

## Pilotage d'un projet complexe par ses risques : construction et exploitation d'une matrice d'affinité

### Managing risks in complex projects: building and using an affinity matrix

#### Auteurs

##### Pointurier C.

CEA, Service Ingénierie Système  
Centre DAM-Ile-de-France  
Bruyères le Châtel  
91297 Arpajon Cedex

##### Marle F. et Jaber H.

Laboratoire Génie Industriel  
Ecole Centrale Paris  
Grande Voie des Vignes  
92295 Châtenay-Malabry Cedex

#### Résumé

La complexité d'un projet implique de nombreuses interfaces à gérer entre éléments du projet, donc entre les acteurs qui gèrent ou réalisent ces éléments. Cette communication aborde le problème de la gestion des risques dans un projet complexe. Ils sont reliés entre eux par des relations d'interdépendance non seulement nombreuses mais également potentielles, non sûres. Ceci implique un grand nombre d'interfaces entre les acteurs qui gèrent ces risques, dont un petit nombre seulement est formalisé à travers l'organisation mise en place. Le but de cette communication est donc de détecter et de formaliser des interfaces qui permettraient de mieux gérer le projet, en anticipant certains phénomènes (chaînes, boucles) en mettant en relation les acteurs qui sont concernés. Pour cela, nous présentons une stratégie de clustering enrichie par rapport à des modèles présentés dans les éditions précédentes, puisqu'elle combine plusieurs algorithmes avec plusieurs paramétrages, et que la solution finale est construite à partir d'éléments d'un ou de plusieurs algorithmes. Il n'est donc plus nécessaire de choisir a priori un algorithme, il faut assembler a posteriori une solution qui utilise les résultats de plusieurs algorithmes et permet de mieux correspondre aux attentes du décideur.

L'application à un projet du CEA donne des résultats qui dépassent la performance de chaque algorithme pris isolément et correspondent à un sens concret pour le projet. Certains risques sont mis en lumière dans leur rôle d'interface critique, certains sous-systèmes sont reliés par des liens transverses rassemblés dans un cluster, enfin certains rassemblements sont non intuitifs a priori mais jugés pertinents par le décideur a posteriori.

#### Summary

Project complexity implies numerous interfaces between project elements, thus between actors who manage or execute these elements. This paper is focused on the management of risks in complex projects. They have interdependency relationships, not only numerous, but also potential, uncertain. This implies many interfaces between risk owners, a few of them being formalized in the project organization. This communication aims at detecting and formalizing interfaces that could permit to better manage the project, by anticipating some phenomena (propagation chains, loops) by putting involved actors together. A refined version of a clustering methodology already introduced in previous conference editions is presented. It combines several algorithms with many parameters, and builds the final solution from pieces of these algorithms. It is not mandatory to choose a priori a single algorithm, but the solution is assembled a posteriori using the results of one or several algorithms, allowing fitting the decision-maker's requirements.

The application to a project of CEA-DAM gives better results than each isolated algorithm, and moreover they correspond to real situations in the project. Some risks are highlighted due to their critical role as an interface, some sub-systems are interrelated by transverse links which are proposed as a cluster, and finally some clusters are non intuitive a priori, but judged relevant by the decision-maker.

## 1. OBJECTIF

Cette communication a pour but de présenter une méthodologie de regroupement des risques dans les projets complexes. Ceci permet de fonctionner par petits groupes de travail complémentaires à l'organisation projet en place, ce qui améliore la communication et la coordination sur des problématiques transversales dues à la complexité.

Selon des critères définis, les données prises en compte et les corrélations retenues, nous obtenons des relations d'affinités susceptibles de consolider ou de remettre en cause certaines orientations organisationnelles, comme le découpage du projet par systèmes et sous-systèmes, ou de mettre en évidence la pertinence de certaines interfaces transverses dans le projet.

## 2. CONTEXTE

Le projet support sur lequel porte la présente communication est complexe et technologiquement innovant, il se déploie sur cinq sites différents et fait appel à plusieurs directions du CEA ainsi qu'à un industriel incontournable, l'ensemble présentant des cultures projet différentes.

Le projet étudié est constitué de trois sous-systèmes (SS) très séquencés, organisés un peu à la façon de poupées gigognes : les éléments conçus par le SS1 et fournis au SS2 sont intégrés pour concevoir un objet complexe qui sera soumis à des expérimentations dans une installation nucléaire dédiée intégrée au SS2. L'objet après la phase d'expérimentations est fourni au SS3 pour y être traité dans une autre installation nucléaire dédiée équipée de procédés conçus par le SS3. En fin de vie, cet

objet est géré par le SS3 en tant que déchet. Le projet est piloté par un niveau système (SYS) et peut être exposé à des risques externes dits « hors projet » (HP). D'un point de vue organisation projet, les sous-systèmes 1 et 2 partagent la conception d'un même objet, avec des interfaces importantes (périmètre correspondant au cadre en pointillés rouge).

