



**HAL**  
open science

## Analyse des scénarios de propagation des risques au sein d'une organisation projet

Franck Marle, Meriam Kilani, Catherine Pointurier, Laurent Dehouck

### ► To cite this version:

Franck Marle, Meriam Kilani, Catherine Pointurier, Laurent Dehouck. Analyse des scénarios de propagation des risques au sein d'une organisation projet. Congrès Lambda Mu 21, " Maîtrise des risques et transformation numérique: opportunités et menaces ", Oct 2018, Reims, France. hal-02063746

**HAL Id: hal-02063746**

**<https://hal.science/hal-02063746>**

Submitted on 11 Mar 2019

**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.

## ANALYSE DES SCENARIOS DE PROPAGATION DES RISQUES AU SEIN D'UNE ORGANISATION PROJET

### ANALYSIS OF RISK PROPAGATION SCENARIOS WITHIN A PROJECT ORGANIZATION

Franck MARLE, Meriam KILANI  
CentraleSupélec  
Université Paris-Saclay  
3 rue Joliot-Curie  
91 Gif-sur-Yvette  
franck.marle@centralesupelec.fr

Catherine POINTURIER  
CEA DAM Ile-de-France  
Bruyères-le-Châtel  
91297 Arpajon Cedex  
catherine.pointurier@cea.fr

Laurent DEHOUCK  
Univ Rennes,  
Gregor – EA 3195  
35000 Rennes France  
laurent.dehouck@ens-rennes.fr

#### Résumé

Les projets complexes se caractérisent par un certain nombre de phénomènes, comme des réactions non-linéaires ou chaotiques, des chaînes de propagation et des boucles/cycles. Cela entraîne pour la maîtrise des risques de tels projets un double enjeu, qui est d'une part, de mieux comprendre et anticiper dans la complexité, d'autre part de décider en connaissant du mieux possible toutes les conséquences indirectes des alternatives de décisions.

Le projet étudié est un grand projet de construction, pour lequel une analyse de risques a été faite en 2014 et une autre en 2017. La problématique est la grande complexité du réseau de risques qui peut conduire le projet vers des phénomènes surprenants alors que l'analyse basique n'en tient pas du tout compte.

L'approche consiste en premier lieu à étudier de façon basique les risques projets, puis les scénarios de propagation à partir de la matrice d'interactions entre risques. A chaque fois, ces valeurs sont comparées aux valeurs 2017, pour essayer d'en tirer des réponses à deux questions :

- L'analyse avancée 2014 permet-elle de mieux anticiper ce qui va se passer en 2017 ? et si oui, est-ce général ou certaines zones particulières du projet, certains types de risques ?
- L'analyse avancée permet-elle de mieux choisir des actions à incorporer spécifiquement dans le Plan de Maîtrise des Risques ?

Certains développements sont encore en cours de réalisation, mais les premiers résultats montrent une amélioration significative de la capacité de prédiction dans les cas complexes, là où le réseau est le plus dense. De même, la correction du Plan de Maîtrise des Risques est significative par rapport à celui obtenu avec l'analyse basique.

#### Summary

Complex projects face some specific, nonlinear or chaotic phenomena, like propagation chains and loops/cycles. This implies for managing risks in such projects a double amount at stake: on the one hand, to better understand and anticipate consequences of complexity; on the other hand, to better decide by being aware of indirect consequences of decision alternatives.

We study here a big construction project, with two risk analyses made respectively in 2014 and 2017. The issue is the high level of complexity of the risk network of this project, that may involve some surprising phenomena, albeit the basic risk analysis does not take this complexity into account.

The approach consists first in analyzing risk with basic principles, then with advanced propagation-based principles, using the risk interaction matrix. For both analyses, a comparison is made with the actual 2017 values, in order to try to give answers to the following two questions:

- Does the advanced analysis in 2014 allow to better anticipate the actual status of 2017? And if so, is it a general improvement or is it specific to some areas of the project, to some types of risks ?
- Does the advanced analysis allow to better choose actions to put in the Risk Management Plan?

Some developments are still ongoing, however the first results show a significant improvement of prediction capacity in complex situations, where network density is high. Likewise, there is a significant difference in terms of treatment with the initial Risk Management Plan when considering complex nature of the risk network with the advanced analysis.

## 1. Introduction

Les projets complexes représentent des enjeux parfois colossaux, dans l'absolu (budgets de plusieurs dizaines de milliards d'euros) et en relatif par rapport à l'organisation qui les porte (engagement de la santé même de l'entreprise par rapport à la réussite ou l'échec d'un projet phare). Ils se composent de très nombreuses activités à accomplir, livrables à fournir, et organisations ou entités impliquées. Ces éléments sont interdépendants les uns avec les autres, et des variations dans l'environnement du projet ou dans sa structure interne peuvent avoir des répercussions énormes (Braha and Bar-Yam, 2007).

Il existe un certain nombre de phénomènes complexes, comme des réactions non-linéaires ou chaotiques, des chaînes de propagation et des boucles/cycles (Sosa et al, 2013). La spécificité de la complexité est qu'elle amène une double difficulté, tant dans l'anticipation des comportements possibles du projet que dans sa maîtrise, à savoir la prise de décision quant aux actions à mener pour l'emmener vers l'atteinte de ses objectifs (Chu et al, 2003). Cela entraîne pour la maîtrise des risques de tels projets un double enjeu, qui est d'une part, de mieux comprendre et anticiper dans la complexité, d'autre part de décider en connaissant du mieux possible toutes les conséquences directes et indirectes de ces décisions (Baccarini and Archer, 2001).

