



HAL
open science

Aide à la maîtrise des risques liés à la contractualisation et l'exécution d'un projet complexe pétrolier

Julien Ventroux

► To cite this version:

Julien Ventroux. Aide à la maîtrise des risques liés à la contractualisation et l'exécution d'un projet complexe pétrolier. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université Paris-Saclay, 2016. Français. NNT : . tel-01437334v2

HAL Id: tel-01437334

<https://hal.science/tel-01437334v2>

Submitted on 15 Mar 2017 (v2), last revised 6 Apr 2017 (v3)

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.

NNT : 2016SACLC077

THESE DE DOCTORAT
DE
L'UNIVERSITE PARIS-SACLAY
PREPAREE A
"CENTRALESUPELEC"

ECOLE DOCTORALE N° 573

Interfaces : Approches interdisciplinaires / fondements applications et innovation

Spécialité de doctorat : Sciences et technologies industrielles

Par

Mr Julien VENTROUX

Aide à la maîtrise des risques liés à la contractualisation et l'exécution d'un projet
complexe pétrolier

Thèse présentée et soutenue à « Chatenay-Malabry», le « 28/11/2016 » :

Composition du Jury :

Mr, GOURC, Didier
Mr, BONJOUR, Eric
Mr, AOUSSAT, Améziane
Me, LE CARDINAL, Julie
Mr, MARLE, Franck
Mr, VIDAL, Ludovic-Alexandre
Mr, LAGRANGE, Didier
Mr, ADDAI, Johnson-Peter

Professeur à l'école des Mines d'Albi-Carnaux
Professeur à Université de Lorraine
Professeur à l'ENSAM
Professeur à CentraleSupélec
Professeur à CentraleSupélec
Maître de conférence à CentraleSupélec
Risk Leader à TOTAL
Contract Manager à TOTAL

Rapporteur
Rapporteur
Examinateur
Examinatrice
Directeur de thèse
Co-directeur de thèse
Invité
Invité

SOMMAIRE

1. Contexte et problème industriel	11
1.1. Des projets de développement complexes	11
1.1.1. Des finalités tendues, diverses, contradictoires et évolutives	11
1.1.2. Le produit : l'installation pétrolière ou gazière (Annexe 1).....	12
1.1.3. Le processus depuis l'exploitation jusqu'à la mise en production	13
1.1.4. L'organisation : interne à l'entreprise TOTAL et externe	14
1.1.5. L'environnement du projet.....	15
1.1.6. Conclusion : ces projets présentent de nombreux risques, dont certains sont liés à leur complexité	15
1.2. Le management des risques dans les projets Exploration et Production (EP)	15
1.2.1. Cadre et objectifs.....	15
1.2.2. Processus et outils actuellement déployés	17
1.2.3. Conclusion intermédiaire : une inadéquation des outils et pratiques par rapport à la complexité	19
1.3. Les risques liés à la contractualisation	21
1.3.1. Description d'une stratégie contractuelle	21
1.3.2. Risques liés aux choix du découpage et du mode de rémunération.....	22
1.3.2.1. Compétences des contracteurs.....	22
1.3.2.2. L'effort de supervision et en particulier les interfaces	22
1.3.2.3. Le rapport de forces au moment de la signature du contrat, mais également lors de son execution	23
1.3.2.4. Les contraintes par rapport aux niveaux de focalisation	23
1.3.2.5. Choix du mode de rémunération (Annexe 2).....	24
1.3.3. Risques liés à l'environnement de la contractualisation.....	25
1.3.3.1. Les relations contractant/contracté.....	25
1.3.3.2. Le paradoxe inhérent à la contractualisation sous incertitude.....	25
1.3.3.3. Les contraintes de contenu local.....	26
1.3.3.4. Les contraintes réglementaires.....	26
1.3.4. Conclusion intermédiaire : une problématique d'anticipation au moment des décisions de contractualisation.....	27
1.4. Les risques liés à l'exécution du projet	27
1.4.1. Risques internes aux contrats.....	27
1.4.2. Risques entre contrats.....	28
1.4.3. Risques entre un contrat et l'environnement	28
1.4.4. Risques provenant de la phase de contractualisation.....	28
1.4.5. Risques de « Re-Engineering » / « Change Order », de retour vers la phase de contractualisation.....	28
1.4.6. Conclusion intermédiaire : une problématique organisationnelle pour gérer la multitude d'interdépendances entre les risques	29
1.5. Conclusion : un besoin industriel d'améliorer la maîtrise des risques liés à la sous-traitance dans les projets	31
2. Etat de l'art académique.....	33
2.1. Complexité et approche systémique	33
2.1.1. Complexité.....	34
2.1.2. Interactions / interrelations	35
2.1.3. Phénomènes de rétroactions et boucles.....	36
2.2. Maîtrise des risques pour les systèmes complexes	37

2.2.1.	Processus de management des risques.....	37
2.2.2.	Identification des risques (Annexe 3)	37
2.2.2.1.	Retour d'expérience.....	38
2.2.2.2.	Réalisations d'interviews	38
2.2.3.	Analyse des risques	38
2.2.4.	Limites des méthodes actuelles par rapport au contexte de la thèse	41
2.3.	Sous-traitance et contractualisation.....	42
2.3.1.	Stratégie contractuelle : découpage du projet.....	42
2.3.2.	Sélection du type de rémunération.....	42
2.3.3.	Définition du contrat : Comment bien définir les exigences contractuelles ?	44
2.3.4.	Processus d'attribution du contrat : Comment sélectionner le meilleur contracteur ?	45
2.4.	Exécution d'un ensemble de contrats interdépendants	47
2.4.1.	Type 1 : Accumulation de structures mono-projet	47
2.4.2.	Type 2 : Emergence des Project Management Office (PMO).....	47
2.4.3.	Type 3 : Apparition des groupes Interentreprises (ICG : Inter-Companies Group).....	48
2.5.	Conclusion : un besoin académique d'adapter l'approche systémique aux spécificités de la maîtrise des risques dans les projets sous-traités	49
3.	Problématiques et Démarches.....	51
3.1.	Problématiques.....	51
3.2.	Démarches.....	52
3.2.1.	Démarche générale	52
3.2.2.	Comment minimiser les risques liés à la définition de la stratégie contractuelle ?.....	56
3.2.3.	Comment minimiser les risques liés aux processus et pilotage des phases de contractualisation et d'exécution ?.....	57
4.	Comment minimiser les risques liés à la définition de la stratégie contractuelle ?	59
4.1.	Contexte	59
4.2.	Modélisation des éléments et de leurs interactions en phase de contractualisation	59
4.2.1.	Au niveau global : la matrice SC (Stratégie Contractuelle).....	59
4.2.2.	Au niveau local (1/3) : la matrice ALEAI (Activités, Livrables & Exigences, Acteurs et Interactions entre acteurs).....	60
4.2.3.	Au niveau local (2/3) : la matrice RCCSC (Risques et Contraintes des Cellules de la Stratégie Contractuelle).....	60
4.2.4.	Au niveau local (3/3) : la matrice RSM (Risk Structure Matrix).....	61
4.3.	Analyse des vulnérabilités	62
4.3.1.	Définition et identification de vulnérabilité	62
4.3.2.	Méthode d'estimation et échelles de vulnérabilités.....	63
4.3.3.	Descriptions des deux approches : descendante ou ascendante.....	65
4.3.3.1.	Approche descendante : du niveau global au niveau local	65
4.3.3.2.	Approche ascendante : du niveau local au niveau global	66
4.4.	Aide à la sélection de stratégies contractuelles en fonction de leurs vulnérabilités.....	69
4.4.1.	Au niveau global : définition de la stratégie contractuelle comme un ensemble de contrats interdépendants	69
4.4.2.	Au niveau local d'une cellule contractuelle (activités) / d'un contrat.....	71
4.4.3.	Au niveau local et global : sélection des contracteurs	71
4.4.4.	Au niveau local : sélection du type de rémunération.....	71
4.4.5.	Au niveau local et global : amélioration des « exhibits » des contrats	72
4.5.	Application à un cas test industriel : le package FPSO du projet Pazflor.....	73
4.5.1.	Modélisation.....	73
4.5.2.	Analyse des vulnérabilités locales (contrats) et globales (stratégies contractuelles).....	73
4.5.2.1.	Analyse au niveau d'une stratégie contractuelle en utilisant les approches descendante et ascendante	73
4.5.2.2.	Sélection des contracteurs.....	77
4.5.2.3.	Au niveau local puis global : étude des propagations dans le projet (dynamique projet).....	79
4.5.3.	Recommandations.....	82

4.5.3.1.	Au niveau global : sélection du contrat FPSO le moins vulnérable	82
4.5.3.2.	Au niveau local : sélection des contracteurs et type de rémunérations	84
4.6.	Conclusion du chapitre	85
5.	Comment minimiser les risques liés aux processus de pilotage des phases de contractualisation et d'exécution ?	87
5.1.	Contexte et problème	87
5.2.	Analyse des vulnérabilités des phases contractualisation et exécution	90
5.2.1.	Contractualisation	90
5.2.2.	Exécution	90
5.3.	Analyse des phénomènes complexes potentiels liés à la dynamique du projet	91
5.3.1.	Analyse de la propagation d'une source dans son réseau	91
5.3.2.	Echelle de vulnérabilité utilisée pour les acteurs et interactions entre acteurs	92
5.4.	Aide à la décision pour regrouper les acteurs en fonction des phénomènes détectés	93
5.4.1.	Traitement par clustering	93
5.4.2.	Clustering des éléments par rapport à leurs interactions	94
5.4.3.	Clustering par inclusion en prenant en compte les phénomènes complexes et dangereux ..	95
5.5.	Application à un cas test industriel : le projet Pazflor	97
5.5.1.	Analyse et suivi de la vulnérabilité des phases de contractualisation et d'exécution	98
5.5.1.1.	Contractualisation	98
5.5.1.2.	Exécution	99
5.5.2.	Pilotage de la contractualisation / Acteurs cruciaux pour les décisions	99
5.5.3.	Pilotage de l'exécution du projet / Collaboration entre acteurs	101
5.5.3.1.	Etape 1 : Modélisation et projet d'analyse des éléments et de leurs interactions	101
5.5.3.2.	Etape 2 : Traitement par clustering	103
5.5.3.3.	Etape 3 : Nouvelle vision élaboration groupe de supervision	106
5.5.4.	Discussion et application managériale	107
5.6.	Conclusion du chapitre	108
6.	Conclusion académique	111
7.	Conclusion industrielle	115
7.1.	Estimation d'un nombre de cellules à remplir pour chacune des matrices	116
7.1.1.	Matrice ALEAI (activités, livrables et exigences, acteurs, interaction entre acteurs)	116
7.1.2.	Matrice RCCSC (Risques & Contraintes vs Cellules de la Stratégie Contractuelle)	116
7.1.3.	Matrice RSM : Risk Structure Matrix	118
7.1.4.	Nombre de cellules estimées en moyenne par rapport aux autres sous-matrices de l'ALEAI 118	
7.1.5.	Nombre de cellules concernant l'ensemble des matrices (80%)	118
7.1.6.	Nombre de cellules spécifiques (20%)	118
7.1.7.	Nombre de cellules à estimer au total	118
7.2.	Consommation moyenne du temps de travail de notre démarche générale	118
7.3.	Nombre de cellules (moyen) estimées actuellement lors de la réalisation d'un projet de développement pétrolier à l'aide du « Risk Register »	121
Annexe 1 :	Description détaillée des modules d'une installation pétrolière offshore	124
Annexe 2 :	Choix du mode de rémunération	130
Annexe 3 :	Méthodes d'identification des risques	132
Annexe 4 :	Méthodes analyses des risques existantes	136
Annexe 5 :	Listes des risques et contraintes liés aux cellules contractuelles	146
Glossaire		150
Bibliographie		156