Les acronymes dans les cases blanches correspondent à des fonctions projet, par exemple AIS pour « assistance en ingénierie système » ou RCR1 pour « responsable de la conception et réalisation du sous-système 1 ».

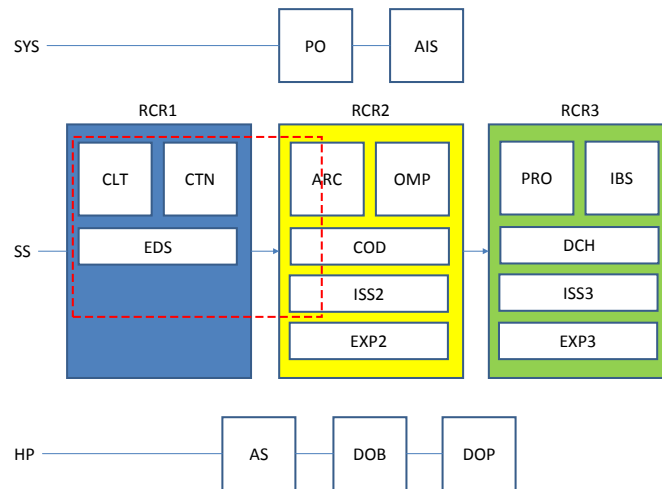


Figure 1. Description de l'organisation en place au sein des 5 parties du projet

Les 77 risques du projet sont portés soit par l'un des sous-systèmes, soit par le système lorsqu'ils sont transverses et enfin soit par une entité qui n'appartient pas au projet (les risques sont alors dits « hors-projet »), mais les conséquences de ces événements externes impacteraient le cadrage du projet s'ils s'avéraient.

Pour des raisons de confidentialité, aucun intitulé de risque ne sera fourni dans le papier, uniquement leur numéro d'identification.

### 3. METHODE

#### 3.1. Généralités

La constitution de groupes fortement interdépendants peut se faire de deux façons :

- soit on regroupe les risques interdépendants et on en déduit les groupes d'acteurs en fonction de qui est propriétaire de chaque risque,
- soit on établit les relations entre acteurs et on forme directement des groupes d'acteurs.

Nous choisissons la première possibilité car les données directement disponibles sont relatives aux risques.

Il nous paraît donc plus incertain de chercher à estimer des interdépendances entre acteurs qui seraient des agrégations d'une ou plusieurs relations, car cela pose des problèmes de compensation (plusieurs interdépendances faibles ne sont pas équivalentes à une interdépendance forte).

La récupération des données se fait avec un ou plusieurs experts, qui peuvent ainsi comparer leurs estimations et atténuer d'éventuels biais. Une des problématiques est la combinatoire, puisqu'il y a pour N risques  $N*(N-1)$  interactions possibles. La méthode retenue consiste, pour chaque événement du portefeuille  $R_i$ , à se poser la question suivante « mon risque  $R_i$ , s'il s'avérait, contribuerait-il à augmenter la probabilité d'apparition du risque  $R_j$  ? », ceci pour tout j, et à estimer la force du lien éventuel selon la grille prédéfinie table 1.

Table 1. Echelle qualitative d'estimation de la force du lien entre 2 risques

10	Lien de cause à effet direct
8	Contribution très probable
6	Contribution probable
4	Contribution peu probable
2	Contribution très peu probable
0	Aucun lien entre les deux événements

La méthodologie de regroupement des risques en fonction de leurs interactions comporte trois grands blocs (Filippone, Camastra, Masulli, & Rovetta, 2008; Schaeffer, 2007).

#### 3.2. Prétraitement : définition des paramètres

La réussite du regroupement dépend en partie de la structure des données (nombre de risques, nombre d'interactions entre risques, présence de boucles) mais également de l'organisation cible visée par le décideur (nombre de groupes, taille des groupes, homogénéité des groupes, ...). Or, il est extrêmement difficile de définir a priori le « bon » paramétrage du problème (Chen & Lin, 2003). Il faut donc procéder de façon itérative, avec des intervalles de valeurs par exemple pour la taille maximale des clusters, puis ensuite raffiner les paramètres pour converger vers des calculs plus précis en termes de choix de paramètres

et de choix d'algorithme. Il est par exemple très différent de spécifier une taille maximale pour les clusters ou une taille exacte pour chacun des clusters.

### 3.3. Traitement : utilisation combinée de plusieurs algorithmes

Le traitement se fait généralement via un algorithme permettant selon le contexte (taille du problème et configuration souhaitée par le décideur) d'optimiser ou d'approximer une solution (Camastra & Verri, 2005; Clauset, Newman, & Moore, 2004; Gomez, Sanchez-Silva, & Duenas-Osorio, 2011). Dans notre cas, au lieu de choisir un seul algorithme et d'optimiser dans l'espace de ses possibilités, nous avons choisi d'en utiliser plusieurs ayant des caractéristiques différentes. Cela permet de profiter des avantages de chacun de ces algorithmes, qui tendent à proposer soit des clusters grands, soit des clusters denses, soit des clusters équilibrés, etc... Une innovation de ce travail est donc de proposer une solution à partir de morceaux de solutions obtenues de différentes façons. Une autre alternative est de proposer plusieurs solutions complètes au lieu d'une seule précédemment, cela n'a pas été étudié dans cet article. Cette construction au fur et à mesure du paramétrage du problème est une amélioration par rapport aux versions précédentes (Marle & Vidal, 2012).