Comme ils sont reliés à des éléments interdépendants, les risques projet sont eux-mêmes interdépendants (Allan and Yin, 2011). Notre première hypothèse de travail est donc de modéliser ces interactions entre risques projets (Heal and Kunreuther, 2007). Cela nous permettra d'anticiper d'éventuels scénarios de propagation (Smith and Merritt, 2002), où les risques s'enchaîneraient les uns les autres selon des phénomènes bien connus appelés dominos, boule de neige, cascade, effet papillon, etc. (Eckert et al, 2006 ; Giffin et al, 2009).

Le deuxième élément de contexte est la répartition des projets sur de multiples entités organisationnelles, qu'elles soient internes à l'entreprise qui les porte mais également via des relations contractuelles de différentes formes. Ces relations s'accompagnent de proximité ou distance sur différents plans, que ce soit géographique, culturel (au sens entreprise) ou informationnel (interopérabilité des systèmes d'information et logiciels dédiés, problématiques de gestion de la confidentialité dans des données à partager, etc...). L'impact de la transformation numérique en cours est donc fort sur la façon dont les projets se structurent pour réaliser des systèmes de plus en plus complexes.

La deuxième hypothèse de ce travail est donc de considérer qu'il existe un lien, en termes de performance, entre les scénarios de propagation des risques et la structure projet (Pasqual and De Weck, 2011).

Cela nous permettra dans un second temps d'analyser l'alignement de l'organisation par rapport à ces scénarios de propagation redoutés. Il s'agira de constater puis éventuellement de corriger, en proposant d'éventuels ajustements organisationnels pour que certains chemins de propagation jugés critiques soient mieux pris en compte dans la façon dont le projet est organisé.

## 2. Cas d'étude

Nous nous intéressons ici au cas de la maîtrise des risques dans le cadre d'un projet complexe du CEA DAM. Ce projet comporte la conception, la construction et la mise en exploitation d'une installation productrice d'un certain nombre de composants. Il présente donc de nombreux risques, dont certains sont importants à eux tout seul et certains sont importants car reliés à d'autres risques. Classiquement, des risques non maîtrisés en conception peuvent avoir un impact immédiat faible mais désastreux de par les conséquences indirectes qu'ils peuvent avoir en construction ou en exploitation. Inversement, un surcoût dû

à un avenant contractuel en construction peut avoir un impact immédiat fort, de plusieurs millions d'euros, mais aucune autre répercussion sur la suite du projet ou du cycle de vie de l'installation.

L'installation est découpée en 3 sous-systèmes, correspondant au découpage organisationnel du projet, auquel on ajoute un groupe de gestion de ce qui externe au projet et un groupe de gestion intégrée au niveau global, appelé Système. Il y a donc 5 groupes organisationnels de gestion du projet et de ses risques. Une première description du projet a été faite dans une communication précédente.

## 3. Démarche de recherche

Le but ici est d'analyser comment la situation a évolué entre 2014 et 2017 par rapport à ce qui avait été envisagé, avec l'analyse basique traditionnelle et avec des analyses avancées complémentaires. Il a donc été nécessaire de mener la partie analyses et calculs indépendamment du décideur industriel, afin qu'il n'intervienne que dans la phase d'interprétation.

La démarche est donc en deux phases, chacune découpée en 3 étapes, suivie d'une synthèse :

- Phase 1 : Une analyse basique (AB) des risques projet, avec :
  - Etape 1.1 : estimation classique de la probabilité et des impacts éventuels de chacun des 77 risques,
  - Etape 1.2 : élaboration d'un plan de maîtrise des risques (PMR).
  - Etape 1.3 : comparaison entre 2014 et 2017, afin de mettre en avant les évolutions de l'exposition du projet aux risques, et d'en chercher les explications. On verra notamment si le PMR initial était pertinent (actions sur les risques vraiment dangereux) et efficace (impact à la baisse sur les risques visés).
- Phase 2 : Une analyse avancée (AA) du réseau de risques projet, qui débouche en deux temps sur de nouvelles priorités et un nouveau plan de maîtrise des risques (PMR') :
  - Etape 2.1 : analyse avancée globale (AAG) du réseau de risques projet (anticipation de propagation par calcul à partir de la matrice de risques).
  - Etape 2.2 : analyse avancée locale (AAL) basée sur la sélection de certains chemins de propagation, et l'étude de leur caractère trans-organisationnel au sein du projet.
  - Etape 2.3 : seconde comparaison avec 2017, pour juger de la pertinence et des erreurs de l'analyse avancée,
- Synthèse : en tirer si possible une conclusion quant à l'utilité globale et les défauts locaux de l'analyse avancée pour mieux maîtriser les risques si on décide d'agir dessus, ou à défaut mieux anticiper ce qui se passe si on n'agit pas.

La phase 2 repose sur les données des étapes 1.1 (pour faire les analyses avancées) et 1.2 (pour comparer les plans de maîtrise des risques). Les analyses en étapes 2.1 et 2.2 ont été menées indépendamment de l'étape 1.3. L'étape de synthèse fait comme son nom l'indique la synthèse comparative des deux types d'analyse en se basant sur les évolutions prévues et réelles des risques du projet.

La Section suivante introduit les 3 étapes de la phase 1, avec à chaque fois un paragraphe générique et un paragraphe appliqué au projet CEA, quand cela a été fait. Il sera précisé à chaque fois où ce n'est pas présent si le résultat est espéré pour la date de la communication ou bien s'il ne sera pas possible de l'obtenir pour des raisons d'accès aux données par exemple.

#### 4. Phase 1 : Analyse basique et plan initial de maîtrise des risques

Les 3 étapes de la phase 1 sont déroulées, à savoir faire une analyse basique des risques, suivie d'un plan de maîtrise fondé sur cette analyse, et comparer avec ce qui s'est produit en 2017.

##### 4.1 Etape 1.1 : analyse basique des risques (AB 2014)

Classiquement, une analyse des probabilités et impacts est à effectuer, ainsi que l'affectation de chaque risque à un acteur propriétaire et à un sous-système organisationnel.