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1: EXEMPLE D'UN PROJET DEEP OFFSHORE	11
FIGURE 2: EXEMPLE D'UN PROJET PETROLIER ET DE SON FPSO	13
FIGURE 3: EXEMPLE POUR UN PROJET OFFSHORE DES PACKAGES SOUS-MARINS SURF ET SSPS.....	13
FIGURE 4: LE PROCESSUS DEPUIS L'APPRECIATION DU GISEMENT JUSQU'AU DEMARRAGE DE L'INSTALLATION	14
FIGURE 5: ILLUSTRATION DE L'ORGANISATION MATRICIELLE DES PROJETS E&P	15
FIGURE 6: LE « COSO INTERNATIONAL CONTROL FRAMEWORK »	16
FIGURE 7: PROCESSUS DE MANAGEMENT DES RISQUES PROJET CHEZ TOTAL E&P	17
FIGURE 8: OUTILS DE MANAGEMENT DES RISQUES PROJET CHEZ TOTAL E&P	17
FIGURE 9: TYPES DE DISTRIBUTIONS UTILISEES EN SIMULATION DE MONTE CARLO	19
FIGURE 10: EXEMPLE DE STRATEGIE CONTRACTUELLE.....	22
FIGURE 11: NIVEAUX D'ETUDES PAR RAPPORT A UN EXEMPLE DE STRATEGIE CONTRACTUELLE	23
FIGURE 12: EXEMPLE DE LA PERCEPTION DES RISQUES SELON LES ACTEURS.....	29
FIGURE 13: EXEMPLE D'ORGANIGRAMME PROJET.....	30
FIGURE 14: 18 TYPES DE RELATIONS ENTRE DEUX ACTEURS (LE MOIGNE, 1994)	36
FIGURE 15: TYPE 1 – ACCUMULATION DE STRUCTURES MONO-PROJET	47
FIGURE 16: TYPE 2 – DIFFERENTES DEFINITIONS DES PMO(S).....	47
FIGURE 17: TYPE 3 – DIFFERENTS EXEMPLES D'ICG(S)	49
FIGURE 18: STRUCTURE DE LA MATRICE ALEAI : ACTIVITES, LIVRABLES & EXIGENCES, ACTEURS ET INTERACTION ENTRE ACTEURS.....	53
FIGURE 19: LITTERATURE RELATIVE A LA PROPAGATION DES CHANGEMENTS ENTRE L'ARCHITECTURE DU PRODUIT ET L'ORGANISATION	54
FIGURE 20: LES DIFFERENTES SOMMES POUVANT ETRE EFFECTUEES A L'AIDE DE LA MATRICE ALEAI.....	55
FIGURE 21: LES TYPES DE PROPAGATION	56
FIGURE 22: EXEMPLE DE LA VULNERABILITE D'UNE STRATEGIE CONTRACTUELLE SELON LE CHOIX DE CERTAINS FOURNISSEURS.....	60
FIGURE 23: ILLUSTRATION PARTIELLE DE LA MATRICE RCCSC : RISQUES ET CONTRAINTES VS CELLULES DE LA STRATEGIE CONTRACTUELLE	61
FIGURE 24: EXEMPLE D'UNE MATRICE RISQUES / RISQUES : RSM	62
FIGURE 25: ECHELLES POUR ESTIMER LA VULNERABILITE D'UNE CIBLE.....	64
FIGURE 26 : EXEMPLE D'UTILISATION DE ES ECHELLES POUR ESTIMER LA VULNERABILITE D'UN EVENEMENT.....	64
FIGURE 27: VULNERABILITE DE L'ACTIVITE B: ENTREE	65
FIGURE 28 : VULNERABILITE DE L'ACTIVITE B: INTERNE	65
FIGURE 29: VULNERABILITE DE L'ACTIVITE B : SORTIE	65
FIGURE 30: EXEMPLE ALEATOIRE DE STRATEGIE CONTRACTUELLE ELABOREE ACTUELLEMENT PAR L'ENTREPRISE TOTAL	69
FIGURE 31: EXEMPLE DE SCENARIOS DE STRATEGIE CONTRACTUELLE ESTIMES – FOCUS FPSO ET SES INTERACTIONS.....	74
FIGURE 32: ESTIMATION DE LA MATRICE ALEAI PAR RAPPORT AUX CELLULES VULNERABLES DE LA STRATEGIE CONTRACTUELLE DU SCENARIO C	75
FIGURE 33: ESTIMATION DE LA MATRICE RCCSC PAR RAPPORT AUX CELLULES VULNERABLES DE LA STRATEGIE CONTRACTUELLE DU SCENARIO C	75
FIGURE 34: MATRICE ACTIVITES/ACTIVITES DE LA MATRICE ALEAI DU PROJET PAZFLOR FOCALISE SUR LE FPSO ET SES INTERACTIONS	76
FIGURE 35: MATRICE RCCSC DU PROJET PAZFLOR FOCALISE SUR LE FPSO ET SES INTERACTIONS.....	76
FIGURE 36: MATRICE DE LA STRATEGIE CONTRACTUELLE (AGREGEE) DU PROJET PAZFLOR FOCALISE SUR LE FPSO ET SES INTERACTIONS	77
FIGURE 37: MATRICE ALEAI COMPARANT LES VULNERABILITES (INPUT ET OUTPUT) DES « BIDDERS » DU FPSO	77
FIGURE 38: ILLUSTRATION PARTIELLE DE L'EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES SOUMISSIONNAIRES.....	78
FIGURE 39: ILLUSTRATION DU POSITIONNEMENT DE LA CELLULE CONTRACTUELLE : FABRICATION TOPSIDES (FPSO) - INCOMMING.....	79
FIGURE 40: ILLUSTRATION DU POSITIONNEMENT DE LA CELLULE CONTRACTUELLE: FABRICATION TOPSIDES (FPSO) – OUTCOMING	79
FIGURE 41: ILLUSTRATION DES PREDECESSEURS DE LA CELLULE CONTRACTUELLE : FABRICATION TOPSIDES (FPSO)	80
FIGURE 42: ILLUSTRATION DES SUCCESEURS DE LA CELLULE CONTRACTUELLE : FABRICATION TOPSIDES (FPSO)	80
FIGURE 43: ILLUSTRATION D'UN EXEMPLE DE CHAINE POUVANT SURVENIR DANS LE PROJET	80
FIGURE 44: ILLUSTRATION D'UNE BOUCLE POSITIVE POUVANT IMPACTER LE PROJET	81
FIGURE 45: ILLUSTRATION D'IMPACTS MULTIPLES DE LA CELLULE CONTRACTUELLE : FABRICATION TOPSIDE (FPSO) SUR LE PROJET	81
FIGURE 46: ILLUSTRATION DE L'EVOLUTION DE L'ELEMENT TOPSIDE ET DE SON ORGANISATION TOUT AU LONG DU PROJET.	82
FIGURE 47: COMPARAISON DES DEUX STRATEGIES CONTRACTUELLES REALISEES PAR DEUX APPROCHES DIFFERENTES	82
FIGURE 48: AGREGATION DE LA STRATEGIE CONTRACTUELLE EN DIFFERENCIANT LA VULNERABILITE DE L'ORGANISATION DU CONTRACTEUR EPC	83
FIGURE 49: ILLUSTRATION DES EVENTUELLES INTERACTIONS DES PARTIES PRENANTES DU PAYS HOTE AVEC LE PROJET ET SON ENVIRONNEMENT	89
FIGURE 50: EXEMPLE D'UNE MATRICE FICTIVE ORGANISEE ENTRE LES PHASES DU PROJET	92
FIGURE 51: ECHELLE DE VULNERABILITE LIEE AUX ACTEURS	92
FIGURE 52: ILLUSTRATION DE BASE ICG EN CLUSTER DANS LE PETIT EXEMPLE FICTIF (CONFIGURATION NN5).....	95
FIGURE 53: MATRICE REMANIEE AVEC LA CONTRAINTE DISJONCTIVE ET LA TAILLE MAXIMUM DE 5 (CONFIGURATION YN5)	96

FIGURE 54: MATRICE REMANIEE AVEC LA CONTRAINTE DISJONCTIVE ET LA TAILLE MAXIMUM DE 7 (CONFIGURATION YN7)	96
FIGURE 55: DEUXIEME VERSION DE L'ORGANISATION PERMETTANT LE CHEVAUCHEMENT DES CLUSTERS (YY7)	96
FIGURE 56 VULNERABILITE GENERALE DE LA PHASE DE CONTRACTUALISATION.....	98
FIGURE 57: STRATEGIE CONTRACTUELLE EVALUEE D'UNE MANIERE GENERALE (VULNERABILITE) – CONTRACTEUR DSME.....	99
FIGURE 58: ILLUSTRATION DE LA MATRICE DE VULNERABILITE DES RELATIONS ENTRE ACTEURS DE LA PHASE DE CONTRACTUALISATION	100
FIGURE 59: MATRICE ALEAI DU CAS PAZFLOR FOCALISE SUR LE FPSO ET SES INTERFACES	102
FIGURE 60: ILLUSTRATION DES PHENOMENES DANGEREUX IDENTIFIES AU SEIN DES MATRICES ACTEURS/ACTEURS	102
FIGURE 61: ILLUSTRATION DES PRINCIPALES INTERACTIONS DANS LA CONFIGURATION DE L'ORGANISATION INITIALE	103
FIGURE 62: ILLUSTRATION DE LA CONFIGURATION DE CLUSTERING CHOISIE.....	104
FIGURE 63: COMPARAISON DES CONFIGURATIONS INITIALES (A DROITE) ET EN CLUSTER (A GAUCHE) POUR LA CHAINE 1	104
FIGURE 64 : COMPARAISON DES CONFIGURATIONS INITIALES (A DROITE) ET EN CLUSTER (A GAUCHE) POUR LA BOUCLE 1	105
FIGURE 65: COMPARAISON DES CONFIGURATIONS INITIALES (A DROITE) ET EN CLUSTER (A GAUCHE) POUR LA BOUCLE 2	105
FIGURE 66: COMPARAISON DES CONFIGURATIONS INITIALES (A DROITE) ET EN CLUSTER (A GAUCHE) POUR LA CHAINE 2	105
FIGURE 67: ILLUSTRATION DES MEMBRES INTEGRES DANS LE GROUPE DE SUPERVISION.....	106
FIGURE 68: ILLUSTRATION DES DEUX NIVEAUX D'IMPORTANCES DES RISQUES ET CONTRAINTES (ZOOM MATRICE RCCSC) – ESTIMATION GENERALE.....	117
FIGURE 69: ILLUSTRATION DES DEUX NIVEAUX D'IMPORTANCES DES RISQUES ET CONTRAINTES (ZOOM MATRICE RCCSC) – ESTIMATION DETAILLEE.....	117
FIGURE 70: EXEMPLE DE FPSO: FLOATING PRODUCTION STORAGE AND OFFLOADING - HULL	122
FIGURE 71: EXEMPLE D'ILLUSTRATION DE TOPSIDES.....	122
FIGURE 72: EXEMPLE D'ILLUSTRATION D'UN RISER PULL-IN SYSTEM	123
FIGURE 73: ILLUSTRATION DE LA BUOY DU PROJET PAZFLOR	123
FIGURE 74: SUBSEA SYSTEM (SYSTEME PETROLIER SOUS-MARIN)	124
FIGURE 75: EXEMPLE D'ILLUSTRATION D'UN UMBILICAL.....	125
FIGURE 76: ILLUSTRATION D'UN X-MAS TREE DU PROJET PAZFLOR.....	125
FIGURE 77: EXEMPLE D'ILLUSTRATION D'UN SSU DU PROJET PAZFLOR.....	126
FIGURE 78: ILLUSTRATION D'UN MANIFOLD DU PROJET PAZFLOR	126
FIGURE 79: EXEMPLE DE TANDEM OFFLOADING	127
FIGURE 80: METHODE QQQQPC	130
FIGURE 81: EXEMPLE DE TABLEAU BASE SUR LA METHODE APR	134
FIGURE 82: EXEMPLE DE REPRESENTATION BASEE SUR LA METHODE FTA.....	135
FIGURE 83: EXEMPLE DE REPRESENTATION BASEE SUR LA METHODE ETA	135
FIGURE 84: EXEMPLE DE TABLEAU BASE SUR LA METHODE AMDEC	136
FIGURE 85: EXEMPLE DE TABLEAU BASE SUR LA METHODE HAZOP	137
FIGURE 86: PROCESSUS DE LA METHODE MOSAR.....	137
FIGURE 87: MODELISATION MADS.....	138
FIGURE 88: HYPERESPACE DU DANGER ET CES CINQ AXES.....	138

Remerciements

Je tiens à remercier Franck Marle et Ludovic-Alexandre Vidal pour m'avoir transmis leurs savoirs, suivi, guidé, encouragé tout au long de ma thèse mais aussi lors des bons et mauvais moments de ma vie personnelle (valeurs humaines très importantes). Je les remercie aussi pour m'avoir donné la possibilité de laisser libre cours à mon imagination afin de me challenger tout en me calmant dans mes folies imaginatives.

Je tiens à remercier Brendan Amstrong pour m'avoir donné tout son soutien concernant les deux ans passés ensemble et Etienne Hammann pour m'avoir fait comprendre que « *le diable se cache dans les détails* » et qu'il était donc nécessaire de partir à la recherche des signaux faibles.

J'exprime ma gratitude aux acteurs de l'entreprise TOTAL, et tout particulièrement à Petter Addai et Didier Lagrange (mes encadrants) pour l'apport de leurs expériences professionnelles qui m'ont permis de rapprocher mes outils et méthodes de la réalité du terrain. Je tiens à remercier encore Didier Lagrange mais aussi Thierry Péron pour leurs disponibilités et leur aide pour la construction du cas Pazflor qui a demandé beaucoup de temps sur de courts délais en toute fin de thèse.

Je tiens à remercier aussi Daniel Nalda pour m'avoir ouvert les portes de la culture générale qui m'a été d'une grande aide durant mes travaux de recherche.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble de mes amis doctorants (Hadi, Karim, Hakim, Massinissa, Hichem, Pietro, Amine, Selmen, Mathieu, Maxime, Denise, Jessie, Tasneem, Yurong...) du laboratoire LGI de l'école CentraleSupélec mais aussi mes amis de l'entreprise TOTAL pour leur bonne humeur et l'ensemble des fous rires et discussions enrichissantes que l'on a pu avoir.

Merci à Jean-Clause Bocquet l'ancien directeur du laboratoire LGI et Bernard Yannou le nouveau directeur ainsi que les trois mousquetaires Sylvie, Delphine et Corinne pour leur joie de vivre mais aussi pour avoir été présent lorsque j'avais des questions concernant de multiples sujets liés au laboratoire.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à mes parents, mon frère et l'ensemble de famille qui m'ont toujours soutenu et encouragé.

CHAPITRE 1

CONTEXTE ET PROBLEME INDUSTRIEL

Résumé

Ce chapitre introductif permet de poser le contexte industriel et les enjeux et problèmes associés à la conduite de grands projets complexes de développements pétroliers et gaziers. Il présente donc rapidement les caractéristiques de tels projets, puis les problèmes au sens industriel qui peuvent se poser. Ceux-ci sont présentés sous forme de risques, puisque nous nous situons dans les phases amont du projet et que l'objet risque est un élément central de focalisation de cette thèse. Les grands principes actuellement manipulés au sein de l'entreprise sont présentés. Puis les grands risques sont introduits selon la phase dans laquelle on se situe, en distinguant la contractualisation (qui débouche sur la signature des contrats) et l'exécution (qui est la mise en œuvre des contrats signés).