Quatre algorithmes connus (utilisés et appliqués de nombreuses fois à des cas industriels concrets) ont été retenus pour cette étude :

- 2 algorithmes basés sur l'optimisation du paramètre de modularité, qui s'appliquent à des graphes pondérés et orientés (Blondel, Guillaume, Lambiotte, & Lefebvre, 2008; Leicht & Newman, 2008)
- 1 algorithme basé sur l'exploitation des matrices DSM (développé dans le cadre de matrices de composants Produit mais réutilisé avec des risques projet), permettant de spécifier la taille maximale des clusters (Fredrik Borjesson & Katja Holtta-Otto, 2012; Gutierrez-Fernandez, 1998; Idicula, 1995; Thebeau, 2001). Cet algorithme a été tourné avec plusieurs tailles maximales entre 7 et 13.
- 1 algorithme spectral permettant de paramétrer le nombre de clusters souhaités (Bühler & Hein, 2009).

### 3.4. Post-traitement

En plus du choix d'extraire tel ou tel cluster ou morceau de cluster des différentes solutions obtenues, certains risques méritent une attention particulière, dans le sens où ils sont tellement reliés aux autres risques qu'il n'est pas forcément pertinent de les inclure dans un seul cluster.

Il est alors possible, soit de les sortir des clusters, ils sont considérés comme transverses, soit de les inclure dans deux clusters, on parle de chevauchement entre clusters. Il est très différent de faire tourner un algorithme avec clusters disjoints et de faire ensuite un post-traitement manuel pour définir quelques risques comme étant à cheval entre deux clusters que de faire tourner un algorithme sans la contrainte de disjonction entre clusters. Les résultats sont beaucoup plus pertinents dans le premier cas.

## 4. RESULTATS

### 4.1. Lecture de la matrice

La simple lecture la matrice, avant même de faire tourner les algorithmes, est déjà très riche en informations et donne des premières tendances qui seront ensuite consolidées par les mathématiques.

Nous avons 7 risques qui ne présentent aucun lien vers d'autres risques. Ces risques sont soit totalement indépendants (ils sont au nombre de 3), soit ultimes et associables à des effets.

Comme le montre la Figure 2, les 10 risques de niveau système sont très liés avec une moyenne de 11,9 liens par risque et une force moyenne du lien élevée de 7,6. Le SS1 est composé de 13 risques, eux-mêmes également très liés à de nombreux autres risques, avec une moyenne de 11,2 liens par risque et une force moyenne de 6. Ces deux entités, SYS et SS1 peuvent être considérées comme des générateurs de risques, ce qui est logique pour le SYS, transverse à l'ensemble des sous-systèmes, et pour le SS1 qui se positionne au début de la conception, et donc qui se répercute sur les autres sous-systèmes.

Les risques des SS2 et SS3 sont moins inter liés, ces deux sous-systèmes sont plus autonomes, hormis la partie plus commune du SS2 avec le SS1.

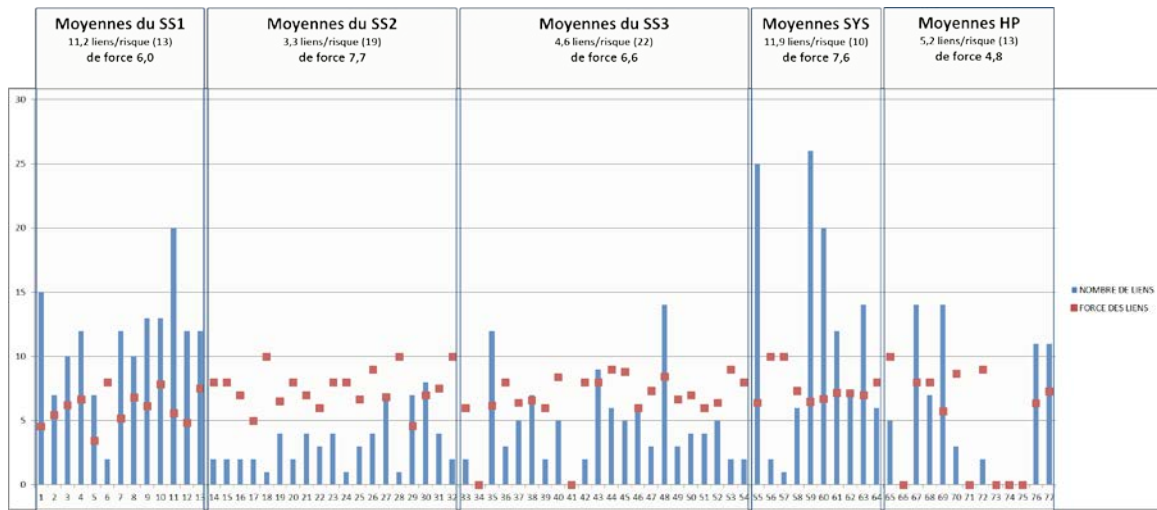


Figure 2. Nombre et force des liens vers les autres risques pour chaque risque du projet

