierarchy Process (AHP)*

## 9.5. RESS – NETWORK THEORY FOR INDUSTRIAL PROJECT ANALYSIS

Fang, Marle, Zio et Bocquet – Soumis en juin 2011



Cet article correspond à la section 4.2.3 (page 83 et suivantes) qui décrit une autre forme d'analyse que celle étudiant les propagations potentielles.

Il a été écrit dans le cadre de la thèse de Chao Fang. C'était également la première occasion de collaborer avec Enrico Zio récemment arrivé au laboratoire.

### Abstract

Complex engineering projects are exposed to interdependent risks of various nature. In this paper, we present an analysis based on network theory, for identifying key factors in the structure of interrelated risks potentially affecting a project. This original approach serves as a powerful complement to classical project risk analysis. The construction of the risk network requires the involvement of the project manager and other team members assigned to the risk management process. Its interpretation improves their understanding of risks and their potential interactions. The outcomes of the analysis provide a support for decision-making regarding project risk management. An example of application to a real complex engineering project is presented. It concerns the implementation of a complete tramway system in a city, including building the infrastructure, designing and manufacturing rolling stock and associated equipments.

### Keywords

*Project risk management ; complexity ; topological analysis ; decision support system ; network theory*

9.6. INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCT DEVELOPMENT - RISK  
ASSESSMENT METHOD IN PROJECT ACTOR CHOICE

Marle et Le Cardinal (2010) - Publié



Cet article correspond à une analyse de propagation en identification de scénario et proposition d'actions basiques, présentée en section 4.3.2 (pages 86 et suivantes), avec une application chez **PSA Peugeot-Citroën**.

Il a été écrit dans le cadre d'un projet collaboratif avec Julie Le Cardinal.

**Abstract**

The choice of the actors who are assigned to a project is crucial for the project, as it involves a non negligible part of its future performance. Risk analysis mainly focuses on risks which may occur during execution process, and not during this important actor choice process. We argue that it is possible to improve this classical analysis by two additional ways. Firstly, our work identifies the main types of risks which may occur during the decision-making process, focused on actor choice. Secondly, we analyse the potential propagation of a wrong actor choice and its global consequences. We are then able to correct the estimated value of the risk by considering its position as a node in the complex project network. The results obtained with this research are promising in terms of identification of new risks and in terms of reestimation of some risks. This methodology has been applied in two industrial situations, by Vallourec and PSA Peugeot-Citroën.

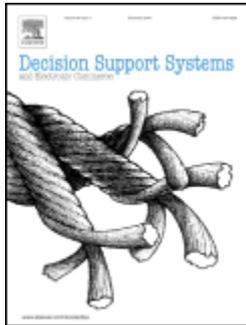
**Keywords**

*Risk management ; project management ; resource assignment ; decision-making process ; interactions*

---

## 9.7. DECISION SUPPORT SYSTEMS - A SIMULATION-BASED RISK NETWORK MODEL FOR DECISION SUPPORT IN PRM

**Fang, Marle et Bocquet – Accepté en octobre 2011**



Cet article correspond à une analyse qualitative de propagation en estimation d'évènements complexes potentiels, présentée en section 4.3.3 (pages 89 et suivantes), avec une application chez **JLSA Prod**. Les actions possibles de prévention et de protection sont identifiées et testées à l'aide du modèle de simulation.

Il a été écrit dans le cadre de la thèse de Chao Fang.

### **Abstract**

This paper presents a decision support system (DSS) for the modeling and the management of project risks and risk interactions. This is a crucial activity in project management, since projects are facing a growing complexity with higher uncertainties and tighter constraints. Existing classical methods have limitations for modeling the complexity of project risks. For example, some phenomena like chain reactions and loops are not properly taken into account. This will influence the effectiveness of decisions in risk response planning and will lead to unexpected and undesired behavior of the project. Based on the concepts of DSS and the classical steps of project risk management, we develop a DSS framework that includes identification, assessment and analysis of the risk network. The nodes are the risks and the edges are the cause and effect potential interactions between risks. The proposed simulation-based model makes it possible to re-evaluate risks and their priorities, to suggest and to test mitigation actions, and then to support project manager making decisions regarding risk response actions. An example of application is provided to illustrate the utility of the model.