1. Contexte et problème industriel

1.1. Des projets de développement complexes

L'entreprise TOTAL via sa branche Exploration & Production développe, construit et exploite un grand nombre d'actifs pétroliers et gaziers. La Figure 1, ci-dessous, montre le cas d'un projet pétrolier avec une installation en haute mer et eaux profondes, appelé deep offshore.

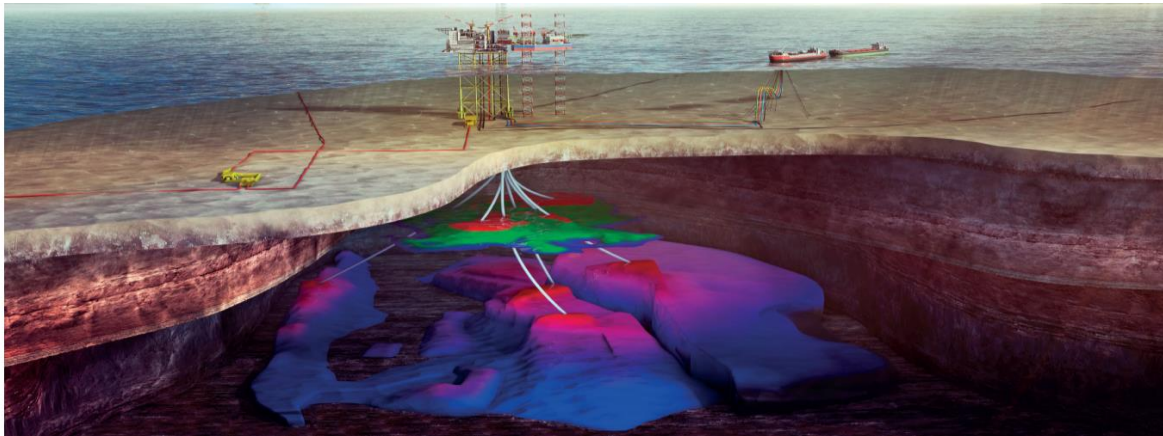


Figure 1: Exemple d'un projet deep offshore

Comme tout projet, ils se caractérisent par la volonté d'atteindre un certain nombre d'objectifs, dans une durée la plus courte possible, à tout le moins maîtrisée par rapport à l'attente du pays hôte, à coût maîtrisé, tant dans la phase de développement que dans la phase qui suit d'opération et maintenance.

1.1.1. Des finalités tendues, diverses, contradictoires et évolutives

Les ordres de grandeur des projets pétroliers et gaziers sont parmi les plus grands des projets industriels. En termes de coûts, un projet peut coûter plusieurs, voire plusieurs dizaines de milliards d'euros. Ces coûts vont en augmentant, en particulier car il faut aller chercher le pétrole dans des endroits de plus en plus difficiles (eaux profondes par exemple). En termes de délai, la sanction d'un jour de retard sur la livraison du projet est chiffrable directement avec la perte de production qui peut représenter très vite des dizaines de millions d'euros. Et enfin en termes de qualité, au sens large, en particulier sécurité, les enjeux sont là-aussi très élevés, pendant le chantier mais aussi pendant l'exploitation du site et sa maintenance, car c'est une activité risquée.

Le Tableau 1 ci-dessous présente quelques exemples de préoccupation de différentes parties prenantes, pour lesquelles on peut voir tout de suite leur grande diversité, voire contradiction.

Tableau 1: Exemples de préoccupation de différentes parties prenantes

Pays Hôtes	Revenus, croissance économique, développement d'infrastructures, stabilité politique, transfert de technologie, meilleur approvisionnement de pétrole au sein du pays...
Compagnie	Non-discrimination devant la loi, stabilité, précision et sécurité juridique, placements à capital protégé, main d'œuvre compétente, retour sur investissement élevé...
Population	Programmes d'investissement social : cliniques, protection de l'environnement, avantages économiques : l'emploi, infrastructure : routes, électricité,

De plus, il arrive que pendant la durée du projet, qui est de 3 à 5 ans, il y ait des changements à différents niveaux : état du marché, prix du baril, stabilité politique, etc... Ceci peut également amener à faire évoluer certaines des finalités pour lesquelles un équilibre avait été trouvé précédemment, souvent difficilement vu les contraintes fortes.

Un projet de développement se caractérise selon les 3 axes suivants: le Produit à réaliser, le Processus pour le réaliser et l'Organisation pour dérouler ce processus.

1.1.2. Le produit : l'installation pétrolière ou gazière (Annexe 1)

Le Produit (Figure 2) est en fait un outil de production d'hydrocarbures qui peut sortir jusqu'à plusieurs centaines de milliers de barils équivalent pétrole par jour.

L'installation comprend les équipements relatifs au forage au niveau des réservoirs & aux puits (équipements SSPS), les matériels de raccordement (équipements SURF) aux plates-formes (FPSO) qui elles-mêmes comportent plusieurs installations de production, de stockage (équipements FPSO et OLS), etc... Actuellement l'entreprise TOTAL développe en ayant une forte tendance à décomposer le projet (vision cartésienne) par leurs équipements qui représentent les sous-projets. Cette décomposition est aussi démontrée dans le domaine académique ou industriel (Alexander, 1964), (Pimpler et Eppinger, 1994), (IEEE, std 1220 TM, 2003).

Nous présentons ici l'exemple d'un projet réalisé par TOTAL il y a 5 ans qui servira de cas test pour illustrer les propositions dans le cadre de cette thèse. Il s'agit du projet Pazflor, réalisé en Afrique en deep offshore. Il comprend deux grandes parties : la partie en surface et la partie sous-marine.

En surface, le principal package est le FPSO (Floating Production, Storage and Offloading), représenté en Figure 2. Ses dimensions représentent: 325 mètres de long (aussi grand que la Tour Eiffel), 65 mètres de large (aussi large qu'un terrain de Football) et un poids de 120 000 tonnes, pour une capacité de production d'environ 220 000 barils/jour et pour un coût de construction proche des 2,5 milliards de dollars.



Figure 2: Exemple d'un projet pétrolier et de son FPSO

La partie sous-marine se décompose elle-même en deux : le SSPS (pour Subsea SEPARATION Production System) qui rassemble les équipements posés sur le fond, et le SURF (Subsea Umbilicals, Risers and Flowlines) qui fait la connexion avec la surface (voir Figure 3). Le Forage (Drilling) ne sera pas pris en compte dans le cas test de notre mémoire, c'est un élément géré en partie indépendamment du reste du projet. L'ensemble de ces packages représente plusieurs milliers de tonnes d'équipements sous-marins, répartis sur une surface de 600 km² (6 fois la surface de Paris) à une profondeur entre 600 et 1200 mètres de profondeur. Les coûts de développement concernant ces deux modules pour le projet Pazflor sont d'environ 2,15 milliards de dollars pour le SPS et 1,15 milliards pour le SURF.

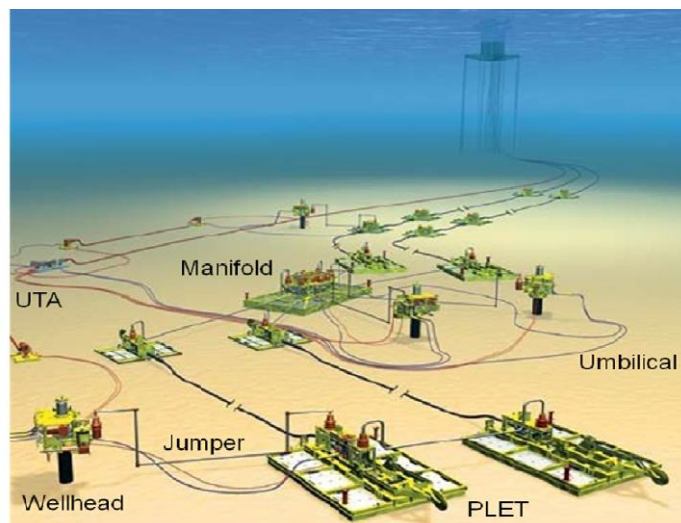


Figure 3: Exemple pour un projet offshore des packages sous-marins SURF et SSPS

Comme dans tout projet, ce produit s'obtient progressivement en suivant un processus qui va depuis les spécifications jusqu'à la réalisation concrète, décrit dans le paragraphe suivant.

1.1.3. Le processus depuis l'exploitation jusqu'à la mise en production

Comme illustré sur la Figure 4, le cycle de vie d'un actif pétrolier démarre par la découverte d'un ou plusieurs gisements, potentiellement exploitables avec une seule installation dans certains cas. La phase suivante consiste à apprécier la difficulté et la rentabilité de l'extraction de ce gisement, en concevant en parallèle de façon préliminaire puis plus détaillée l'architecture de la future installation. Cela se poursuit en Avant-Projet par des études de plus en plus fines qui analysent également l'état du marché et la capacité à sous-traiter telle ou telle partie du projet à tel ou tel contracteur. Le projet de développement lui-même comprend l'Ingénierie basique, elle-même souvent sous-traitée, mais

qui a pour but de dimensionner les futurs contrats qui représentent 90% des coûts, et qui concernent les phases d'ingénierie détaillée, construction, installation et commissionnement. La particularité est qu'à la fin de l'ingénierie basique, un comité décide de continuer ou pas le projet (appelé Sanction qui est un go/no go).

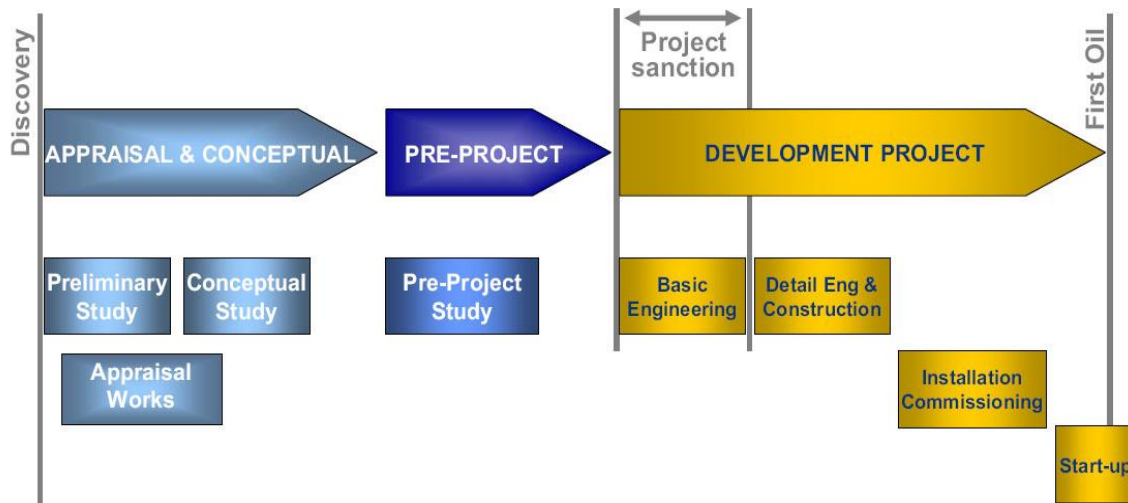


Figure 4: Le processus depuis l'appréciation du gisement jusqu'au démarrage de l'installation

Ce processus s'appuie sur des ressources matérielles et financières, mais aussi et surtout sur des ressources humaines, qui appartiennent pour certaines à TOTAL et pour d'autres à des entités externes, ce qui est présenté dans le paragraphe suivant.

1.1.4. L'organisation : interne à l'entreprise TOTAL et externe

L'organisation de l'entreprise TOTAL dans le cadre de sa branche E&P (Exploration & Production) s'appuie sur un principe matriciel. Une équipe projet est rattachée à la filiale où se trouve le gisement et est en relation avec des équipes de soutien basées dans des divisions fonctionnelles de la branche, comme le montre la Figure 5.