##### Sur le projet CEA

La figure 1 ci-dessous montre la répartition globale des estimations de probabilité en 2014 (selon la diagonale). On constate une concentration certaine à la valeur moyenne de 0,5 et une répartition à peu près symétrique au-dessus et au-dessous de 0,5. Cela peut traduire un biais, habituel dans l'estimation, qui tend à mettre en avant les valeurs moyennes, toutefois il n'y a pas eu de volonté de les harmoniser. Ce n'est pas l'objet de l'étude que de s'intéresser aux biais des estimateurs, on va simplement comparer en relatif une différence entre 2014 et 2017 (car les personnes sont quasiment les mêmes).

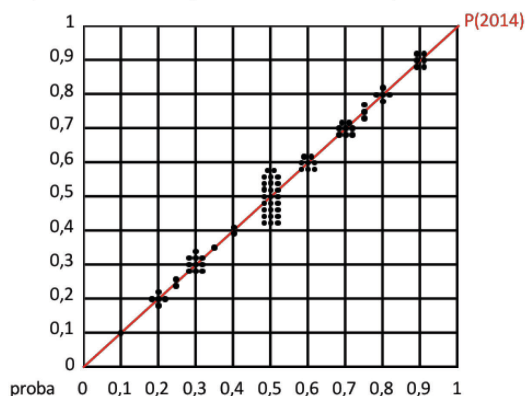


Figure 1. Répartition des probabilités des 77 risques en 2014

Les risques ont tous été affectés à 21 acteurs différents et répartis dans les 5 sous-systèmes organisationnels présentés en section 2.

##### 4.2 Etape 1.2 : plan initial de maîtrise des risques (PMR 2014)

Classiquement, un certain nombre d'actions préventives ou de préparation d'actions curatives (plans B, scénarios de secours, etc.) ont été mis en place, sans méthodologie spécifique de décision.

##### Sur le projet CEA

Il en a été déduit un certain nombre de priorités de traitement, et un plan initial de maîtrise des risques (PMR) agissant sur 6 risques parmi les 77 : les risques R37 (P=0,7), R093 (P=0,7), R097 (P=0,6), R034 (P=0,5), R101 (P=0,5) et R023 (P=0,4). Nous n'indiquons ici que les valeurs relatives aux probabilités, puisque les notions d'impact ne sont pas affectées par l'analyse avancée.

Le risque R063 est considéré à part, car il s'agit d'une opportunité. Le but de l'action spécifique est donc justement de tester, valider voire déclencher l'opportunité. La dernière étape de cette phase 1 consiste à analyser l'écart entre 2014 et 2017, pour d'une part comprendre les facteurs qui ont fait cet écart, d'autre part estimer si l'analyse basique 2014 et le PMR qui en était sorti étaient pertinents.

##### 4.3 Etape 1.3 : comparaison de l'AB et du PMR 2014 avec la réalité de l'évolution des risques en 2017

La situation mise à jour en 2017 contient des changements dans certaines valeurs, puisque les risques ont été ré-estimés, mais également dans la structure de la matrice puisque certains éléments sont apparus et d'autres ont disparu (avérés ou obsolètes).

Ce qui se passe entre 2014 et 2017 est soumis à au moins trois facteurs :

- Le déroulé des actions prévues au projet, qui par leur simple exécution vont changer les risques ou bien améliorer la perception du risque (exemple après une activité d'études préliminaires).
- Le déroulé des actions spécifiques de maîtrise des risques (PMR), en anticipation ou en réaction au cours du projet par rapport à un événement redouté qui se produit par exemple,
- L'évolution des paramètres de l'environnement du projet, que ce soit au niveau des clients, des organismes externes (audit, certification, homologation) et du marché industriel (contracteurs, fournisseurs, partenaires), bref des parties prenantes extérieures à l'organisation projet.

Cela veut donc dire qu'il y a plein de raisons pour lesquelles les valeurs ne concorderaient pas avec l'analyse faite en 2014. L'une d'entre elles est qu'on ne sait pas à aujourd'hui la durée de « fraîcheur » de l'analyse. L'analogie avec un produit frais est réelle, simplement c'est la fraîcheur des données qui est en cause, mais on ne connaît pas aujourd'hui leur date limite avant péremption. Une autre raison tout à fait logique est justement la conséquence de l'analyse de risques (classique ou avec analyse réseau ou avec analyse complémentaire de chemins spécifiques), qui est de traiter les risques mis en priorité. On espère donc se tromper sur les risques concernés par le PMR.

##### Sur le projet CEA

Un certain nombre d'écarts est constaté entre 2014 et 2017, 26/77 voient leur probabilité augmenter, 18 rester stable et 33 diminuer. La figure 2 illustre ces changements en mettant en ordonnée la proba 2017 et en abscisse la proba 2014. L'éclatement est visible avec peu de risques stables, les risques plutôt bas qui tendent à diminuer, les risques plutôt hauts qui tendent à augmenter, et les nombreux risques médians qui eux se répartissent uniformément. Ce dernier point est sans doute la preuve de la fameuse tendance à se rapprocher du milieu quand on a de l'incertitude (trop de 0,5 en 2014).

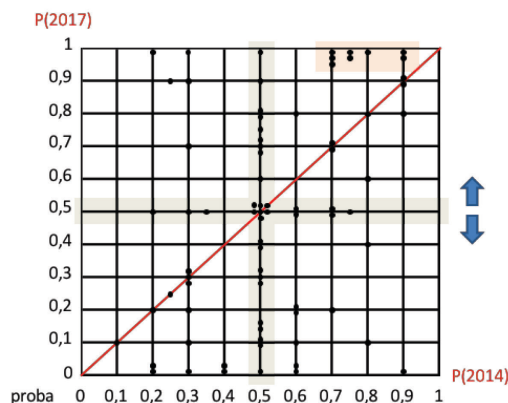


Figure 2. Variation de la probabilité entre 2014 et 2017

La catégorisation des risques selon les 3 explications possibles (actions prévues au projet, actions de maîtrise des risques, évolution de l'environnement) a été réalisée par l'expert industriel indépendamment de l'analyse avancée présentée en Section suivante.