### **Keywords**

*Project risk management ; complexity ; risk network ; simulation ; decision support system*

## 9.8. KYBERNETES – A SYSTEMS-THINKING APPROACH FOR PROJECT VULNERABILITY MANAGEMENT

Vidal et Marle – Accepté en septembre 2011



Cet article correspond à la version initiale du travail sur le processus de gestion de la vulnérabilité projet, présenté en section 2.2.4 – « La conséquence : la vulnérabilité du projet » (pages 50 et suivantes) et en section 4.4 – « Diagnostiquer la vulnérabilité du projet » (pages 92 et suivantes), notamment via l'application sur le cas **FabAct**.

Il a été écrit dans le cadre de la thèse de Ludovic-Alexandre VIDAL (section 8.3 page 143).

### Abstract

*Purpose* : This paper aims at developing the concept of project vulnerability in order to focus on the weaknesses of a project system, instead of focusing on risk evaluation only. We then aim at concentrating on a systems thinking based view to highlight the potentially endangered elements of a project, including its outcomes.

*Design/methodology/approach* :

- A broad state of the art in many scientific domains.
- A definition of project vulnerability.
- A description of a project vulnerability management process, including identification, analysis and response plan.
- A test on an industrial case study

*Findings*: Our project vulnerability management process permits to concentrate directly on the existing weaknesses of a project system which may create potential damages regarding the project value creation. By focusing on this system, response plans may be more adapted to the existing lacks of the project.

*Research limitations/implications* : Some aspects of the vulnerability definition should be refined, like the concepts of susceptibility or cruciality. Other promising works may focus on the evaluation of the non-resistance and resilience, notably thanks to the introduction of interdependences which exist in complex projects.

*Practical implications* : A case study was done on a decision support system (called FabACT) developed at Hôpital Européen Georges Pompidou Pharmacy department. The aim of this project was to achieve a better balance between the workload and the efficiency of the compounding unit. Originality/value

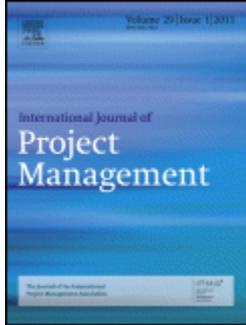
This article presents an innovative way to analyse a project's vulnerability by focusing on its existing weaknesses using a systems thinking-based approach.

### Keywords

*System ; Project ; Risk ; Vulnerability ; Complexity.*

9.9. INTERNATIONAL JOURNAL OF PROJECT MANAGEMENT - PROJECT:  
THE JUST NECESSARY STRUCTURE TO REACH YOUR GOALS

**Le Cardinal et Marle – publié en 2006**



Cet article correspond à la version initiale du travail sur les opérateurs de décomposition et d'affectation d'acteur.

Il a été écrit à la suite de ma thèse et de la thèse de Julie Le Cardinal, dans le cadre d'un projet collaboratif avec elle.

**Abstract**

This paper proposes a definition process of the project structure which should be constructed in order to reach the objectives and to deliver the final results.

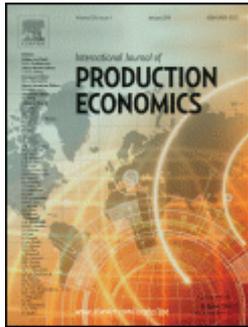
The first part of the paper specifically describes this process, with its inputs, tools and methods and outputs. The inputs of this process, initial situation, objectives and environment, are described in part 2, with research proposals on environment management. Other research proposals about tools and methods are presented in part 3, focused on the topics of scope and activity definition and resource assignment. Concrete propositions stemming from research works and from their application at VALLOUREC and PSA PEUGEOT CITROEN will be presented all along the paper.