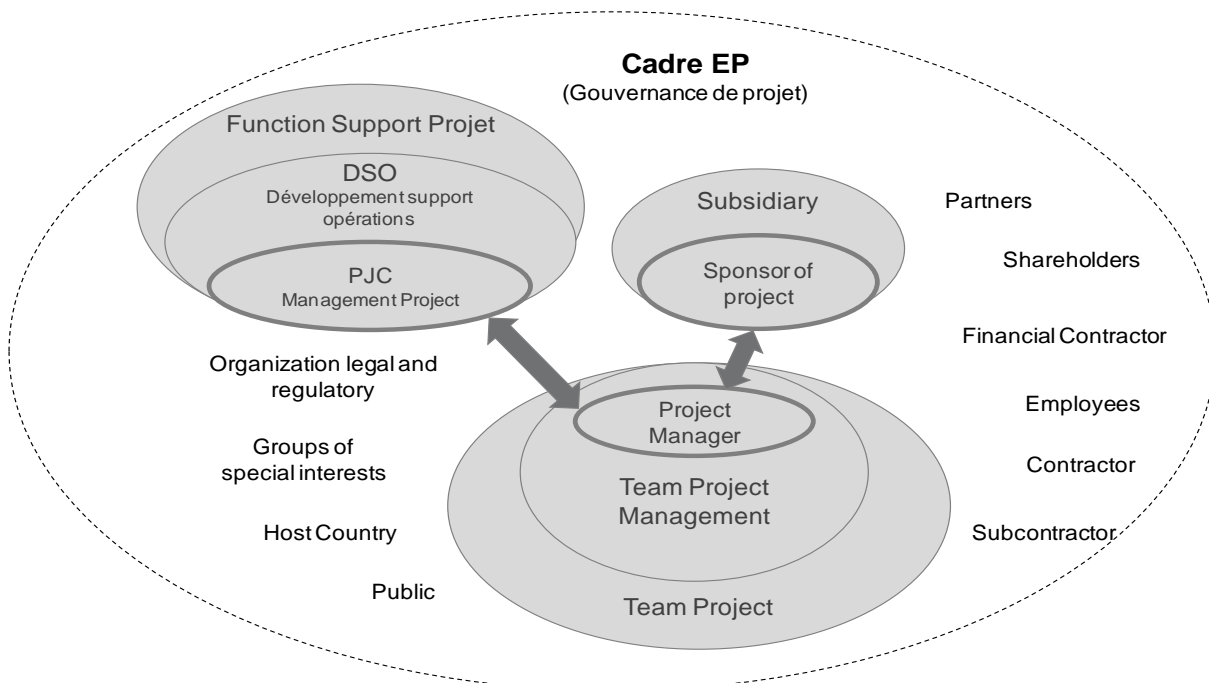


Figure 5: Illustration de l'organisation matricielle des projets E&P

Cette organisation va donc comprendre des entités de Total, à plusieurs endroits dont le pays hôte, des entités locales, qu'elles soient pour spécifier/contrôler comme les autorités, ou pour réaliser comme des contracteurs locaux, et des entités partout dans le monde, puisque certains contracteurs sont basés à des endroits bien précis (lorsque l'activité nécessite un équipement lourd comme un quai d'assemblage de bateaux). L'environnement dans lequel ce projet se déroule est donc sensible aux différents pays et aux différentes institutions qui y sont impliquées, c'est ce que présente le paragraphe suivant.

1.1.5. L'environnement du projet

Un projet pétrolier et gazier évolue dans un environnement complexe et donc incertain. Afin d'être réalisé, celui-ci dépend de plusieurs critères. Premièrement, le projet pétrolier et gazier a besoin de ressources humaines, financières et de délais adaptés à ses finalités. Deuxièmement, la disponibilité d'infrastructures, de bases de données, de logiciels et matériels diverse est primordiale pour pouvoir développer un projet. Troisièmement, comme indiqué ci-dessus, l'organisation liée à un projet fait intervenir une multitude d'acteurs différents. Ces différences proviennent des compétences, expériences et motivations des acteurs mais aussi de leurs différences culturelles. Quatrièmement, tout au long du développement d'un projet, celui-ci doit surveiller l'évolution des marchés sur lesquelles celui-ci se situe afin de contrôler l'évolution des coûts, les effets volumes... pouvant impacter ses finances. Un projet est également dépendant des réglementations, règles et lois du pays hôte mais aussi internationales.

Pour qu'un projet évolue correctement, celui-ci doit donc bien analyser son environnement pour limiter voire éviter d'éventuels aléas négatifs mais aussi pour saisir les bonnes opportunités.

1.1.6. Conclusion : ces projets présentent de nombreux risques, dont certains sont liés à leur complexité

Le développement d'un projet pétrolier et gazier est caractérisé par une forte sous-traitance (environ 90%) et est réalisé dans un contexte risqué majoritairement dû à sa complexité. Celle-ci se caractérise premièrement par la multitude de biens et services à réaliser sur de courts délais, des coûts d'investissement de plus en plus limités, dans des endroits différents se situant sur terre ou en mer. Deuxièmement, cette complexité provient de son organisation qui sollicite une multitude d'acteurs différents aussi bien par le niveau de compétences/expériences que leur culture. Enfin, elle est caractérisée par son environnement interne et externe qui évolue tout au long du cycle de vie du projet, ce qui favorise l'émergence d'incertitudes.

1.2. Le management des risques dans les projets Exploration et Production (EP)

Afin de limiter et maîtriser les risques survenant notamment pendant les phases contractualisation et exécution, l'entreprise TOTAL s'appuie sur un management des risques dont nous détaillons dans ce paragraphe les caractéristiques principales et les limites.

1.2.1. Cadre et objectifs

Le cadre de contrôle interne de Total a pour modèle celui du COSO (IFACI, 2005). Il est construit comme illustré sur la Figure 6 sous la forme d'un cube constitué de 5 composantes contribuant à l'atteinte de trois catégories d'objectifs (Opérationnel, Finance et Conformité) pour chaque activité de l'organisation:

- L'environnement de contrôle représente la « culture » du contrôle au sein de l'entreprise ;
- L'évaluation des risques consiste en l'identification et l'analyse des facteurs susceptibles

d'affecter la réalisation des objectifs ;

- Les activités de contrôle sont l'application de normes et procédures adossées aux risques identifiés ;
- L'information et la communication permettent de s'assurer que les informations pertinentes sont identifiées et correctement diffusées ;
- Le pilotage permet de vérifier que le contrôle interne est adéquatement conçu, appliqué et adapté à l'entreprise.



Figure 6: Le « COSO International Control Framework »

La gestion des risques est réalisée afin de fournir une liste hiérarchisée des risques en fonction de leur valeur de criticité, l'impact des incertitudes sur les délais, la qualité et la performance économique du projet. Les risques dans les activités Exploration et Production sont souvent difficiles à évaluer, ces évaluations sont parfois subjectives: la quantification des risques nécessite l'expérience, le bon jugement et l'intuition des acteurs. Bien que difficile, cette quantification est très utile car:

- Elle oblige à faire une analyse plus objective et rigoureuse des risques ayant un impact sur la performance et l'image du projet,
- Elle oblige à réexaminer et de justifier les hypothèses,
- Elle permet d'avoir une idée générale de la complexité du projet,
- L'évaluation des risques et des incertitudes en termes probabilistes est une méthode transparente pour transmettre les résultats à la direction.
- Elle fournit une méthode cohérente et efficace pour être une aide à la décision.

Le management des risques projet s'appuie sur un processus et un certain nombre d'activités et d'outils introduits dans le paragraphe suivant.

1.2.2. Processus et outils actuellement déployés

Pour gérer ses processus, TOTAL s'appuie sur le processus de la Figure 7 inspiré du PMBOK (PMI, 2013):

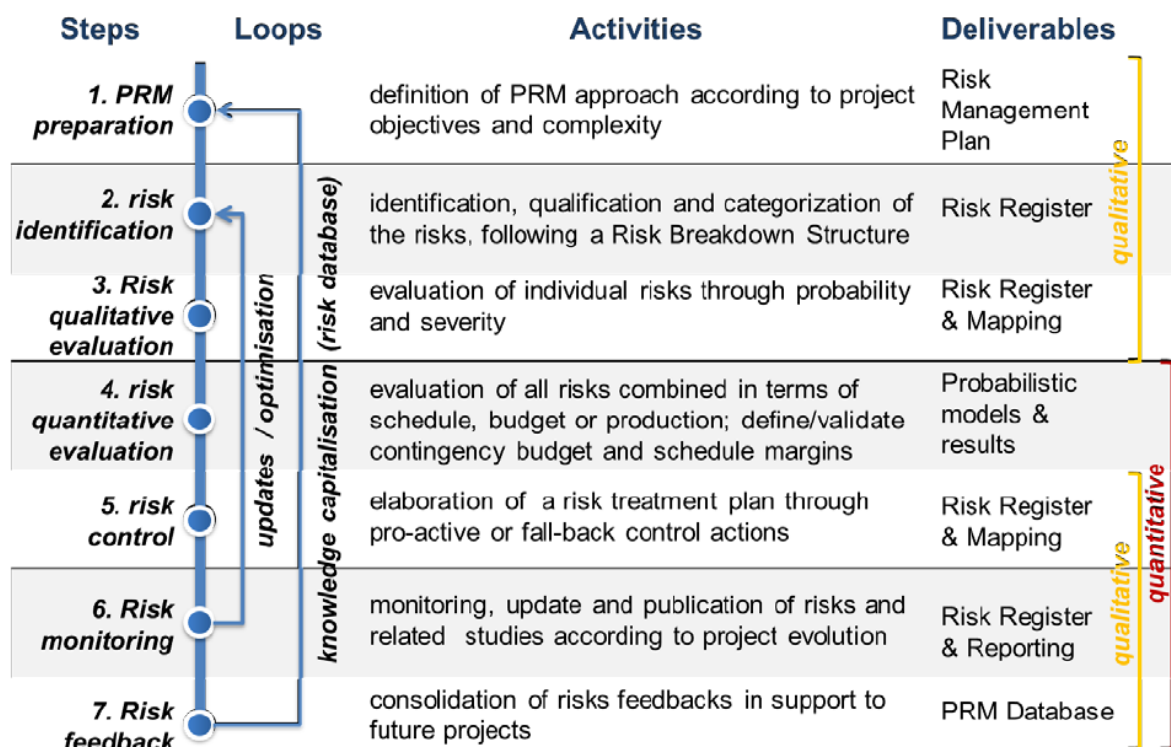


Figure 7: Processus de management des risques projet chez Total E&P

La Figure 8 présente les outils actuellement manipulés avec leurs champs d'application respectifs: évaluations qualitatives ou quantitatives.

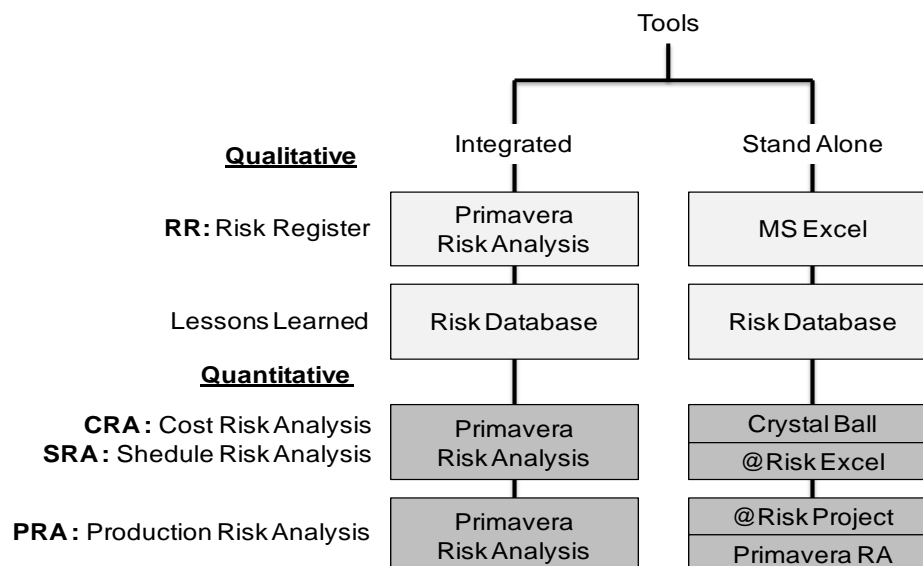


Figure 8: Outils de management des risques projet chez Total E&P

En termes d'analyse qualitative, l'outil principal est le Registre des Risques (Risk Register) dont un exemple est donné ci-dessous dans le Tableau 2.

Tableau 2: Exemple d'un Risk Register

N°	Risk Title	Package	Project Phase	Risk Type	Risk Causes	Risk Consequences	Detailed Description	Risk Owner	Assessment																						
									Initial							Current										Criticality					
									a-Safety	b-Environment	c-Security	d-Work	e-Reputation	f-MAP	g-1st year	h-CAPEX	i-OPEX	j-Loss of	k-Delay on	l-Production	Exposure	a-Safety	b-Environment	c-Security	d-Work		e-Reputation	f-MAP	g-1st year	h-CAPEX	i-OPEX
136	FPU - Management of vendors, procurement, equipment availability	01. FPU	03. Procurement	C. Execution	- Feedback from other projects - many new vendors from HHI - delivered mob. of DA/DC lead	- Delay on first oil - CAPEX (refabrication, ...)		GLM	4	2	2	2	1	1	1	3	3	4	7	3	3	3	3	3	4	7	5	12			
311	FPU - HHI resources competition with other projects	01. FPU	04. Construction	C. Execution				GLM																							
173	Damages of subsea equipment during installation phase	03. UFR	08. Offshore Installation	C. Execution	"dropped" objects; wrong operations during installation	Loss of production, spills (environment issues); CAPEX and delays (stand-by of contractors); loss of CAR insurance deductible	- No umbilical loop - Existing installation => procedure more complex to prevent damage from existing installations	MAU	3		3		2		4	4	3	7		3		3		2		4	4	2	6	7	8
147	Incident during simultaneous well management and drilling on TLP (post 1st oil)	08. DRI	11. Production	E. Interfaces / Integration	- Important interferences between the simultaneous operations - Lack of procedures	- Personnel issues - Damage on installations - Impact on environment	- Company rules for SIMOPS : CR EP FP 200	PLA	4	2	2	2	1		4	2	6	4	2		2	2	1		4	2	6	8	8		

Afin de quantifier un risque, l'entreprise TOTAL utilise la valeur de criticité classique qui multiplie l'impact potentiel d'un risque par sa probabilité d'occurrence. L'estimation de la probabilité d'occurrence est réalisée de manière unitaire alors que l'estimation de l'impact est réalisée par rapport à plusieurs critères (Coût, First Oil, Sûreté, Production, Image, HSE...). La valeur maximale de ces différents impacts est retenue afin d'obtenir le résultat de la criticité la plus pénalisante.

Cette méthode a l'avantage de calculer la criticité d'un risque d'une manière simple et rapide tout en permettant aux décideurs d'avoir une vision générale sur les risques les plus critiques du projet. En termes d'analyse quantitative, différents outils dédiés à la gestion des risques sont utilisés de la phase « Pre-Project » jusqu'à la « First Oil » : Cost Risk Analysis (CRA), Schedule Risk Analysis (SRA), Production Risk Analysis (PRA).