On note principalement les éléments suivants :

- 60% des risques se rattachent à la catégorie 1, 10% à la catégorie 2 et 30% à la catégorie 3.
- Parmi les 12 risques avérés en 2017, 1 était en fait une opportunité (R058) et a été considéré à part dans l'analyse. La seule grosse surprise a été R002, et 2 risques avaient des probabilités moyennes (0,4 pour R063 et 0,5 pour R090) et ont donc été des demi-surprises. Les 8 autres risques avaient une probabilité

supérieure ou égale à 0,7, il ne s'agit donc pas d'une surprise.

- 15 risques ont vu leur probabilité augmenter, soit parce que l'exécution d'une activité projet a confirmé ou découvert la réalité de l'exposition au risque (10 cas), soit parce que l'environnement extérieur a évolué défavorablement (4 cas). Il y a un seul cas où le risque était mis dans le PMR mais a quand même vu sa probabilité augmenter. On peut voir le verre à moitié plein et se dire que ça aurait été encore pire si on n'avait rien fait, ou bien voir le verre à moitié vide et dire que l'action n'a pas été efficace.
- 18 risques ont une probabilité stable, dont 1 qui a fait l'objet d'une action dans le PMR. Là encore, il est difficile de savoir si les choses sont vraiment restées stables, ou si plusieurs choses se sont compensées et annulées.
- 24 risques ont vu leur probabilité diminuer sans être levés, parmi lesquels 2 étaient dans le PMR. Il s'agit principalement de risques liés à la catégorie 1 d'actions prévues au projet qui ont permis de se rendre compte que finalement les risques étaient moins critiques qu'initialement perçus, ou bien qui ont permis de diminuer l'exposition au risque par la nature même de l'action. On peut donc ici faire un petit aparté sur le fait que certaines actions tendent naturellement à diminuer les risques alors qu'elles ne font pas partie officiellement du PMR.
- Enfin, 8 risques ont été levés, dont 2 faisaient partie du PMR. Certains risques sont devenus obsolètes (surtout en lien avec la catégorie 1 actions projet), et certains ont purement et simplement été résolus, notamment dans la catégorie 3 environnement extérieur (relations avec des futurs partenaires industriels).

Afin de tenter de mesurer cet écart, nous introduisons une notion de positionnement sur un diagramme à 2 axes représentant respectivement l'écart relatif et absolu entre les valeurs 2014 et 2017 (Figure 3).

En ordonnée, on trouve le ratio  $y = P(2017) / P(2014)$ , et en abscisse la différence  $x = P(2017) - P(2014)$ . Chaque risque est repéré sur ce diagramme à l'aide de coordonnées cylindriques, à savoir une distance  $d$  et un angle  $\theta$  qui se calculent (équations 1 et 2) comme suit.

$$d = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \{1\}$$

$$\theta = \tan^{-1} y/x \quad \{2\}$$

Si  $d$  est égal ou proche de 0, alors la probabilité est stable ou quasiment. Plus on s'éloigne de 0, plus l'erreur est grande. L'angle traduit la différence, à distance égale, entre une erreur relative (probabilité qui double mais qui dans l'absolu passe de 0,1 à 0,2, angle plus proche de 90°) et une erreur absolue (probabilité qui passe de 0,6 à 0,9 mais qui en ratio représente 1,5, angle plus proche de 0°). Il permet également de distinguer, puisque la distance est toujours positive, les sous-estimations des surestimations.

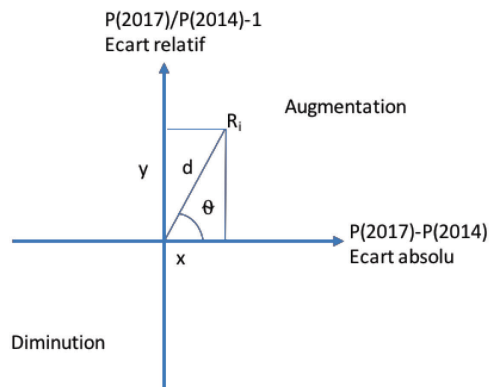


Figure 3. Positionnement de l'écart entre 2014 et 2017 selon un principe de coordonnées cylindriques

Une analyse est faite sur les distances et sur les modifications de classement des risques entre 2014 et 2017. On trouve une distance moyenne de 0,75, avec 57 risques sous les 0,5, 12 risques entre 0,5 et 1, 8 risques entre 1 et 2, et 5 risques avec une distance supérieure à 2. L'écart moyen de classement entre 2014 et 2017, calculée à partir de la valeur absolue de l'écart entre les classements, est de 21 places.

On remarque surtout 13 risques qui sont donc très différents en 2017, et on les regardera spécifiquement lors de la comparaison avec les analyses avancées dans la phase de synthèse.

## 5. Phase 2 : Analyse avancée du réseau de risques

La méthodologie est introduite étape par étape de façon générique, puis l'application au cas d'étude est brièvement présentée.

### 5.1 Etape 2.1 : Méthodologie d'analyse avancée globale du réseau de risques

Le but de cette analyse avancée globale est de simuler le comportement du réseau de risques interdépendants, pour voir si certaines réactions de propagation déclenchent certains risques avec une fréquence supérieure à l'estimation initiale faite par l'analyse basique individuelle. Elle a déjà été présentée dans des revues scientifiques (Fang and Marle, 2012, 2013) et dans une version antérieure au Lambda Mu de La Rochelle (Fang and Marle, 2010).