**Keywords**

*Managing projects ; processes ; design ; competence assignment ; dysfunctions*

## 9.10. IJ OF PRODUCTION ECONOMICS - INTERACTIONS-BASED RISK CLUSTERING ALGORITHMS FOR COMPLEX PROJECT MANAGEMENT

Marle et Vidal (2010) – Publié



Cet article correspond à la version initiale du travail sur le clustering de risques, présenté en section 5.4 « Agir sur l'organisation du projet pour mieux coordonner certaines décisions » (pages 108 et suivantes), notamment via l'application sur le cas **Spectacle de JLSA Prod'**.

Il a été écrit dans le cadre de la thèse de Ludovic-Alexandre VIDAL (section 8.3 page 143).

### Abstract

Project risks have never been so present. First, projects are dealing with bigger stakes and facing stronger constraints. Moreover, projects must cope with an ever-growing complexity. Risks have then increased in number and criticality. Lists of identified project risks thus need to be decomposed, for smaller clusters are more manageable. Existing techniques are mainly mono-criteria, based on risks parameters such as nature or criticality value. Limits have appeared since project risk interactions are not properly considered. Project interdependent risks are indeed often managed as if they were independent. We thus propose an interactions- based clustering methodology with associated tools and algorithms. Our objective is to group risks, so that the interaction rate is maximal inside clusters and minimal outside. The final objective is to facilitate the coordination of complex projects by reducing interfaces when dealing with risks. We first model project risk interactions through binary matrix and numerical matrix representation. Then we define our objective function. A linear programming algorithm and two approximate iterative ones are then presented. Possible refinement through the concept of interactions similarity is also proposed. A case study in the entertainment industry is finally presented, providing us information and points of comparison for global conclusions and perspectives.

### Keywords:

*Project management ; Risk ; Complexity ; Interactions ; Clustering ; Graph partitioning.*

## 9.11. RESEARCH IN ENGINEERING DESIGN - PRM PROCESSES: IMPROVING COORDINATION USING A CLUSTERING APPROACH

Marle et Vidal (2011) – Publié



Cet article correspond à la version la plus récente et la plus aboutie du travail sur le clustering de risques, présenté en section 5.4.2 (pages 108 et suivantes), notamment via l'application sur le cas **Tramway**.

Il a été écrit dans le cadre d'un projet collaboratif avec Ludovic-Alexandre VIDAL dans le cadre de la valorisation de ses travaux de thèse.

### Abstract

Projects are dealing with bigger stakes and facing an ever-growing complexity. In the first place, project risks have increased in number and criticality. Lists of identified project risks thus need to be broken down into more manageable clusters. Existing techniques for this are generally based on a well-known parameter such as the nature of the risk or its ownership. The limits of this approach are that project risk interactions are not properly considered. Project interdependent risks are thus often analysed and managed as if they were independent. The consequence is that there may be a lack of consideration of potential propagation through this risk network. A change may have dramatic consequences if the propagation chain is not clearly identified and/or not managed. Our objective in this paper is to propose a methodology for grouping risks so that the project risk interaction rate is maximal inside clusters and minimal outside. What we hope to achieve is a method which facilitates the coordination of complex projects which have many interrelated risks with many different risk owners. We contend that the capacity of risk owners to communicate and make coordinated decisions will be improved if they are grouped in such a way. This proposed reconfiguration of organisation is complementary to existing configurations. To do this, we first model project risk interactions through matrix representations. Then, the mathematical formulation of the problem is presented and two heuristics are introduced. A case study in the civil engineering industry (a large infrastructure public-private partnership project) is presented, which enables us to propose global recommendations, conclusions and perspectives.

### Keywords

*Project risk management; Change management; Complex Interactions; Organisational reconfiguration; Clustering*

## 9.12. JOURNAL OF MECHANICAL DESIGN – A STRUCTURED APPROACH TO FORMING CREATIVE TEAMS

Sosa et Marle – Soumis en juin 2010



Cet article correspond à la section 5.4.3 (pages 112 et suivantes), pour laquelle de nombreux détails ont déjà été inclus.