Ces trois méthodes effectuent leurs analyses par le biais de la méthode Monte Carlo. Elle permet de calculer par simulation à partir d'un nombre élevé mais non exhaustif d'itérations la sensibilité de données de sortie du type coût ou durée de projet en fonction de la variabilité des données d'entrée que sont les coût et durées des tâches élémentaires (Thompson et Peery, 1992). Afin de réaliser ces simulations, toutes les distributions de probabilité d'occurrence sont renseignées dans le modèle. Comme le montre la Figure 9, les résultats sont représentés par une distribution statistique du paramètre sélectionné pour l'analyse (planning, budget, production, performance, risque). Plusieurs auteurs stipulent que la simulation de Monté Carlo permet de calculer des résultats assez fiables lorsque le nombre de simulations employées est important et qu'un des inconvénients majeurs de cette méthode est qu'elle est coûteuse en temps pour sa mise en pratique (Didier et Salmon, 2004), (Kamdern, 2004).

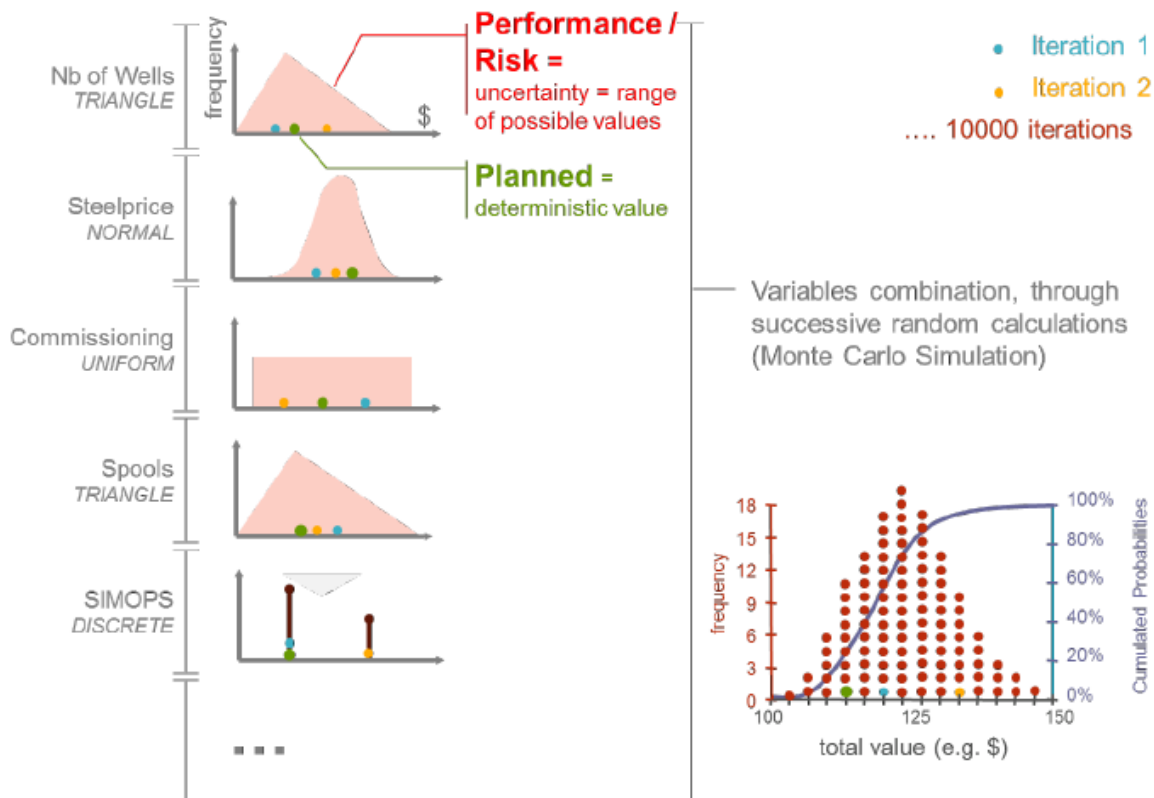


Figure 9: Types de distributions utilisées en simulation de Monte Carlo

La simulation produit un éventail de résultats possibles concernant l'image globale du projet qui est représentée par une distribution de probabilité cumulative, adressant un niveau de confiance pour chaque résultat. Les résultats de la simulation permettent de fournir aux décideurs une base solide afin d'échanger sur les stratégies de gestion qui pourraient être mises en œuvre afin de limiter et maîtriser les risques.

1.2.3. Conclusion intermédiaire : une inadéquation des outils et pratiques par rapport à la complexité

Après avoir réalisé un retour d'expérience par rapport à plusieurs « Risk Registers » de différents projets et effectué plusieurs entretiens avec des responsables de risques, d'interfaces et avec des responsables packages de l'entreprise TOTAL, certaines limites conceptuelles ont été identifiées :

- Les typologies des risques identifiées sont souvent différentes alors que les projets sont environ similaires à 80% (Loi de Pareto) ;
- L'ignorance : (Pender, 2001) explique que « la théorie des probabilités suppose des états futurs sont connus et définissable, mais l'incertitude et l'ignorance sont inévitables sur des projets. Surtout en ce qui concerne les actions humaines, l'avenir est fondamentalement inconnaissable ». (Kutsch et Hall, 2010) ont étudié un point souvent négligé qui se focalise sur l'ignorance délibérée dans la gestion des risques du projet ;
- Détection : Non-prise en compte de la difficulté à détecter si le risque est survenu ou non. Cependant, dans certaines entreprises ce critère est pris en compte ;
- D'agrégation du fait que l'on peut avoir le même classement pour 3 scénarios différents : $9 = 9 \times 1 = 1 \times 9 = 3 \times 3$ (l'impact et la probabilité d'occurrence sont jugés de même importance relative) (Williams, 1996) ;
- Confusion autour du terme risque (Wie, 1999) ; (Ward et Chapman, 2003) ; (Hillson, 2005) ; (Hartono et al, 2014): Non-distinction de la source et de la cible constituant un risque. Prenons

l'exemple qu'un risque de feu survienne. Si ce feu survient dans le désert sans impacter quelque chose ou quelqu'un, peut on le considérer comme un risque ? En revanche, si ce feu impacte un immeuble, cet événement sera logiquement considéré comme un risque. De cet exemple nous pouvons percevoir que de définir là (ou les) source(s) et la cible du risque est primordial afin de bien estimer le risque et non un scénario risqué (évaluation du risque comprenant ses causes et ses conséquences) ;

- Estimation vs Mesure (Hillson, 2005) : « *Un autre problème avec l'évaluation de la probabilité du risque est que les risques sont des événements futurs possibles qui ne sont pas encore eu lieu, et en tant que tels, leur probabilité d'occurrence ne peut pas être mesurée, mais ne peuvent être estimés. Toutefois, ces estimations ont tendance à être influencées par un large éventail de sources subjectives et inconscientes de l'estimation de biais, ce qui les rend peu fiables. Ces sources de biais doivent être compris et gérés si des évaluations réalistes et utiles de la probabilité doivent être faits* ».
- Non-prise en compte de la résistance et la résilience du risque, plus particulièrement de sa cible ;
- L'analyse collective (causes et conséquences) d'un risque est mal évaluée. Difficulté de comprendre les relations entre les causes et conséquences lorsque l'on se situe sur boucle, une chaîne, conséquences à effet multiples...

De plus, au niveau pratique, après différents brainstorming au sein de TOTAL, il en est sorti que les outils sont utilisés de manière indépendante, ce qui entraîne des risques au niveau de la circulation de l'information :

- Une valeur peut être modifiée sur un outil mais pas dans un autre ;
- Des résultats peuvent être différents entre outils ;
- Simplicité et structure des outils : « *les humains ont une capacité de traitement de l'information limitée* » (Pender, 2001) il est donc primordial que les outils puissent les aider. La perception, le sens des risques pour les utilisateurs peuvent être différents ;
- Les informations peuvent être traitées avec une différence d'importance (Cover et Thomas, 2012). Une information peut être peu importante pour une personne mais cruciale pour un autre (ce sujet est beaucoup discuté au sein ses études portant sur l'humain) (Lindsay et Norman, 1980);
- ...

Au-delà des risques nombreux, de grande ampleur et d'une grande diversité, nous avons donc décelé une inadéquation des outils et pratiques par rapport à la complexité, phénomène d'interdépendance sur plusieurs dimensions. Au sein du « Risk Register » les causes et conséquences d'un risque sont souvent mal identifiées et analysées. Dans cet outil, l'étude se focalise plutôt sur des scénarios risqués (ensemble d'événements) au lieu des événements à risque. Cela engendre donc une mauvaise analyse des interactions en les englobant au sein d'interactions générales liées au scénario. La globalisation a pour inconvénients de négliger les signaux faibles et d'avoir des difficultés à mettre en place des actions préventives et/ou correctives afin de maîtriser correctement le scénario s'en utiliser des ressources (coûts, délais, humains, matériels...) supplémentaires voire inutiles.

L'entreprise TOTAL, durant ces analyses de risques, crée un lien entre les risques identifiés dans le « Risk Register » et ceux définis dans « Primavera » et « Crystal Ball ». Ces deux outils informatiques permettent de réaliser des études collectives en évaluant l'impact sur les coûts et délais du projet selon sa structure et son évolution. Si au moins une activité est modifiée alors le logiciel recalcule l'ensemble du projet pour ré-estimer les coûts et délais. L'inconvénient majeur de ces outils est qu'ils

se focalisent principalement sur le planning du projet et n'étudient pas les risques dans leur réseau (système risques).

Les limites actuelles des outils utilisés sont principalement liées :

- au manque de reliance entre eux et les autres outils du management de projet (comme le planning, les analyses fonctionnelles...),
- à la non étude des risques spécifiques liées à la sous-traitance comme par exemple l'étude des meilleurs périmètres techniques et contractuels à définir (EPC ou EPSCC ou ESC...) ainsi que l'étude des interactions entre contrats,
- à la pauvre étude de la dynamique des systèmes principalement lié à la non distinction des deux temporalités majeures du projet (Contractualisation et Exécution) où les outils actuels n'indiquent pas clairement par exemple, les risques pouvant se matérialiser au sein de la phase contractualisation et avoir au moins un impact en phase exécution,
- et enfin à la non-analyse des risques pouvant survenir suite à une mauvaise organisation/mauvais management principalement durant la phase exécution où les acteurs sont les plus nombreux et différents.

Ces limites et ces risques qui continuent à survenir tout au long des projets de développement montrent bien une inadéquation des outils et pratiques par rapport à la complexité des projets. Cette inadéquation engendre principalement des inconvénients pour élaborer la meilleure stratégie contractuelle (contractualisation) par rapport à un contexte donné et pour exécuter correctement celle-ci. Cela fait l'objet des deux sections suivantes.

1.3. Les risques liés à la contractualisation

Le fait de sous-traiter différentes activités permet à l'entreprise de pouvoir réaliser des activités pour lesquelles elle n'a pas les ressources disponibles ou les compétences nécessaires. Le cadre structurel de cette sous-traitance est représenté par l'élaboration d'une stratégie contractuelle qui se focalise sur la partie exécution du projet.

1.3.1. Description d'une stratégie contractuelle

Une stratégie contractuelle a pour objectif de fournir un cadre contractuel entre les parties prenantes d'un projet direct ou indirect (direct : contracteur ; indirect : partenaires, Pays hôte...). Celle-ci est élaborée par l'imbrication de plusieurs contrats, qui permet le découpage du projet en éléments plus petits et plus facilement gérables. Ce découpage s'effectue selon deux dimensions, qui sont la temporalité et l'arborescence technique de l'installation (Figure 10). Chacun des contrats est élaboré par un type de rémunération approprié, défini selon l'expérience et les connaissances des décideurs et transmis à un contracteur selon leur évaluation. Lors de la sélection de la stratégie contractuelle, il est nécessaire de prendre une décision par rapport au nombre de « workpackages » et de savoir s'il y aura un entrepreneur principal ou plusieurs (Wearne, 1989). Ceux-ci sont de plus en relation les uns avec les autres par différents liens de causalité. Le projet est toujours ouvert avec les contraintes provenant de l'extérieur, et de nombreuses incertitudes concernant son élaboration ou son suivi restent présentes.

La stratégie contractuelle est un élément crucial pour le projet du fait de son importance réglementaire et juridique mais aussi pour délimiter les activités (Package : FPSO ; Sous-package : Topsides) à réaliser par les contracteurs selon différentes temporalités liées à la phase d'exécution. Elle a pour finalité que l'exécution se passe bien, elle consiste en la prise d'un certain nombre de décisions, dans un certain environnement. Après un retour d'expérience sur les projets pétroliers et gazier de l'entreprise TOTAL, nous avons pu en déduire qu'une multitude de risques majeurs surviennent après

la signature des contrats composant la stratégie contractuelle, alors que leurs causes se situent avant la signature (phase contractualisation). Les risques et problèmes associés à la stratégie contractuelle et la non-atteinte de ses finalités vont donc être présentés selon les 2 catégories précédentes, à savoir son processus de décision et son environnement.