La modélisation des risques repose sur les données de l'analyse basique de risque, à savoir libellé, probabilité, impact, propriétaire et éventuellement nature.

La modélisation des interdépendances se fait à partir de jugement d'experts, sur une échelle de 0 à 10 en utilisant par défaut les valeurs paires. Cela permet en cas d'hésitation entre 2 valeurs paires d'utiliser la valeur impaire intermédiaire (Oduncuoglu and Grebici, 2010).

L'estimation de valeur raffinée pour la probabilité (ou fréquence d'occurrence) du risque se fait à partir du produit matriciel suivant (équation 3), présenté dans (Fang and Marle, 2013) et justifié dans (Bru et al, 1994 ; Holtz, 2000 ; Johnson, 1974) :

$$FR(2014) = (I-RR)^{-1} * P(2014) \quad \{3\}$$

Où  $FR$  est le vecteur de fréquences raffinées,  $I$  est la matrice identité,  $RR$  la matrice d'interdépendance entre risques et  $P$  le vecteur des probabilités initiales.

Cela donne une ré-estimation de l'importance des risques, en vue de la phase de priorisation pour traitement. Parfois certaines différences sont notables, comme l'illustre la Table 1 ci-dessous. Il est à noter que pour des raisons pratiques la fréquence est saturée à 1 après discussion avec le décideur sur la possibilité ou non pour un risque de se produire plusieurs fois. Il y a donc le cas des boucles, mais il y a aussi le cas de chemins multiples qui mènent au même risque. Dans les deux cas, l'occurrence du risque n'est comptée au final qu'une fois.

Un premier plan d'actions corrigé est alors élaboré sur la base des nouvelles priorités (PMR' selon AAG), principalement en raison d'une forte évolution ( $FR(2014)$  versus  $P(2014)$ ), mais également bien sûr en fonction d'une forte valeur de  $FR(2014)$ , même si l'évolution est faible (ce qui signifie que  $P(2014)$  était également forte).

### Sur le projet CEA

L'analyse des résultats sur le cas CEA donne les enseignements suivants, illustrés dans la Table 1 ordonnée en fonction du classement des risques selon la ré-estimation de fréquence raffinée. On voit que certains risques apparaissent dans le top 15 des priorités ré-estimées, alors qu'ils étaient loin voire très loin dans l'analyse initiale (risques R004, R021 et R045). Ce point de vue complémentaire va donc permettre éventuellement de leur accorder plus d'importance au moment de la phase de



traitement, non pas pour leur impact direct, mais pour leur influence sur le comportement collectif du projet.

Id R	Classt P (2014)	Classt FR (2014)
R032	13	1
R070	20	2
R080	19	3
R025	48	4
R103	15	5
R004	69	6
R078	10	7
R100	7	8
R066	21	9
R013	52	10
R014	30	11
R003	56	12
R097	23	13
R021	71	14
R045	66	15
...	...	...
R033	4	34
R081	9	35
R099	32	36
R036	43	37
R067	38	38
R060	39	39
R093	18	40
R031	14	41
R062	2	42
R005	55	43
R040	3	44

**Table 1.** Classements comparés des valeurs initiales et raffinées

Inversement, certains risques initialement bien placés apparaissent plus loin dans le nouveau classement. C'est le cas des risques R033, R062 et R040 qui sont maintenant entre la 34<sup>e</sup> et 44<sup>e</sup> place alors qu'ils étaient individuellement entre la 2<sup>e</sup> et la 4<sup>e</sup> place. Dans leur cas, un traitement local peut être approprié de par leur criticité individuelle, mais ils ne sont pas impactés par le collectif.

Il est à noter que le PMR' ne tient pas compte du PMR, qui lui-même n'intégrait pas forcément, pour des raisons non connues de l'analyste, les risques prioritaires (sans doute pour des raisons de moyens, de compétences, de capacité réelle d'influence). N'ayant pas ces informations qui ont restreint le PMR, il est normal pour nous d'avoir un PMR' plus développé.

Dans tous les cas, la comparaison avec les valeurs ré-estimées en 2017 donnera une idée de la pertinence de l'analyse réseau, ou plus exactement de sa performance relative par rapport à l'analyse classique.

La question est maintenant, au-delà de ces calculs globaux, de voir si des chemins plus locaux se dégagent pour les analyser et les traiter plus finement.

### 5.2 Etape 2.2 : Analyse avancée locale (détection, sélection et analyse de chemins de propagation redoutés)

Ces chemins concernent la propagation de risques qui se produisent, mais ils peuvent également anticiper la propagation d'actions ou de décisions qui ont pour conséquence de changer certains risques ou certaines interdépendances entre risques.

Le but est de savoir si ces chemins sont encapsulés dans les sous-groupes organisationnels ou bien s'ils sont répartis et transverses. En effet, nous considérons que, toutes choses étant égales par ailleurs (valeur des nœuds et arcs impliqués dans l'interdépendance, compétence des acteurs), un chemin de N nœuds gérés par 1 acteur sera potentiellement moins dangereux que le même chemin géré par N acteurs différents dans N entités organisationnelles différentes. Ceci s'explique pour des raisons d'interface, en termes de temps et de

coordination lorsqu'il faut prendre une décision globale et non pas locale.