Ces premiers résultats permettent d'identifier les générateurs de risques, ceux qui impactent un grand nombre de risques (lecture horizontale). Les risques qui impactent plus de 20, 15, 12 et 8 autres risques sont présentés par périmètre (Table 2). Plus des trois-quarts des risques du SS1 impactent au moins 8 autres risques, parmi lesquels plus de 60% en impactent au moins 12.

Table 2. Analyse topologique des risques pour chacun des lots du projet

	Nombre de risques par périmètre ayant un nombre de lien supérieur ou égal à :			
	20	15	12	8
SYS (10 risques)	3	3	5	5 (50%)
SS1 (13 risques)	1	2	8 (62%)	10 (77%)
SS2 (19 risques)	0	0	0	1 (5%)
SS3 (22 risques)	0	0	2	3 (14%)
HP (13 risques)	0	0	2	4 (31%)

Ces premières tendances peuvent déjà nous permettre de consolider les moyens à déployer en ingénierie système, et notamment sur la maîtrise des interfaces du projet. Plus un périmètre est inter lié et plus il présente des interfaces, et plus il présente des fragilités aux interfaces.

N'oublions pas qu'en management de projet :  $1 + 1 = 3$ , la troisième composante à considérer étant l'interface.

#### 4.2. Groupes d'affinités : taille des clusters et risques communs

Les clusters ont été obtenus en imposant des groupements de 15 et des groupements plus petits (en descendant jusqu'à 7), afin de pouvoir analyser les affinités des interactions sur grands et sur plus petits groupes. L'intérêt étant de confronter les données et de donner ensuite un sens aux regroupements mathématiques.

Il nous a paru intéressant, dans l'exploitation des données issus des calculs, de mixer des clusters issus de grands groupes et de petits groupes, dès lors que les risques n'appartiennent pas à plus de deux clusters. Trois risques ont été considérés transverses, c'est-à-dire hors clusters mais en interface avec (presque) tout. 14 risques n'ont été proposés dans aucun cluster. Nous avons ainsi conservé 5 groupes sur l'ensemble des clusters mathématiquement proposés :

##### 4.2.1. Groupe 1 = cluster 1

Ce groupe est strictement constitué du meilleur cluster proposé par les algorithmes, sans aucune modification de notre part. Ce cluster constitué de 15 risques est très dense et présente la particularité d'être équilibré autour de deux sous-systèmes (Figure 3) : 6 risques sont issus du SS1 (bleu) et 8 risques sont issus du SS2 (jaune). Un risque de niveau système (orange) vient compléter le cluster.

Ce cluster mixte ne fait que confirmer la nécessité d'une organisation croisée entre les SS1 et SS2 sur la conception de l'objet complexe (déjà visible sur la Figure 1). Le risque système concerne la stratégie de qualification de la conception dudit objet et donne encore plus de sens au cluster.

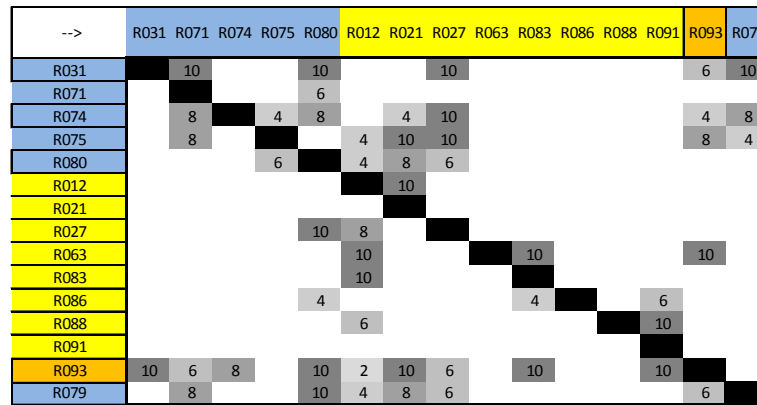


Figure 3. Description du 1<sup>er</sup> cluster mixte entre SS1 et SS2

En effet, si on regarde plus précisément les 9 responsables des 15 risques constitutifs du cluster 1, on retrouve exactement l'organisation projet observée autour de la conception (voir Table 3 et Figure 1). L'indicateur de densité *d* fournit une information sur le caractère très relié (hub) d'un risque, en entrée et/ou en sortie.