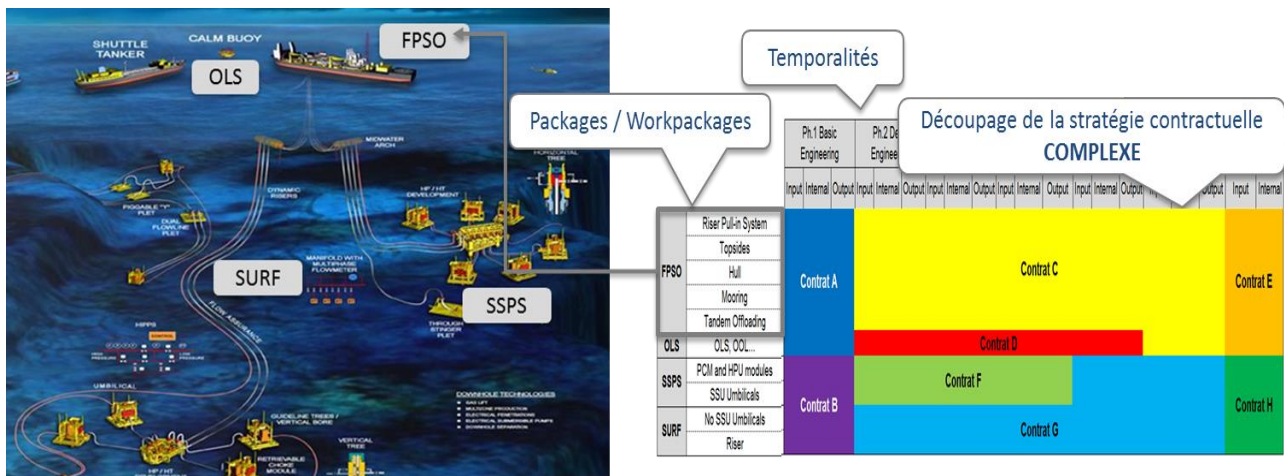


Figure 10: Exemple de stratégie contractuelle

1.3.2. Risques liés aux choix du découpage et du mode de rémunération

Le choix du découpage de la stratégie contractuelle s'effectue par la transmission de chaque contrat aux entrepreneurs sélectionnés suite à un appel d'offre. Ce découpage engendre pour l'entreprise opératrice du projet un nombre plus ou moins important de contrats à superviser. Cette supervision est une tâche primordiale pour le bon déroulement du projet. Cependant, celle-ci reste complexe à réaliser du fait que le rapport de forces évolue selon la temporalité dans laquelle la supervision se situe.

1.3.2.1. Compétences des contracteurs

A l'intérieur des contrats élaborés actuellement, il existe plusieurs activités qui sont réalisées sur différentes temporalités. Un des inconvénients est qu'il est parfois difficile de trouver des contracteurs ayant la capacité et/ou la disponibilité pour réaliser l'ensemble du périmètre d'un contrat.

1.3.2.2. L'effort de supervision et en particulier les interfaces

Après avoir réalisé plusieurs interviews au sein de l'entreprise TOTAL, la conclusion que nous avons déduite est que la stratégie contractuelle mais aussi les contrats sont trop souvent définis comme des conventions génératrices d'obligations, rédigées avec rigueur et scrupule, dans le cadre d'un périmètre le plus strict possible afin que l'entreprise puisse se prémunir des risques au maximum. Un des salariés de l'entreprise TOTAL précise que cela provient du fait que les contrats sont très souvent définis sous une forme cartésienne (analyse des éléments) au détriment de la vision systémique (analyse des interactions entre éléments). Cela s'explique en partie car la notion d'interaction introduit parfois du flou dans la définition du périmètre des deux acteurs de l'interaction.

Par ailleurs, certains modes de rémunération engendrent un effort de supervision supérieur, lorsque le contrat est à remboursement des coûts par exemple. Mais aussi lorsque le contracteur n'a pas les compétences et ressources nécessaires pour réaliser certaines activités sous-traitées par la compagnie (cela engendre majoritairement un niveau de sous-contractant supplémentaire).

1.3.2.3. Le rapport de forces au moment de la signature du contrat, mais également lors de son execution

Dans la majorité des situations, l'opérateur sera en position de force avant la signature du contrat, puis lors de la réalisation, ce rapport de forces changera. Il arrive cependant que le marché soit déjà saturé au moment où un opérateur veut lancer un nouveau projet, auquel cas il sera déjà en position de faiblesse au moment de passer le contrat. Il s'agit ici de l'équilibre offre/demande

L'opérateur sera très souvent dépendant de ses entrepreneurs, n'ayant pas les compétences et les ressources de se substituer à celui-ci. La solution de remplacer le contracteur par un autre reste très complexe et est consommatrice d'argent et de temps. Afin de limiter ce rapport de forces, il est conseillé de favoriser le travail en collaboration entre les parties prenantes afin d'avoir une situation gagnant-gagnant.

1.3.2.4. Les contraintes par rapport aux niveaux de focalisation

TOTAL, comme l'ensemble des majors pétroliers, se focalise principalement sur le niveau intermédiaire des contrats, qui sont des morceaux de la stratégie contractuelle, comme l'illustre la Figure 11.

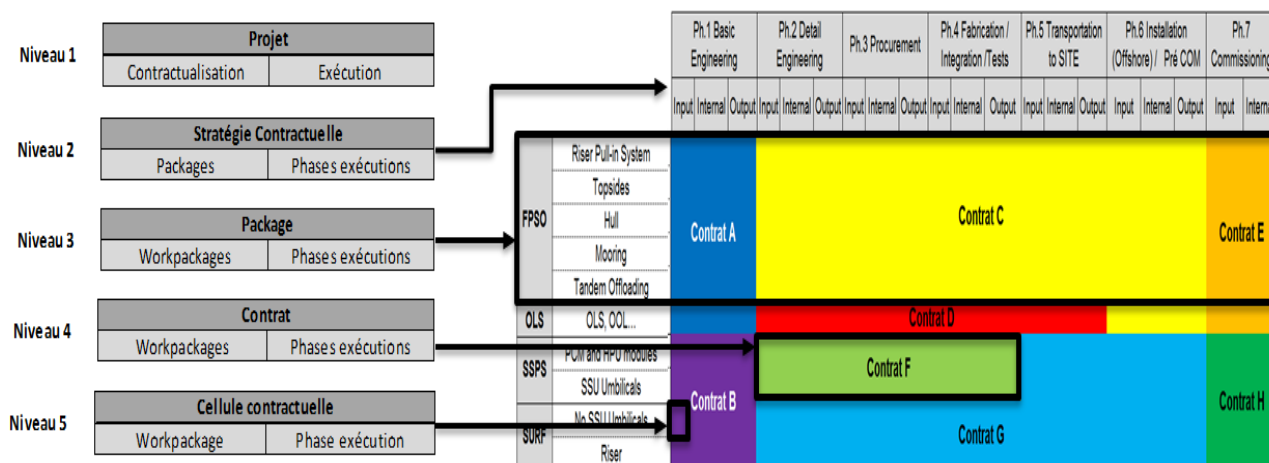


Figure 11: Niveaux d'études par rapport à un exemple de stratégie contractuelle

Cependant, cette focalisation montre certaines limites lors de l'élaboration du périmètre des contrats et la sélection de leur type de rémunération:

- Le périmètre d'un contrat est principalement défini par rapport au contracteur. Cela engendre principalement des activités du contrat sous-traitées par le contracteur à des sous-contracteurs du fait que le contracteur manque de compétences ou de ressources;
- Un type de rémunération unique est sélectionné pour un contrat. Cela peut impacter le fournisseur si celui-ci a besoin de liquidités de la part de la compagnie (exemple: rémunération Lump Sum).
- Les interactions entre éléments (activités, acteurs...) à l'intérieur des contrats ne sont pas étudiées.

1.3.2.5. Choix du mode de rémunération (Annexe 2)

Les types de rémunération Lump sum / fixed price sont les plus utilisées au sein du secteur pétrolier car ils ont a priori l'avantage de prémunir l'entreprise d'une grande partie des risques de surcoût, soi-disant en les transférant au contracteur. Cela a pour but d'avoir plus de confort pour le donneur d'ordre. Le Lump Sum est aussi utilisé en cas de ressources insuffisantes du donneur d'ordre pour réaliser l'ensemble ou certaines tâches complexes d'un contrat. Cependant, cette idée de transfert est une utopie dans la réalité. Ce type de rémunération a de nombreux inconvénients :

- Le contracteur doit être hautement impliqué dans la réalisation du contrat,
- L'opérateur va payer plus chers certains coûts qui varient selon la bourse ou suite à d'autres causes,
- Le coût de la provision pour risques se présentant lors de la réalisation du contrat peut être très onéreux et pas toujours transparent pour l'opérateur,
- Il y a une faible incitation de l'entrepreneur concernant la planification des coûts. Plus l'entrepreneur reste flou sur les coûts, plus il peut espérer faire grimper le montant du contrat.
- Il peut y avoir des surcoûts importants en cas de « Change Order », de modification demandée par rapport au contrat initial.

1.3.3. Risques liés à l'environnement de la contractualisation

La contractualisation est l'une des tâches les plus importantes pendant le cycle de vie d'un projet. Elle permet de lier juridiquement les parties prenantes autour d'un ou plusieurs objectifs. Elle essaye de figer entre autres les démarches, les moyens, les consignes à prendre en compte pour réaliser le projet. Malgré le fait que cette tâche soit réalisée avec beaucoup de soin de la part de l'entreprise, elle reste imparfaite. Cela provient des relations avec les parties prenantes, des incertitudes inhérentes au projet, à l'environnement d'un projet, du marché mondial des biens et services mais aussi de leurs structures contractuelles.

1.3.3.1. Les relations contractant/contracté

Un contrat définit les règles du jeu ainsi que les biens et/ou les services à réaliser entre un donneur d'ordre et un sous-traitant. Par nature, cette relation est incertaine, d'autant plus que la durée du contrat peut se dérouler sur plusieurs années (3 à 6 ans dans le contexte pétrolier). Souvent, le donneur d'ordre s'arc-boute sur des garanties (illusoires) et peut mettre le sous-traitant dans l'obligation d'accepter des clauses contractuelles très risquées pour lui parce que justement il veut avoir la commande et qu'il est en compétition avec d'autres soumissionnaires. Enfin, pendant l'exécution du contrat, un schéma de communication en silos (création spontanée de « groupes » indépendants des autres) vient amplifier les facteurs d'inefficacité et favorise les refuges dans les textes et les relations contractuelles. La création de silos dans les projets provient des différences d'intérêts des acteurs, des différences de langage, de culture..., la méfiance professionnelle mais aussi de la différence de pouvoir. C'est souvent au moment de l'activité maximale dans les usines de fabrication et/ou sur les chantiers de construction que les relations entre le donneur d'ordre et son sous-traitant se détériorent, l'un rejetant sur l'autre la responsabilité des erreurs et du retard de la fabrication dans l'usine et/ou de la construction sur le chantier, et vice versa.

Les contrats doivent avoir pour finalité la création de richesse pour le projet mais aussi entre les parties contractantes. Mazeaud (Mazeaud, 1999) stipule qu'il est préférable que la nouvelle devise contractuelle vise la loyauté, la solidarité, la fraternité. D'après Magar, une « bonne » stratégie contractuelle ou de « bons » contrats ne sont donc pas ceux qui sont élaborés de manière la plus rigoureuse juridiquement, mais ceux qui en maximisent la création de valeur ajoutée et donnent aux parties contractantes le sentiment que chacune y trouve une utilité commerciale, économique ou entrepreneuriale (Magar, 1959).

1.3.3.2. Le paradoxe inhérent à la contractualisation sous incertitude

Il est devenu habituel que les entreprises du secteur pétrolier réalisent des contrats avec des entrepreneurs afin de leur transmettre la responsabilité de certains risques (Rugers and Haley, 1996). Cependant, (Bajari and Tadelis, 2001) nous informent que l'entrepreneur et l'acheteur partagent les incertitudes sur des changements importants concernant la conception qui pourraient survenir après la signature du contrat. (Flanagan and Norman, 1993) expliquent quant à eux qu'un contrat peut donc être considéré comme un compromis entre le prix de l'entrepreneur pour réaliser le travail et sa volonté d'accepter à la fois les risques contrôlables et incontrôlables. Ces points précédents montrent l'importance d'un contrat et donc de devoir bien l'élaborer. (Williamson, 1979) suggère que la difficulté de rédiger le contrat provient de trois causes principales :

- Complexité pour définir tous les éléments qui peuvent devenir un aléa dû aux incertitudes (un contrat essaie de prévoir de façon rationnelle (cartésienne) et complète des activités dans une fenêtre de quelques années alors que l'environnement global peut être soumis aux incertitudes et parfois à la turbulence. Novak et Eppinger (Novak and Eppinger, 2001) argumentent que l'incomplétude des contrats dans les projets de construction provient du fait qu'il est

impossible d'énumérer le montant exact et la nature des changements dus à la conception, à la réalisation, au contexte mondial;

- Difficulté pour négocier les responsabilités des parties prenantes à cause de la multitude des éventualités (non dénombrables de façons cartésienne et mêmes parfois imprévisibles);
- Haut degré de spécification des actifs liés aux incertitudes et aux opportunités 'pas bien compris sens de cette phrase).

L'incertitude dans les contrats est une caractéristique à prendre en compte de plus en plus car elle fait partie intégrante de la structure de la décision. C'est l'une des contraintes majeures pour les dirigeants lors de la prise de décision. (Desportes and Cuhe, 2007) stipulent que le responsable n'a pas d'autre choix que de concevoir et conduire son action dans « la certitude de l'incertitude ».

Afin de lutter contre les incertitudes dans les contrats, les entreprises opératrices incorporent des clauses de « Hardship » qui est un rempart fiable destiné à maintenir et maîtriser le bon déroulement du projet tout en protégeant l'économie des contractants (Teboul, 2010). Cette clause a l'avantage d'avoir une vision systémique et de protéger l'entreprise (compagnie, c'est-à-dire le donneur d'ordre) mais aussi l'entrepreneur sur des aléas survenant dans le projet qu'ils ont en commun. Cependant, un des risques de la clause de « Hardship » est qu'il serait excessif de voir dans le contrat l'instrument de la maîtrise et de la prévision de l'avenir (Deharo, 2011).