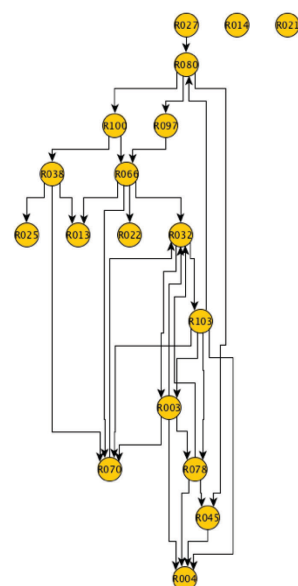
La taille et la densité du réseau ne permettent pas toujours de rechercher de façon systématique les chemins de propagation, surtout quand il y a des boucles. Il faut donc choisir des moyens de sélectionner à effort raisonnable un certain nombre de chemins pertinents. Plusieurs conditions sont identifiées, dans cet ordre de priorité : que les arcs aient une valeur importante, que les nœuds aient une valeur importante, que les acteurs qui gèrent ces nœuds soient différents. Ces chemins sont détectés dans l'environnement des risques faisant partie du plan corrigé PMR', à base cette fois de scénarios (chemins, boucles). Cela permet d'identifier éventuellement de nouvelles actions de maîtrise des risques (PMR"). En effet, cela signifie que l'analyse avancée globale a détecté que ce nœud était sensible aux effets de propagation, donc il est potentiellement sur un ou plusieurs chemins de propagation intéressants. Nous préférons donc l'écart en relatif, afin de pré-étudier les nœuds qui sont impliqués dans des chemins à forte valeur. L'affectation d'acteur n'est pas étudiée dans un premier temps. Une fois ces chemins sélectionnés par le décideur, une analyse du caractère inter-organisationnel de ces chemins est effectuée. Elle est basée sur des travaux réalisés dans un autre contexte industriel, et qui ont utilisé un indicateur d'incorporation d'un chemin (ou d'une boucle) à l'intérieur d'un groupe organisationnel (Ventroux et al, 2018).

On appelle NO le Nombre d'Organisations traversées par le chemin en question. Si NO=1, alors le chemin est totalement encapsulé dans un même groupe organisationnel. Le même genre d'analyse peut être menée avec le Nombre d'Acteurs impliqués sur un chemin. Si NA = 1, alors le chemin est totalement géré par le même acteur.

Malheureusement cette étape est encore en cours de développement au moment de l'envoi de la communication, la présentation orale sera nous l'espérons l'occasion de montrer de nouveaux résultats.

### Sur le projet CEA

A partir des fréquences raffinées et des écarts par rapport aux probabilités initiales, un certain nombre de nœuds ont été mis en avant. La Figure 4 ci-dessous illustre les chemins de propagation passant par ces nœuds et ayant la valeur maximale sur les arcs. On voit qu'ils sont déjà suffisamment nombreux, avec des boucles, pour avoir de quoi caractériser ce qu'on peut appeler le noyau du comportement du réseau.



**Figure 4.** Extraction de chemins de propagation

Ils serviront de point de focalisation (non exclusif) pour les analyses suivantes, notamment le positionnement de ces chemins par rapport à la logique organisationnelle du projet.

Ils permettront éventuellement de dégager de nouvelles actions spécifiques de maîtrise des risques, et d'obtenir un PMR" qui peut être plus influent collectivement sur un noyau dur du réseau en termes de complexité.

Malheureusement cette étape est encore en cours de développement au moment de l'envoi de

la communication, la présentation orale sera nous l'espérons l'occasion de montrer de nouveaux résultats.

### **5.3 Etape 2.3 : Comparaison entre l'analyse avancée sur le réseau 2014 et la mise à jour des estimations en 2017**

Comme dans la comparaison de fin de phase 1, on tient compte des changements dus à l'exécution des actions projet prévues au planning, mais également dus aux changements de contexte et d'environnement, et enfin dues à l'impact des actions de maîtrise des risques décidées en 2014. Il y a donc des changements voulus et d'autres subis. Cette comparaison permettra dans un premier temps d'identifier dans quelles proportions la méthode d'analyse avancée globale prédit les évolutions. Il faut préciser tout de suite que son but ultime est de se tromper, puisque par définition la mise en avant d'un risque (valeur élevée en 2014) peut ou devrait amener à une action spécifique pour faire baisser sa valeur en 2017. C'est donc tant mieux si l'alerte fournie par l'analyse de risque fait qu'elle se trompe au final... Une analyse locale plus fine sera effectuée sur le caractère inter-organisationnel des chemins de propagation sélectionnés en étape 2, même si la grande difficulté qui s'annonce est l'accès aux données terrain (interfaçage réel entre acteurs, fréquence et mode de communication, différence entre prescrit et réalisé...).

On commence donc par comparer cette fois FR(2014) et P(2017). Comme indiqué précédemment, FR(2014) est supérieur ou égal à P(2014), par construction. On a donc trois cas (en ne comptant pas les égalités) :

- La sous-estimation (équation 4) :  

$$P(2014) < FR(2014) < P(2017) \quad \{4\}$$
- La sur-estimation mais avec la bonne tendance : la proba augmente en 2017, mais pas autant que prédit par le modèle (équation 5) :  

$$P(2014) < P(2017) < FR(2014) \quad \{5\}$$
- La sur-estimation avec erreur de tendance : la proba diminue en 2017 alors que le modèle avait prédit une augmentation (équation 6) :  

$$P(2017) < P(2014) < FR(2014) \quad \{6\}$$

On est forcément dans ce dernier cas sur une influence d'au moins un des trois facteurs vus précédemment.

L'analyse de l'étape 2.1 nous a montré qu'il y avait plus ou moins d'écart entre P(2014) et FR(2014), avec certains enseignements quant à l'importance individuelle et/ou collective des risques. Cette fois, le positionnement relatif de P(2017) par rapport à ces deux valeurs de 2014 nous donne d'autres enseignements.