Table 3. Organisation à 9 acteurs induite par la formation du cluster 1

Périmètre	Responsable	Risques et densité
SYS	PO	[R093] – d = 0,42
SS1	RCR1	[R031] – d = 0,32
	CLT	[R071] – d = 0,20
	CTN	[R074] – d = 0,42
		[R079] – d = 0,48
		[R080] – d = 1,00
EDS	[R075] – d = 0,55	
SS2	RCR2	[R063] – d = 0,12
	ARC	[R083] – d = 0,10
		[R088] – d = 0,10
		[R091] – d = 0,15
	ISS2	[R012] – d = 0,38
		[R021] – d = 0,30
		[R027] – d = 0,35
	COD	[R086] – d = 0,22

#### 4.2.2. Groupe 2 = cluster 2

Le groupe 2 est constitué de 7 risques exactement issu d'un cluster proposé par les algorithmes avec une contrainte maximale de taille de 7. Ce petit cluster présente la particularité d'être particulièrement homogène avec cinq risques issus du SS3 (vert), un risque hors projet mais totalement ciblé sur le SS3 en termes d'impact (blanc) et un risque issu du SS1 (bleu), risque commun au cluster 1 (R079).

Ce cluster est centré autour de la conception des procédés du SS3 et des choix afférents (Figure 4).

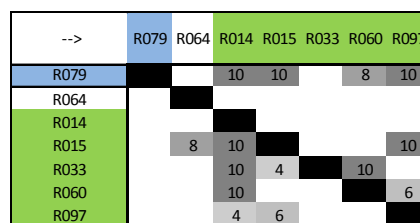


Figure 4. Description du 2<sup>e</sup> cluster centré sur le SS3-Conception

Le risque R079 du SS1 représente l'objet en tant que donnée d'entrée pour la conception desdits procédés. Cette proposition de cluster propose une organisation mathématique qui, à nouveau, a tout son sens vis-à-vis du projet, et permet de relier des acteurs divers mais dont l'interfaçage correct est très important pour la bonne marche de cette partie du projet (Table 4).

Table 4. Organisation centrée autour de l'acteur PRO induite par la formation du cluster 2

Périmètre	Responsable	Risques et densité
SS1	CTN	[R079] – d = 0,48
HP	(lié au SS3)	[R064] – d = 0,02
SS3	RCR3	[R097] – d = 0,28
	PRO	[R014] – d = 0,40
		[R015] – d = 0,50

	[R033] – d = 0,25
	[R060] – d = 0,32

#### 4.2.3. Groupe 3

Le groupe 3 est constitué de 18 risques (Figure 5). Nous sommes partis d'un cluster avec un regroupement de 15 proposé par les algorithmes auquel nous avons ajouté 3 risques du fait de leur grande affinité avec les 15 premiers.

Ce groupe présente la particularité rare d'intégrer totalement un sous-groupe de 9 risques, lui-même issu d'un autre algorithme obtenu avec un regroupement de 7 auquel on a ajouté 2 risques à forte affinité (de R076 à R077). Ce sous-groupe est particulièrement dense, avec de nombreux liens estimés à 10.

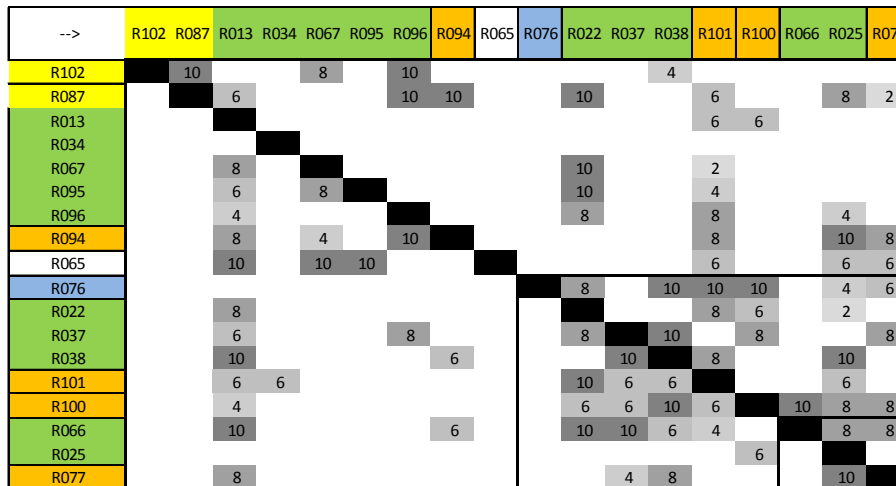


Figure 5. Description du 3<sup>e</sup> cluster (SS3 avec un sous-cluster servant au pilotage de l'interface SS3-SYS)

Enfin, les trois risques en bas à droite (R066 à R077) sont communs au groupe suivant (chevauchement autorisé car leur présence a été considérée comme pertinente dans les 2 groupes).