1.3.3.3. Les contraintes de contenu local

Les contraintes locales sont extrêmement complexes à maîtriser, pour deux raisons. Premièrement, les entreprises pétrolières doivent prendre en compte les exigences du gouvernement du Pays hôte et de l'entreprise pétrolière locale (on parle de NOC = compagnie pétrolière nationale afin de remporter l'acquisition d'au minimum un emplacement d'exploitation d'hydrocarbures. Deuxièmement, lors des phases de conception et développement du projet, l'entreprise doit prendre en plus des exigences du gouvernement du Pays hôte et de l'entreprise pétrolière, les exigences des communautés locales voisines aux infrastructures du projet (lorsque celui-ci est à terre ; onshore). Les exigences des communautés locales sont assez souvent divergentes avec celles des gouvernements et institutions nationales. De plus, les communautés des autres pays (exemple: associations, ONG...) peuvent être une contrainte (ou une opportunité) en prenant position pour les citoyens du Pays hôte si l'entreprise opératrice ou le gouvernement du Pays hôte réalisent des choses hors de la morale et des mœurs (exploitation des salariés, destruction des environnements...).

1.3.3.4. Les contraintes réglementaires

Les projets dans le secteur pétrolier font intervenir plusieurs parties prenantes de nationalités différentes réalisant leurs activités dans différents pays. « Il est aussi intéressant de noter que le contrat peut se positionner différemment selon le régime pétrolier du pays. Par exemple, dans le pays A, il peut être extrêmement détaillé voire constituer un droit propre, alors que dans le pays B, il peut être fortement soutenu par la constitution du pays et par les lois et les règlements déjà existants » (Druilhe, 2003). Du fait de ces différences, tout au long du cycle de vie du projet, les parties prenantes sont dans l'obligation de prendre en compte différentes réglementations. Celle du Pays hôte, du pays de l'opérateur, du pays de l'entrepreneur, la réglementation internationale... Afin de limiter cet aléa, lors de la contractualisation, les parties prenantes choisissent souvent une unique réglementation. Néanmoins, il est conseillé de rester vigilant à l'ensemble des réglementations pouvant impacter le projet, en sachant que le système réglementaire est très complexe et que des failles, des zones floues peuvent survenir contre le bon déroulement du projet.

1.3.4. Conclusion intermédiaire : une problématique d'anticipation au moment des décisions de contractualisation

Lors de la phase de contractualisation, de nombreux risques sont à prendre en compte afin de pouvoir prendre les bonnes décisions qui structureront en grande partie la phase exécution du projet. Ces risques sont multiples, de natures différentes, survenant sur des temporalités différentes et ayant des vulnérabilités non identiques. Les principaux risques durant cette phase proviennent des choix effectués par les décideurs lors du découpage de la stratégie contractuelle en plusieurs contrats et du mode de rémunération de chacun des contrats.

Lors de ces choix, les décideurs ont tendance à négliger les rapports de force entre eux et les différents contracteurs (qui évoluent tout au long du projet) et qui peuvent souvent s'inverser, passant pour l'entreprise TOTAL d'une position de dominant en phase contractualisation à une position de dominé lors de la phase d'exécution. Bien que les décideurs analysent généralement bien les risques réglementaires, ceux-ci ont aussi tendance à ne pas assez anticiper les contraintes liées au contenu local ce qui a pour conséquence de prévoir des points de blocage lors de la phase d'exécution du projet et donc augmenter les délais et les coûts de celui-ci (le contenu local d'un projet peut représenter entre 1/5 à 1/3 des coûts d'un projet).

L'ensemble de ces risques provient principalement du fait que les décideurs prennent des décisions dans un contexte incertain où les différents niveaux de focalisation ne sont pas clairement définis et où de nombreuses interactions entre activités, acteurs (...) existent. Ces mauvaises décisions auront principalement comme conséquences d'impacter l'exécution de la stratégie contractuelle et plus particulièrement le management des acteurs liés au projet qu'ils soient internes à l'entreprise TOTAL et/ou externes.

1.4. Les risques liés à l'exécution du projet

Le cadrage de la phase d'exécution du projet de développement est défini par la stratégie contractuelle validée en fin de phase contractualisation. Durant les sous-phases de cette phase d'exécution, plusieurs types de risques sont à prendre en compte afin d'atteindre les objectifs fixés concernant la réalisation du projet.

1.4.1. Risques internes aux contrats

Lors de la phase d'exécution d'un projet de développement, la majorité des risques qui se matérialisent surviennent au sein des contrats, à l'intérieur d'une même phase ou non. L'entreprise TOTAL n'est pas en charge directement de ces risques du fait qu'ils les ont transférés aux contracteurs par le biais des contrats, mais est impactée directement par leurs conséquences qui impactent les valeurs de performance du projet (financière, délais, qualité, image...). La difficulté que nous pouvons percevoir concerne le niveau de surveillance et de collaboration que TOTAL doit avoir par rapport à ses contracteurs. La tendance actuelle est de laisser plus de liberté et de confiance aux contracteurs tout en ayant des points surveillance à des moments clés. Ces choix proviennent principalement du fait que les acteurs de TOTAL n'ont pas les compétences et l'expérience nécessaires pour réaliser certaines activités et est donc obligée de faire confiance en ses contracteurs. L'inconvénient pour l'entreprise TOTAL est qu'en phase exécution, elle perd son pouvoir de négociation qu'elle avait en phase contractualisation.

1.4.2. Risques entre contrats

Afin de réaliser ses projets dans les meilleurs délais, coûts et qualité, l'entreprise TOTAL manage l'ensemble des contrats de la stratégie contractuelle. Cette activité est primordiale car elle permet de limiter et maîtriser les risques pouvant survenir aux interfaces entre contrats. Ces risques sont très difficiles à gérer du fait qu'ils font intervenir au minimum deux parties prenantes dont leur vision par rapport à ceux-ci divergera par rapport à au moins un des 5 axes (Kervern, 1995) ; (Wybo, 1998) ; (Legros, 2009): Statiques (mémoire des faits et des chiffres), Epistémique (modèles), Déontologique (règles et lois), Axiologique (valeur) et Téléologique (finalité). De plus, les risques aux interfaces entre contrats peuvent survenir sur une même ou différente temporalité et sur un même ou différents sous-packages. Par exemple, une source peut se matérialiser en phase Ingénierie du Topside FPSO et impacter la cible en phase installation du Topside FPSO ou en phase Construction du SURF...

1.4.3. Risques entre un contrat et l'environnement

TOTAL réalisant la majeure partie de ses projets à l'international, cette notion de risque est capitale. Depuis plus d'une dizaine d'années, TOTAL focalise un nombre important de ressources pour identifier, analyser et traiter ces types de risques comme les départements « Stratégie Industrielle Locale (SIL) » et Sociétal (développement humain et socio-économique du pays hôte). Tout au long du projet, TOTAL doit prendre en compte les exigences de son environnement : Pays hôte (gouvernement, communautés riveraines...), Partenaires, Organisation réglementaire et juridique, Groupe d'intérêts spécifiques (ONGs : Organisation Non Gouvernementale...) et le Public (population mondiale). La difficulté pour TOTAL est de concilier l'ensemble de ces paramètres qui peuvent être en conflit.

1.4.4. Risques provenant de la phase de contractualisation

Les causes des aléas survenant durant la phase d'exécution ne sont pas nécessairement de la même temporalité que leurs conséquences (Ingénierie, Construction, Installation...). Elles peuvent être liées aux temporalités de la contractualisation (Conception, Appel d'offres...). Ces événements sont majoritairement connus des acteurs. Cependant, leur complexité provient du fait de bien détecter l'évolution concernant la dangerosité de la source. Celle-ci peut être minime mais prendre de l'importance tout au long de l'avancée du projet (effet papillon) jusqu'à devenir critique. La source et la cible d'un événement dangereux (risque) peuvent avoir des temporalités différentes et être séparées temporellement: la mauvaise évaluation d'un fournisseur (source en phase d'appel d'offres) peut engendrer une difficulté à installer un équipement (cible en phase installation).

1.4.5. Risques de « Re-Engineering » / « Change Order », de retour vers la phase de contractualisation

Les risques entraînant des « Changer Order » sont parmi les plus contraignants pour l'entreprise. Ils sont initiés par les contracteurs, après avoir démontré que lors de la survenance d'un cas précis, que celui-ci peut influencer sur le cahier des charges, les coûts et les délais du contrat. La survenue de « Change Order » pour l'entreprise engendre donc des coûts et des délais supplémentaires pour la réalisation du projet du fait qu'il est extrêmement complexe de modifier ce qui a été validé en phase contractualisation. Afin de limiter ces risques, TOTAL crée une enveloppe budgétaire qui est réservée pour d'éventuels survenus de « Change Order » (celle-ci représente environ 10% du projet) mais aussi des lignes contractuelles standards dans les contrats pour définir à l'avance un plan concernant d'éventuelles modifications contractuelles.

Les contracteurs ne sont pas les seuls à pouvoir initier les « Change Order ». TOTAL a le droit à tout moment de demander des modifications (par des ajouts, des suppressions, des substitutions ou d'autres modifications) au contrat. Cela a pour objectif de permettre à l'entreprise d'avoir plus de souplesse pour modifier tous les aspects du contrat et intégrer de nouvelles informations ou de changements technologiques, de réviser ou mettre à jour des procédures, mettre en œuvre toute révision que l'entreprise juge nécessaire.

La survenance des « Change Order » provient souvent suite à :

- Omission de la part de l'entreprise opératrice;
- Variation de la géologie et des conditions du sol, des fonds marins, installations existantes sur site;
- Changement dans la législation du Pays hôte;
- Prolongation en raison d'éléments spécifiques (découverte de vestiges...);
- Apparition de forces majeures (guerre, tempêtes...).

1.4.6. Conclusion intermédiaire : une problématique organisationnelle pour gérer la multitude d'interdépendances entre les risques

Lors de la réalisation d'un projet et plus particulièrement lors de la phase d'exécution, plusieurs risques peuvent survenir selon la stratégie contractuelle élaborée et validée lors de la phase de contractualisation : risques internes aux contrats, entre contrats, entre un contrat et l'environnement, provenant de la phase de contractualisation, ce qui a tendance à engendrer des « feedbacks » et « Change Order ». Afin d'éviter cela, chaque partie prenante réalise des analyses de risques afin d'être la plus performante possible (Coût, Délais, Qualité, HSE, Image...). Un des points importants que nous avons relevés et illustré dans la Figure 12 qui concerne la divergence de ces différentes analyses bien que celles-ci se fondent sur le même projet / même package / même contrat / mêmes activités... Cette divergence provient majoritairement du fait d'estimer le risque soit en étant la source, soit en étant la cible.

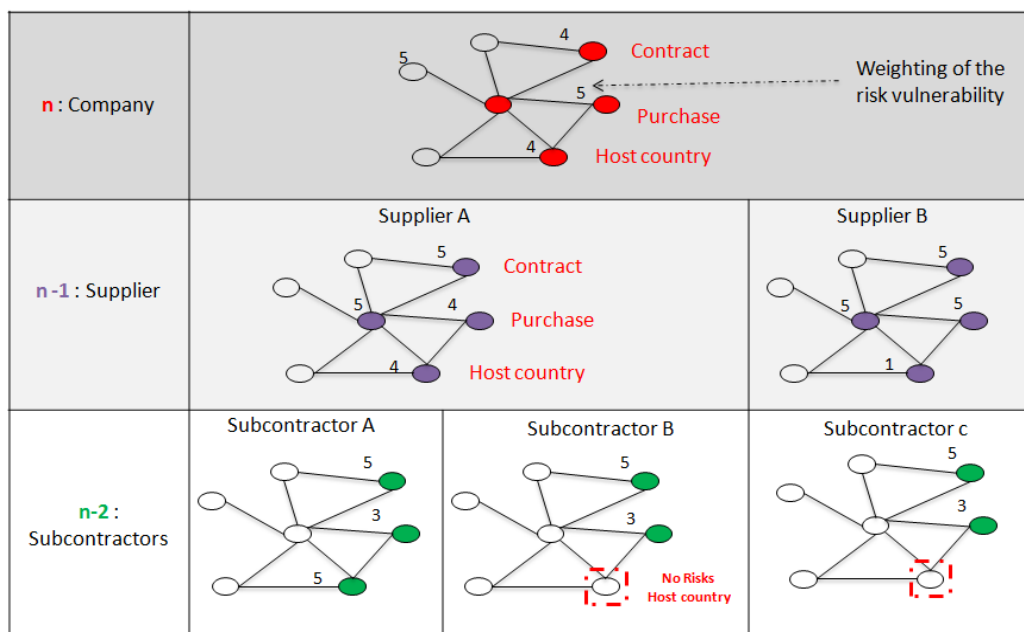


Figure 12: Exemple de la perception des risques selon les acteurs

La direction du projet est le poumon de l'organisation: elle est en relation avec l'ensemble des salariés et centralise l'ensemble des décisions importantes. Elle a l'avantage d'avoir une adaptation rapide aux changements ainsi qu'une certaine flexibilité. Ses coûts de fonctionnement sont faibles et elle contribue de plus à la motivation des salariés du fait qu'elle favorise les relations interpersonnelles.

Toutefois, la forte concentration des décisions importantes au niveau de la direction conduit à faire reposer la performance du projet sur la personnalité, l'expérience et les compétences du chef de projet.