#### **Sur le projet CEA**

Le PMR' corrigé comprend plus de risques, car le modèle en réseau tend à augmenter les valeurs (dans l'absolu et en relatif), surtout dans ce cas où le réseau est très dense (500 liens pour 77 nœuds). On a donc proposé de traiter 22 risques, au lieu des 6 du PMR initial. 1 seul risque est commun aux deux PMR. On donne ci-dessous quelques éléments d'analyse :

- Sur les 22 risques, il y en a 12 qui ont vu leur proba augmenter en 2017, dont certains très significativement. On retrouve notamment 5 risques avérés et 5 risques avec  $P(2017) > 0,8$ . Seuls R022 et R045 sont respectivement à 0,5 et 0,7, mais il est à noter qu'ils étaient au départ à 0,2 et 0,3. Ils ont donc bien augmenté de façon significative. Ils auraient donc peut-être mérité pour cela d'être retenu dans un PMR.
- 1 seul risque R013 reste stable, il était proposé dans le PMR' raffiné.
- Enfin, 5 risques voient leur probabilité diminuer alors que l'AAG anticipait une hausse, voire même une occurrence (FR=1). Parmi eux, le seul risque commun aux deux versions du PMR passe à 0 (on peut dire qu'il a été bien traité). Pour les 4 restants, R077, R100, R080 et R075, il est à noter qu'ils seront reliés entre eux, et reliés à des risques causes qui ont eux-mêmes significativement baissé comme R027. Il y a

donc, mais c'est l'objet de l'analyse avancée locale qui est en cours, probablement des chemins qui baissent ensemble de façon corrélée. Le fait de vouloir agir sur un risque signifie en fait pour nous dans certains cas agir sur les causes, soit en largeur (plusieurs causes directes), soit en profondeur (plusieurs niveaux de causes indirectes, ou causes racines). Mettre par exemple R100, R97 et R080 dans le PMR' peut signifier, après analyse complémentaire locale AAL, de remonter aux causes et d'agir de façon élargie sur d'autres risques amont (comme le R027). C'est ce qui constitue la différence entre le PMR' issu de AAG et le PMR'' issu de AAG+AAL.

En termes de mesure d'écart, similairement à la phase 1 étape 1.3, on utilise les indicateurs de distance/angle pour caractériser l'écart en valeur entre FR(2014) et P(2017), et l'indicateur d'écart en classement pour caractériser l'erreur en relatif (les risques les uns par rapport aux autres).

Deux enseignements en ressortent :

- La distance moyenne est de 0,66, il y a toujours 57 risques avec  $d < 0,5$  (mais pas les mêmes), et il n'y a plus que 2 risques avec  $d > 2$  (les mêmes).
- L'erreur moyenne sur les places au classement est de 18.

## **6. Synthèse**

Une comparaison entre l'analyse basique et l'analyse avancée est faite. De même, la localisation d'où se trouve la performance ou la non-performance de l'analyse avancée par rapport à 2017 est faite. On se trompe deux fois :

- Quand on met dans le PMR' quelque chose qui finalement diminue, parce qu'il est dans le PMR ou pour d'autres raisons (car il n'est pas dans le PMR initial). On l'a vu précédemment, 4 risques sont concernés.
- Quand on ne met pas dans le PMR' quelque chose qui finalement se produit, ou augmente significativement. C'est le cas de 11 risques, qui ont augmenté pour des raisons propres au projet ou à son environnement, et qui n'ont pas été détectés car dans une zone moins dense du réseau. Il s'agit donc bien de raisons individuelles ou en tout cas très localisées, qui passent à travers les capacités de détection et de priorisation de l'AAG. On ne sait pas à aujourd'hui si l'AAL peut à un niveau plus fin mettre en lumière certains de ces 11 risques, le développement est en cours.

La conclusion de cette double synthèse est la suivante : l'analyse avancée n'influe pas énormément sur les petites erreurs, mais sert surtout sur les grosses erreurs, les mauvaises surprises. Et bien sûr il n'est pas parfait, puisqu'il ne détecte pas toutes les grosses erreurs de l'analyse basique. La 2<sup>e</sup> conclusion est donc que AA fait significativement mieux que AB, surtout sur les gros écarts, car c'est principalement par construction le but de AA de détecter des influences dues à la structure en réseau qui ne sont pas visibles dans l'analyse individuelle classique. C'est donc une confirmation, mais justifiée par l'amélioration globale des paramètres (distance entre valeur 2017 et valeur anticipée 2014, différences de classement des risques entre 2017 et 2014 selon AB et AA). On sait pourquoi on a intérêt à utiliser l'AA, et dans quels cas il ne faut pas attendre grand-chose car elle ne corrige pas en général les plus petites erreurs.

Certains éléments expliquent ces erreurs. Par exemple, le modèle avancé ne peut pas être prédictif quand la valeur réelle diminue. En effet, il ne peut que ré-estimer à la hausse (il y a ou pas propagation, donc plus de cas où ça se produit, mais pas moins). Un modèle de propagation ne peut pas envisager une baisse ou une disparition / obsolescence du risque. Un autre élément important est le facteur humain qui peut influencer la perception du risque, mais surtout la communication autour de ce risque. Ainsi, dans certains cas, on assiste à une minimisation, voire un déni, du risque, qui amène à une probabilité plus faible que

la réalité du risque. Cela peut donc expliquer pourquoi des risques perçus faibles dans le tableau 2014 sont finalement les premiers à arriver entre 2014 et 2017. Ça n'était pas l'objet de cette étude de s'intéresser à ce point et à essayer de débiaiser certaines estimations. D'autre part, il peut y avoir une réticence à communiquer autour de l'exposition à un risque, car cela pourrait être perçu comme un signe de non maîtrise par les parties prenantes, notamment externes, qui sont besoin d'être rassurées ou convaincues que le projet est bien tenu. Par définition, le modèle d'analyse avancée se base sur des calculs qui n'ont pas peur, qui ne décident pas par eux-mêmes que le risque n'existe pas, qui n'intègrent pas des considérations politiques... Il peut donc détecter des choses finalement dérangeantes pour les utilisateurs.