Il est intéressant pour bien comprendre le découpage de ce groupe et la particularité du sous-groupe, de reprendre les périmètres et les responsables des risques et de les corrélérer avec l'organisation du projet en sous-systèmes (Table 5).

Table 5. Organisation induite par la formation du cluster 3

Périmètre	Responsable	Risques et densité	Sous-groupe
SYS	PO	[R101] – d = 0,48	oui
		[R077] – d = 0,92	oui
	AIS/Sûreté	[R094] – d = 0,40	
		[R100] – d = 0,85	oui
SS1	RCR1	[R076] – d = 0,32	oui
SS2	OMP (interface SS3)	[R087] – d = 0,25	
		[R102] – d = 0,15	
SS3	RCR3	[R034] – d = 0,05	
		[R037] – d = 0,38	oui
		[R066] – d = 0,62	oui
	EXP	[R013] – d = 0,60	
		[R025] – d = 0,72	oui
	ISS3	[R038] – d = 0,38	oui
		[R095] – d = 0,15	
		[R022] – d = 0,40	oui
DCH	[R067] – d = 0,28		
	[R096] – d = 0,20		
HP	(lié au SS3)	[R065] – d = 0,18	

Ce groupe semble très dispersé puisque tous les périmètres du projet sont concernés. Cependant, quand on examine les thématiques abordées, on constate que tout tourne autour du SS3 (vert) avec deux grandes thématiques très liées : le terme source et les impacts sur l'exploitabilité de l'installation nucléaire du SS3 vis-à-vis de la sûreté et de la gestion des déchets.

Le sous-groupe de 9 risques se comporte un peu comme un comité de pilotage (COPIL) interne au groupe 3, car les risques retenus dans le sous-groupe sont tous d'ordre stratégique et pilotés par des responsables de haut niveau dans le projet. Ces risques sont tous liés à des prises de décisions très structurantes pour l'installation du SS3. On constate que les risques du sous-groupe sont en moyenne très denses (moyenne de 0,56 contre une moyenne de 0,25 pour les 9 autres risques du groupe). Bien que dispersé à première vue, ce groupe est donc très cohérent d'un point de vue projet. Cela renforce le besoin d'instruire avec beaucoup de soin les interfaces liées à ces thématiques et d'instruire les décisions au sein d'un comité de pilotage.

#### 4.2.4. Groupe 4

Ce grand groupe est constitué de 16 risques (au départ un groupe de 15 issu des algorithmes auquel on a ajouté 1 risque du fait de sa grande affinité). Comme le montre la Figure 6, trois risques du groupe 4 sont communs au groupe 3 (R066 à R077) et 4 risques sont communs au sous-groupe suivant (R070 à R003).

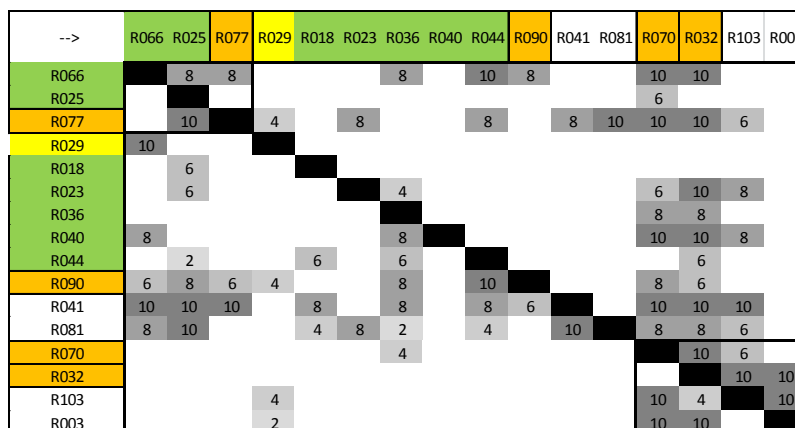


Figure 6. Description du 4<sup>e</sup> cluster bipolaire SS3-Budget(SYS)

Il est nécessaire de corréliser les risques appartenant au groupe 4 aux périmètres et responsables projet desdits risques, afin de lui apporter du sens (Table 6).

Le groupe 4 est globalement porté par l'installation du SS3 (vert) mais ciblé sur le coût des évolutions. Ce groupe est lié à la robustesse des données d'entrées qui impactent tout particulièrement le bâtiment, et notamment les évolutions du périmètre prises en compte après la contractualisation des marchés de réalisation.