Il a été écrit dans le cadre du projet collaboratif avec Manuel SOSA de l'INSEAD.

### Abstract

Creativity is strongly influenced by the way individuals are organized. One of the most difficult and important challenges when managing innovation is to identify the individuals within an organization who must work closely with each other in order to maximize the generation of creative ideas. This paper introduces a structured approach to guide managers of new product development organizations on their decisions to form a temporary team (or task force) from which creative solutions would be demanded. Our approach exploits the notion of creative interactions, which recognizes that people trigger the generation of creative ideas when interacting with each other for task-related matters. Our approach is structured in three basic steps: (1) capturing the current organizational structure; (2) measuring creative dyadic interactions; and (3) forming clusters of creatives. The intent of our approach is to identify groups of individuals within the organization who have a history of triggering the generation of creative ideas when interacting with each other. The basic premise underlying this approach is that the occurrence of past creative interactions predicts the occurrence of creative interactions in future design efforts. We design an experiment to test this hypothesis with participants in an Executive MBA program. We then illustrate our approach by implementing it in the new product development department of a European software firm, and we discuss the organizational implications of implementing this approach.

### Keywords

*Creativity; design teams; new product development organizations; clustering algorithms*

### 9.13. EJOR– CONSTRUCTION OF PORTFOLIO CONSIDERING EFFICIENCY, STRATEGIC EFFECTIVENESS, BALANCE AND PROJECT INTERACTIONS

Canbaz et Marle – soumis en juin 2010



Cet article présente le modèle d'optimisation de portefeuille de projets en tenant compte du paramètre spécifique et récurrent dans nos travaux qui sont les interactions (section 5.1, pages 98 et suivantes). Ces informations sont également utiles dans la perspective de développement d'optimisation de portefeuilles d'actions de gestion de risques, présenté brièvement en Perspectives (section 5.3.5 page 107 et section 6.2 page 122).

Il a été écrit dans le cadre du mémoire thématique de master recherche de Baris Canbaz.

#### Abstract

Organizations have several strategic objectives, which several different projects will contribute to. Managing these projects in structures called portfolios, programs or platforms may help to enhance both efficient resource use and the strategic effectiveness of outcome delivery. Projects can have positive or negative interactions, known as synergies or cannibalization. Selecting and executing the right combination of projects while taking into account their interactions will improve the performance of the project portfolio, in terms of efficiency, balance and strategic effectiveness. The portfolio selection is formulated in this paper as a mono-objective nonlinear binary programming problem. The objective contains information about both the outputs delivered by the projects and the inputs that they consume. We formulate constraints about balance, efficiency and strategic effectiveness of the portfolio. Our focus is on the integration of interactions in the selection problem, both in the objective formulation and in the definition of constraints. This formulation of the problem generates new portfolio solutions that can be compared with the solutions proposed when projects are considered as independent. A numerical example is proposed to illustrate the model.

#### Keywords

*Project management; Project portfolio selection; Project interactions; Nonlinear programming; Constraints satisfaction*

## 9.14. IJ OF PROJECT ORGANISATION AND MANAGEMENT - AN ANALYSIS OF PRM METHODS IN ORDER TO ASSIST THEIR SELECTION

Marle et Gidel – Accepté en août 2011



Cet article présente les alternatives (méthodes de gestion des risques projet) et les critères de sélection correspondant à la section 5.2 (page 101).

Il a été écrit dans le cadre du projet collaboratif avec Thierry Gidel de l'UTC.