## 7. Discussion et conclusion

Il est rappelé ici que le but de l'étude est de comprendre la performance du modèle d'analyse avancée, pas de la défendre, car il est évident que plusieurs éléments font naturellement que les choses sont différentes en 2017 que ce qui était anticipé en 2014.

Le caractère innovant est double : tout d'abord, les scénarios de propagation sont étudiés non seulement de façon globale afin de proposer une estimation corrigée de la probabilité initiale, mais également d'un point de vue plus local, avec le positionnement trans-organisationnel de certains chemins détectés dans le réseau global. Ce positionnement permet de se rendre compte si cela a vraiment un impact ou pas. L'hypothèse est que les propagations inter-acteurs et inter-organisations sont plus dangereuses, sous-entendu ont moins de chances d'être bien gérées. L'interprétation des résultats pourra donner un éclairage sur le degré de validité de cette hypothèse ainsi que sur l'impact du fonctionnement de plus en plus virtuel des organisations.

Le deuxième caractère innovant est l'analyse comparative à 3 ans d'intervalle de l'estimation des risques d'un projet. La vie même du projet, l'évolution de son environnement et l'exécution de sa fonction de maîtrise des risques, font qu'il est normal que les estimations diffèrent. Dans le cas des risques mis en exergue en 2014, on espère même se tromper et que de bons plans d'action aient été mis en œuvre... Cette comparaison peut donc être aussi une loupe sur l'efficacité de la fonction de traitement des risques. A-t-on bien pris en compte les résultats de l'analyse et a-t-on mis les priorités et les moyens aux bons endroits, c'est-à-dire pas forcément uniquement aux risques ayant individuellement les plus fortes valeurs ?

De nombreuses perspectives restent ouvertes au moment de la soumission de cet article, soit parce que les développements sont en cours, soit parce que les questionnements sur comment faire ces développements ne sont pas encore résolus. D'un point de vue scientifique, plusieurs choses ont été mises au point dans ce travail, et elles méritent toutes d'être approfondies. On ne reviendra pas ici, car c'est une donnée d'entrée, sur l'identification et l'estimation des interdépendances dans un réseau de risques. La détection de chemins dits pertinents pose un certain nombre de questions qui n'ont pas toutes été résolues ici autrement que par le bon sens et le contexte d'application. Il pourrait donc être envisagé de développer des algorithmes à partir d'algorithmes existants permettant d'identifier des chemins et des boucles, afin de semi-automatiser cette enquête. D'un point de vue managérial, une question qui pourra être traitée ultérieurement est de tester le PMR' (ou PMR'' quand il sera disponible) pour le simuler et voir s'il prédit mieux ou pas l'évolution du projet. Encore une fois, il pourrait y avoir des subtilités de performance selon la nature et l'amplitude de l'écart. Le

modèle AA est fait pour détecter des choses innovantes dans les parties denses des réseaux, et ne s'éloigne que peu de l'AB dans des parties peu denses. Il est donc plus naturellement fait pour détecter des grandes surprises que pour raffiner ou préciser des valeurs à faible variation.

## 8. Références

- Allan N., and Yin Y., 2011, "Development of a Methodology for Understanding the Potency of Risk Connectivity," *J. Manag. Eng.*, 27(2), pp. 75–79.
- Baccarini, D. & Archer, R., 2001. The risk ranking of projects: A methodology. *International Journal of Project Management*, 19 (3), 139-145
- Braha, D. & Bar-Yam, Y., 2007. The statistical mechanics of complex product development: Empirical and analytical results. *Management Science*, 53 (7), 1127-1145
- Bru, R., Elsner, L. & Neumann, M., 1994. Convergence of infinite products of matrices and inner-outer iteration schemes. *Electronic Transactions on Numerical Analysis*, 2, 183-193
- Chu, D., Strand, R. & Fjelland, R., 2003. Theories of complexity – common denominators of complex systems. *Complexity*, 8 (3)
- Eckert C. M., Keller R., Earl C., and Clarkson P. J., 2006, "Supporting change processes in design: Complexity, prediction and reliability," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 91(12), pp. 1521–1534.
- Fang, C., & Marle, F. (2013). Dealing with project complexity by matrix-based propagation modelling for project risk analysis. *Journal of Engineering Design*, 24(4). <https://doi.org/10.1080/09544828.2012.720014>
- Fang C., and Marle F., 2012, "A simulation-based risk network model for decision support in project risk management," *Decis. Support Syst.*, 52(3), pp. 635–644.
- Giffin M., De Weck O., Bounova G., Keller R., Eckert C., and Clarkson J., 2009, "Change propagation analysis in complex technical systems," *J. Mech. Des.*, 131.
- Heal, G. & Kunreuther, H., 2007. Modeling interdependent risks. *Risk Analysis*, 27 (3), 621-634
- Holtz, O., 2000. On convergence of infinite matrix products. *Electron. J. Linear Alg.*, 7, 178–181
- Johnson, C.R., 1974. Hadamard products of matrices. *Linear and Multilinear Algebra*, 1 (4), 295-307
- Oduncuoglu A., and Grebici K., 2010, "Quantitative Assessment Framework for Product Value and Change Risk Analysis in Early Design Process," *Proceedings of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2010*, pp. 1–10.
- Pasqual M. C., and Weck O. L., 2011, "Multilayer network model for analysis and management of change propagation," *Res. Eng. Des.*, 23(4), pp. 305–328.
- Smith, P. & Merritt, G., 2002. *Proactive risk management. Controlling uncertainty in product development* New York: Productivity Press
- Sosa M., Mihm J., and Browning T., 2013, "Linking Cyclical and Product Quality," *Manuf. Serv. Oper. Manag.*, 15(3).
- Ventroux, J., Marle, F., & Vidal, L.-A. (2018). Organizational reshuffling to facilitate coordinated decisions in complex projects. *Concurrent Engineering Research and Applications*. <https://doi.org/10.1177/1063293X18756718>