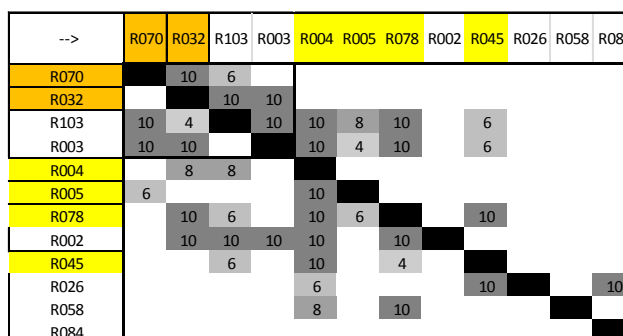
Les trois risques communs au groupe 3, au groupe 4 et au sous-groupe du groupe 3 (R066 à R077), sont particulièrement denses et stratégiques. En effet, ils se trouvent à l'interface entre le décisionnel, le réglementaire et les finances, le tout au profit du SS3. Ces risques sont particulièrement critiques et doivent être maîtrisés pour sécuriser le projet.

Table 6. Organisation induite par la formation du cluster 4

Périmètre	Responsable	Risques et densité	Risques communs aux groupes 3 et 4 et COPIL	
HP	Contrôle gestion	[R003] – d = 0,35 [R103] – d = 0,65		
	AS	[R081] – d = 0,38 [R041] – d = 0,40		
SYS	PO	[R032] – d = 0,62 [R070] – d = 0,65		
	AIS	[R077] – d = 0,92 [R090] – d = 0,60	oui	
	OMP (interface SS3)	[R029] – d = 0,22		
SS3	RCR3	[R023] – d = 0,22 [R036] – d = 0,28 [R040] – d = 0,12 [R066] – d = 0,62	oui	
		ISS3	[R018] – d = 0,15 [R025] – d = 0,72	oui
		IBS	[R044] – d = 0,32	

#### 4.2.5. Groupe 5

Ce groupe de 12 risques comprend essentiellement des risques hors projet (blanc), financiers de niveau système (orange) et liés au SS2 (jaune), ce qui n'était pas un regroupement attendu a priori (Figure 7).





**Figure 7.** Description du 5<sup>e</sup> cluster SS2-Hors Projet (EXT)

Il est nécessaire de corréler les 12 risques appartenant au groupe 5 aux périmètres et responsables projet desdits risques, afin de lui apporter du sens (Table 7).

**Table 7.** Organisation induite par la formation du cluster 5

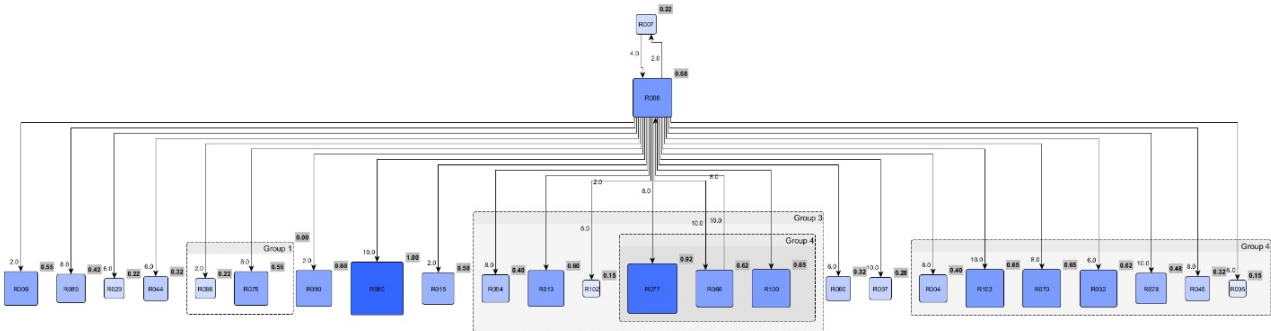
Périmètre	Responsable	Risques et densité
HP	Contrôle gestion	[R003] – d = 0,35
		[R103] – d = 0,65
	Décision politiques	[R002] – d = 0,12
		[R026] – d = 0,08
		[R058] – d = 0,05
		[R084] – d = 0,08
SYS	PO	[R032] – d = 0,62
		[R070] – d = 0,65
SS2	RCR2	[R005] – d = 0,15
		[R078] – d = 0,45
	EXP2	[R004] – d = 0,40
	ARC	[R045] – d = 0,32

Ce groupe rassemble tous les risques liés à des décisions de haut niveau qui impacteraient le SS2. Ces décisions d'ordre politique sont très peu liées car elle n'impactent que le SS2, mais la force des liens vers le SS2 est très élevée, ce qui explique le regroupement de ces risques dans le même cluster.

#### 4.3. Risques isolés ou transverses : chaîne de causes à effets

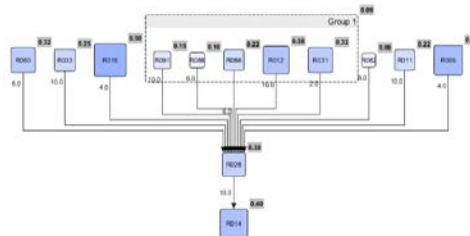
Certains risques ne sont pas intégrés à un groupe, soit parce qu'ils sont totalement indépendants, soit parce qu'ils sont tellement transverses au projet qu'il n'est plus possible de les intégrer dans un groupe plutôt que dans un autre. C'est le cas du risque R008, très générateur de risques, qui se situe très en amont dans la chaîne de causes à effets (Figure 8).