### Abstract

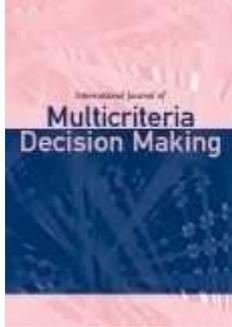
Projects have spread into companies and are more than ever exposed to risk, because of tight constraints, uncertainty, complexity and change. Risk management thus plays an important role in project management. Since there are more and more available methods in the literature, it has become increasingly difficult to choose the right one. Our objective in this paper is to introduce and analyze the main existing Project Risk Management (PRM) methods and to provide decision-makers with a model to assist them to select one of these methods for their projects. To do this, we first investigate the existing methods in the PRM field and the criteria that should be considered for the selection. Secondly, we propose a simple Multi Criteria Decision Making (MCDM) model which screens out inadequate methods and ranks remaining alternatives. An application for one example is presented and some conclusions and perspectives are drawn.

### Keywords

*Risk identification; risk analysis; multi-criteria decision-making; project management; fuzzy numbers; method choice*

## 9.15. IJ OF MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING – A MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING PROCESS FOR PRM METHOD SELECTION

Marle et Gidel – Accepté en mai 2011



Cet article correspond à la section 5.2 (page 101) comme l'article 9.14 (IJ of Project Organisation and Management - An analysis of PRM methods in order to assist their selection). Celui-ci focalise sur le modèle de décision multi-critères et non pas sur la description des données qui alimentent ce modèle.

Il a été lui aussi écrit dans le cadre du projet collaboratif avec [Thierry Gidel](#) de l'UTC.

### Abstract

With projects facing tight constraints, uncertainty and change, they are more than ever exposed to risk. It has thus become increasingly important to effectively and efficiently manage project risks. Project risk management thus plays an important role in the quality and reliability of decisions made during a project. Our objective in this paper is to provide a project office manager or a project manager with one or more adequate Project Risk Management (PRM) methods. To do this, we propose a structured approach based on a multi-criteria decision analysis model to select these methods. Firstly, we propose a list of alternative PRM methods and a list of selection criteria. Secondly, we capture, by interviewing decision-makers, data about their organization and their preferences. Fuzzy numbers are used to express the relative importance of the criteria. Thirdly, the selection process is run by screening out inadequate methods and by ranking remaining alternatives. An application for one example is presented.

### Keywords

*Multi-criteria decision-making; fuzzy numbers; method selection; project risk management; risk identification; risk analysis; group decision-making; preference modeling*

## 9.16. IJ OF PROJECT ORGANISATION MANAGEMENT – A STRUCTURED APPROACH TO MANAGING INTERACTIONS BETWEEN PROJECT RISKS

Marle – Accepté en juin 2011



Cet article correspond à la synthèse des travaux sur le cas Tramway, déjà évoqué dans différentes sections du mémoire.

Il a été écrit seul dans le cadre de la rédaction de ce mémoire, ce qui a permis d'aider à sa structuration.

### Abstract

This paper presents a structured Project Risk Interactions Management (PRIM) process designed to make risk response planning decisions taking into account the complex interactions that potentially exist between project risks. Projects are facing tight constraints, uncertainty and change. Moreover, they are dealing with higher stakes and an ever-growing complexity, which implies that they are more than ever exposed to risks, and that these risks are strongly interrelated. Existing classical methods have some limitations for modeling and managing the project complexity, mainly the interactions that may exist between project risks. We propose to include the identification, assessment and analysis of these interactions into the classical Project Risk Management (PRM) process. This analysis gives new insights for risk response planning decisions. The strategies are always mitigation, acceptance, transfer or avoidance, but the risks which are defined as the most critical ones may be slightly different. There may also be innovative decisions, like breaking propagation transitions between interrelated risks, instead of acting on the risk itself. This process assists the project manager making decisions regarding risk response planning by providing new insights about the potential phenomena involved by complexity, about the internal weaknesses to cope with this complexity, and about the potential effectiveness of proposed mitigation actions. An example of application is detailed to illustrate the validity and the implementation issue of the process.