Lorsqu'on fait un zoom local de ce risque sur ses causes et ses effets au rang 1 (rang immédiat), on constate qu'il n'a qu'un seul prédecesseur mais une multitude de successeurs appartenant aux groupes 1, 3, 4 ou n'appartenant à aucun groupe.


**Figure 8.** Zoom sur le risque R008 isolé car transverse et lui-même grand générateur de risques

R008 ( $d=0,68$ ) impacte 24 risques dont la moitié appartiennent au groupe 4 et un quart au groupe 3. Si R008 devait être rattaché à un groupe, il serait positionné dans la zone de recouvrement entre les clusters 3 et 4, avec les risques R066, R025 et R077.

A l'inverse, on peut trouver des risques qui se comportent davantage comme des effets car leur apparition est soumise à de nombreux contributeurs. C'est le cas du R028 (figure 9), qui bien que présentant une interaction assez marquée avec le groupe 1 (un peu moins de la moitié des prédecesseurs appartiennent au groupe 1), est en lien avec d'autres risques, ce qui ne permet pas aux algorithmes de décider de son appartenance.





## 5. CONCLUSION

Cette méthodologie, qui consiste à partir d'une matrice de risques/risques de faire tourner des algorithmes permettant de regrouper les risques par affinités, est un puissant outil de management d'un projet. Couplée à l'estimation classique de la criticité des risques, cette méthodologie pourrait s'avérer être un moyen performant en tant qu'aide à la décision et de priorisation des actions de maîtrise pour optimiser les ressources du projet.

Cette étude pourrait par exemple nous amener à revoir l'organisation du projet et à le restructurer de façon à regrouper l'ensemble des acteurs responsables de la conception de l'objet complexe dans le SS1 pour cibler le SS2 sur l'installation nucléaire liée aux expérimentations.

Cette étude pourrait également permettre de cibler les actions de maîtrise sur les générateurs de risques et sur les risques stratégiques, notamment ceux communs aux différents groupes à forte densité. Les risques liés aux grandes décisions doivent également être regardés de près. Enfin, ce travail pourrait sensibiliser nos décideurs sur l'impact de modifier le cadrage du projet en cours de projet, tant sur les délais et ressources associées que sur le périmètre du projet.

Le pré requis de ce travail est toutefois de disposer d'un portefeuille de risques bien structuré, avec des données robustes, consolidées et parfaitement comprises et cohérentes. C'est la condition pour évaluer au plus juste les liens entre les différents risques dudit portefeuille.

## REFERENCES

- Blondel, V., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, P10008.
- Bühler, T., & Hein, M. (2009). Spectral clustering based on the graph p-Laplacian. In *Proceedings of the 26th Annual International Conference on Machine Learning* (pp. 81–88). ACM.
- Camastra, F., & Verri, A. (2005). A novel kernel method for clustering. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27(5), 801–804.
- Chen, S.-J., & Lin, L. (2003). Decomposition of interdependent task group for concurrent engineering. *Computers & Industrial Engineering*, 44(4), 633–650.
- Clauset, A., Newman, M. E. J., & Moore, C. (2004). Finding community structure in very large networks. *Phys. Rev. E*, 70(066111), 1–6.
- Filippone, M., Camastra, F., Masulli, F., & Rovetta, S. (2008). A survey of kernel and spectral methods for clustering. *Pattern Recognition*, 41.
- Fredrik Borjesson, & Katja Holta-Otto. (2012). IMPROVED CLUSTERING ALGORITHM FOR DESIGN STRUCTURE MATRIX. In *ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference Physical Review*.
- Gomez, C., Sanchez-Silva, M., & Duenas-Osorio, L. (2011). Clustering methods for risk assessment of infrastructure network systems. *Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering*, 1389–1397.
- Gutierrez-Fernandez, C. I. (1998). *Integration Analysis of Product Architecture to Support Effective Team Co-Location*. Massachusetts Institute of Technology.
- Idicula, J. (1995). *Planning for Concurrent Engineering*. Gintic Institute, Singapore.
- Leicht, E. A., & Newman, M. E. (2008). Community structure in directed networks. *Physical Review Letters*, 100(11), 118703.
- Marle, F., & Vidal, L. (2012). Faciliter la coordination entre propriétaires de risques projet en regroupant les risques selon leurs interactions. In *Lambda Mu - Risk Management Conference* (p. 8). Tours, France.
- Schaeffer, S. E. (2007). Graph clustering. *Computer Science Review*, (1), 27–64.
- Thebeau, R. E. (2001). *Knowledge Management of System Interfaces and Interactions for Product Development Process*. Massachusetts Institute of Technology.

## Mots clés

Aide à la décision, Organisation projet, Risques projet, Clustering, Matrice d'affinité, Lien de cause à effet, Interdépendance