### Keywords

*Project risk management ; Complexity ; Interactions ; Propagation analysis ; Clustering*



## AIDE A LA GESTION DES RISQUES ET VULNERABILITES INDUITS PAR LA COMPLEXITE

### *Application à la conception et au pilotage de projets complexes et (donc) risqués*

Un des problèmes majeurs aujourd'hui avec la complexité des projets est qu'un certain nombre de phénomènes échappe à la capacité de gestion des décideurs dans le projet. Il y a des risques qui sont générés par la complexité du projet et les risques eux-mêmes sont reliés par des liens complexes. Cela entraîne un certain nombre de surprises, en général mauvaises, pour les décideurs. Il y a globalement une incapacité à maîtriser la trajectoire du système projet, car elle est perturbée par la complexité, et le système de management est lui-même perturbé par cette complexité. Cela se manifeste à différents moments, que ce soit pour la détection ou l'anticipation d'événements perturbateurs, ou pour la prévention ou protection ou réparation du système face à ces événements. Cela se traduit par des défaillances, des pertes et des gaspillages, à la fois sur la performance du projet (retards, surcoûts, etc...), mais également sur la performance du système résultant du projet (qualité, prix de revient, fiabilité, etc...).

Pour remédier à cela, nous allons nous attaquer au sein de cette Habilitation à Diriger les Recherches à la problématique suivante : « comment diagnostiquer et traiter la vulnérabilité du système projet face à sa complexité, afin de maîtriser son évolution sur une trajectoire acceptable et vers un objectif acceptable ? »

Cela se traduit par l'élaboration d'un processus de gestion de la vulnérabilité projet face à sa complexité qui se décline en trois parties :

- Modéliser la complexité du système projet.
- Analyser les comportements possibles du système projet, ceci afin de mieux anticiper les phénomènes de propagation et de diagnostiquer la vulnérabilité du projet par rapport à sa complexité.
- Aider à la prise de décision pour maintenir ou remettre le projet sur une trajectoire l'emmenant vers l'atteinte de ses objectifs, en tenant compte de sa complexité.

Ces trois parties s'enchaînent, puisque les décisions reposent en partie sur les analyses complémentaires que nous proposons, elles-mêmes supportées par le modèle de description de la complexité du projet que nous introduisons.

L'apport scientifique principal de ces travaux se situe dans la prise en compte de la complexité dans la prise de décision. D'une part, cela génère de nouvelles alternatives de décision car les analyses de risques que nous proposons fournissent des conclusions sensiblement différentes des analyses classiques. D'autre part, l'impact de la décision est lui-même étudié à travers le filtre de la complexité, ce qui là encore permet d'éviter certaines mauvaises surprises, comme une décision prise pour un effet direct positif mais qui présente en fait de nombreux effets secondaires indirects et négatifs.

L'apport pratique par rapport aux méthodes actuelles de management de projet est d'aider les managers à prendre des décisions dans cet environnement complexe et risqué. Les risques étudiés en particulier sont les risques induits par la complexité. La vulnérabilité est l'absence ou l'insuffisance de capacité de détecter ces risques, de les prévenir, de s'en protéger, de s'en remettre et/ou de les confiner pour qu'ils ne dégénèrent pas. Nos travaux de recherche ont quasiment tous été appliqués dans une entreprise, plus particulièrement chez Alstom Transport, PSA Peugeot-Citroën et Renault, mais également dans des structures plus petites comme Tachyon Productions et Soft GmbH.

L'HDR se termine par la présentation de mon projet scientifique et applicatif pour la suite, avec notamment les projets déjà démarrés ou déjà engagés mais pas encore démarrés. Mes finalités personnelles y seront présentées. Elles sont de rendre service de façon directe et indirecte via des activités de recherche à des bénéficiaires, comme des entreprises, des citoyens ou encore la communauté scientifique. Les principes de construction ou plutôt de continuation du programme de recherche seront présentés, avec une partie nouvelle et une partie dans la continuité de ce qui a été développé depuis dix ans. Dans cette partie nouvelle, il s'agit surtout d'élargir le champ applicatif des systèmes adressés, pour aller au-delà du « simple » système projet mais de travailler sur les systèmes complexes créés ou transformés par ce système projet.