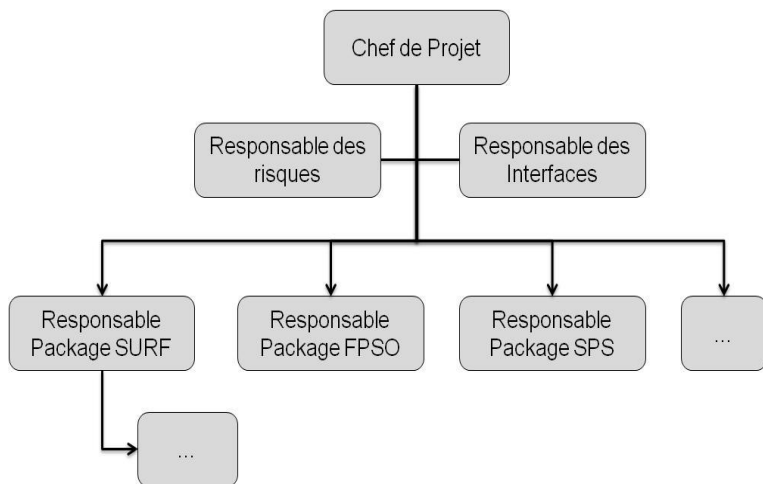


Figure 13: Exemple d'organigramme Projet

Afin d'aider le chef de projet, celui-ci est suppléé par les responsables packages et le management des risques qui est constitué d'un manager des risques et d'un manager d'interfaces par projet. Pour certains projets, le responsable des risques et le responsable des interfaces sont en fait un seul et même acteur. De manière générale, ces acteurs sont incorporés sur l'organigramme des activités opérationnelles d'un projet (filiale) et sont en relation avec les fonctions supports situées majoritairement au siège de l'entreprise à Paris.

L'organisation de chaque projet de l'entreprise TOTAL est indépendante. Cela implique que pour chacun des projets, une organisation y est dédiée. Chacune d'elles peut demander des conseils aux fonctions supports qui se trouvent au siège situé en France. Entre les projets, une division de l'entreprise TOTAL (PJC : Project et Construction) est élaborée pour la surveillance des projets. Néanmoins, cette structure présente des limites concernant la coordination/collaboration entre les différents acteurs du projet, qu'ils soient internes à l'entreprise opératrice ou externes. Aucune structure de management des parties prenantes, management des risques... appropriée n'est clairement définie et élaborée.

1.5. Conclusion : un besoin industriel d'améliorer la maîtrise des risques liés à la sous-traitance dans les projets

Suite à l'analyse du contexte industriel de l'entreprise TOTAL, nous avons mis en valeur plusieurs limites, inconvénients en rapport avec la dimension processus (contractualisation-exécution, en lien avec les phases qui précèdent et qui suivent) et organisation (pendant ces 2 phases). Cela impacte le bon déroulement des projets complexes pétroliers et gaziers.

Les premiers inconvénients surviennent lors de la phase de contractualisation. Les compétences des acteurs, la supervision des interfaces, les différents rapports de forces qui existent entre l'entreprise et les « bidders », ainsi que les contraintes liées à l'environnement de la stratégie contractuelle entraînent des difficultés pour la définition des périmètres techniques et contractuelles et de leurs types de rémunérations. Les seconds inconvénients surviennent pendant la phase d'exécution, à l'intérieur d'un contrat ou à l'interface entre contrats. Ils peuvent être la conséquence d'aléas s'étant matérialisés pendant la phase contractualisation. Enfin, de nombreux inconvénients influençant négativement le projet se situent au niveau du management des risques, là où les risques devront être traités. Cela provient principalement de la difficulté à identifier, analyser, traiter et suivre les risques dans leur réseau et leur environnement.

CHAPITRE 2

ETAT DE L'ART ACADEMIQUE

Résumé

Après avoir défini le contexte industriel de l'entreprise TOTAL et les problèmes associés à la conduite de ses projets complexes de développement, ce Chapitre présente un état de l'art permettant de trouver les approches et les méthodes pouvant être utilisées pour maîtriser ces problèmes.

Nous introduisons donc les termes liés à la complexité d'un projet de développement pétrolier et gazier et l'approche systémique qui permet de l'aborder. Ensuite, nous présenterons les visions du management des risques et les méthodes qui existent. Enfin, nous aborderons le point de la sous-traitance et des contrats en nous focalisant sur les phases de la contractualisation et d'exécution d'un projet.

2. Etat de l'art académique

2.1. Complexité et approche systémique

L'approche analytique était depuis plusieurs siècles l'approche la plus utilisée. Son importance et sa notoriété a été mise en valeur par la vision cartésienne qui se réclame des principes et des idées de (Descartes, 1637). Elle est fondée sur les 4 préceptes suivants (Le Moigne, 1994):

- Evidence: consiste à se limiter à et à accepter l'évidence lorsque l'on se trouve en face d'elle;
- Réductionnisme: consiste à diviser chacune des activités, des aléas (...) afin de les examiner pour mieux les résoudre ;
- Causalisme: consiste à conduire par ordre les activités (réflexion, construction...) en commençant par celles les plus simples et les plus faciles à connaître, pour montrer peu à peu comme par degrés jusqu'à la connaissance des plus composés, et supposant même de l'ordre entre ceux qui ne se précèdent point naturellement les uns les autres ;
- Fermeture: « et le dernier de faire partout des dénombrements si entiers et des revues si générales que je fusse assuré de ne rien omettre », d'après (Descartes, 1637).

Depuis le milieu du XXème siècle, une nouvelle approche aborde différemment la manière de comprendre la complexité des systèmes en prenant en compte l'instabilité, l'évolution, le désordre voir le chaos, le flou et l'incertitude, la contradiction, l'ambiguïté, le paradoxe... L'approche systémique permet d'analyser au sein d'un système ses interactions, ses régulations, boucles et rétroactions (Wiener, 1948) ; (Von Bertalanffy, 1968) ; (Rasmussen, 1983) ; (Reason, 1990). Elle permet aussi d'approfondir les analyses cartésiennes concernant l'évolution d'un système et ses finalités » (Donnadieu et al, 2003).

(Le Moigne, 1994) a basé cette approche sur les 3 axiomes suivants:

- Sens: L'axiome d'Opérationnalité Téléologique (ou de Synchronisation) : Un phénomène modélisable est perçu Action intelligible et donc téléologique (non erratique, présentant quelque forme de régularité) ;
- Evolution et ouverture: L'axiome d'Irréversibilité Téléologique (ou de diachronicité) : Un phénomène modélisable est perçu Transformation, formant projet au fil du temps ;
- Inséparabilité: L'axiome d'inséparabilité (ou de Récursivité) : Un phénomène modélisable est perçu conjoignant inséparablement l'opération Et son produit, qui peut être production de lui-même.

Une des principales caractéristiques de la systémique est de mettre en avant la globalité du système (Tout ce qui y est lié). Lors des analyses analytiques, celle-ci se focalise sur un périmètre donné du système et non sur son ensemble. Ici $1 + 1 = 2$ alors qu'en systémique $1 + 1 = 3$ car elle analyse en plus les interactions du système. De plus, au sein de la systémique plusieurs temporalités sont prises en compte. Elle n'est pas linéaire comme dans la vision cartésienne. Ces différentes temporalités proviennent en grande partie des rétroactions et induisent une plus grande difficulté à capter et anticiper les comportements potentiels futurs du système.

(De Rosnay, 1977) définit dans le Tableau 3 les différences entre l'approche analytique et l'approche systémique.

Tableau 3: Comparaison entre les approches analytique et systémique (adapté de (De Rosnay, 1977))

Approche analytique	Approche systémique
<ul style="list-style-type: none"> • SEPARÉ : isole et se concentre sur les éléments • Considère la nature des interactions • S'appuie sur la précision des détails • Modifie une variable à la fois • Indépendante de la durée : les phénomènes considérés sont réversibles • La validation des faits se réalise par la preuve expérimentale dans le cadre d'une théorie • Modèles précis et détaillés, mais difficilement utilisables dans l'action (exemple : modèles économiques) • Approche efficace lorsque les interactions sont linéaires et faibles • Conduit à une action programmée dans son détail • Connaissance des détails, buts mal définis 	<ul style="list-style-type: none"> • RELIE : se concentre sur les interactions entre les éléments • Considère les effets des interactions • S'appuie sur une perception globale • Modifie des groupes de variables simultanément • Intègre la durée et l'irréversibilité • La validation des faits se réalise par comparaison du fonctionnement du modèle avec la réalité • Modèles insuffisamment rigoureux pour servir de base aux connaissances, mais utilisables dans la décision et l'action (exemple : modèle du Club de Rome) • Approche efficace lorsque les interactions sont linéaires et fortes • Conduit à une action par objectifs • Connaissance des buts, détails flous

2.1.1. Complexité

Dans ce mémoire, nous définissons la complexité comme liée à tous ce qui est difficilement compréhensible (le manque d'information, les incertitudes, les imprévisibilités...). (Sinha et al, 2001) expliquent qu'il n'y a pas de concept unique de complexité qui représente de manière appropriée notre notion intuitive de ce que le mot complexité devrait signifier. L'ancien Président du CNRS, Gérard Mégie explique quant à lui que « s'attacher à la complexité, c'est introduire une certaine manière de traiter le réel et définir un rapport particulier à l'objet, rapport qui vaut dans chaque domaine de la science, de la cosmologie à la biologie des molécules, de l'informatique à la sociologie » (Kourilsky, 2003).

(Edgar, 1998) définit la complexité d'une manière assez proche de la définition de la systémique, en mettant avant différentes avenues :

- La première est celle de l'irréductibilité du hasard ou du désordre (incertitudes);
- La seconde caractérise la transgression, qui élimine la singularité, la localité et la temporalité;
- La troisième avenue est celle de la complication;
- La quatrième est liée au phénomène antagoniste entre les notions d'ordre et de désordre;
- La cinquième est celle de l'organisation qui permet de constituer un système à partir d'éléments différents. Morin stipule un point important et souvent négligé: le tout organisé est quelque chose de plus que la somme des parties parce qu'il fait surgir des qualités qui n'existeraient pas sans cette organisation ;
- La sixième avenue aborde le principe que l'on pourrait dire hologrammatique / modélisation. C'est la représentation que l'on se fait du système souvent trop réductionniste (qui veut comprendre le tout à partir uniquement des qualités des parties) ou du « holisme » non moins simplificateur qui néglige les parties pour comprendre le tout;
- La septième avenue est celle de la crise des concepts clos et clairs (clôture et clarté étant complémentaires). Cette avenue fait intervenir le niveau de compréhension et de connaissances que les acteurs ont d'un système ouvert. Cette avenue s'approche du domaine

de la thermodynamique qui met en avant la variation d'entropie qui est une fonction d'état qui sert à mesurer le degré de désordre (complexité) d'un système ouvert.

- La huitième avenue est celle liée à l'intégration de l'observateur. Selon les caractéristiques de l'observateur, le système peut être modélisé différemment et donc avoir une complexité plus ou moins importante.

Le concept de complexité est souvent utilisé comme un mot « fourre-tout » et qui est souvent confondu avec le concept « compliqué ». Un « objet compliqué » peut requérir beaucoup d'efforts pour se laisser appréhender, alors qu'un « système complexe » ne se laisse jamais appréhender totalement, mais on peut en avoir une perception globale sans jamais en comprendre tous les détails. Tous les projets industriels conduits par l'entreprise Total sont à la fois compliqués et complexes :

- Compliqués : ces projets livrent des objets qui sont composés d'un nombre fini d'éléments (donc parfaitement dénombrable) et que l'on peut donc décrire de façon exhaustive. La conjonction de ces éléments forment des systèmes et sous-systèmes qui assurent toutes les fonctions attendues, elles-mêmes finies et dénombrables, des parties d'ouvrages et des ouvrages qui servent à produire quelque chose ou rendre un service ;
- Complexes : les projets sont complexes parce qu'ils sont aussi le résultat de l'œuvre d'acteurs humains qui communiquent pour les concevoir et/ou les réaliser. La complexité réside dans l'interrelation et les interactions de toutes les parties prenantes impliquées dans un projet. Les acteurs eux-mêmes, en tant qu'individus, sont complexes. Les livrables finaux restent compliqués qu'ils apparaissent sous la forme d'un dossier d'études (représentation codifiée d'un objet compliqué), d'ouvrages (objets tangibles compliqués), d'un mode d'exploitation (représentation codifiée des fonctions d'un ouvrage pour son utilisation).

La maîtrise des projets industriels, si elle a pour fondation une maîtrise technique des ouvrages à concevoir ou à construire (que l'on peut baser sur la méthode analytique), suppose une bonne intelligence sur la manière la plus opportune de conduire, chemin faisant, l'ordre des choses non pas malgré la complexité mais avec la complexité. La partie complexe des projets industriels devient aujourd'hui de plus en plus prégnante, du fait que les ouvrages sont de plus en plus compliqués et s'insèrent dans un environnement de plus en plus complexe. Leur conception et fabrication se développent grâce à une chaîne d'informations dans un marché mondial de biens et de services avec des parties prenantes (qui sont ici des Entrepreneurs et des Fournisseurs) de cultures, de langues et d'intentions différentes.

2.1.2. Interactions / interrelations

Les interactions sont un des critères clés de la systémique. Elles permettent d'étudier le flux d'information, de ressources, d'énergies (...) entre éléments du système. Cela est rarement abordé lors des analyses analytiques. Pour définir les différentes interactions du projet en Figure 14, nous nous appuyons sur les différentes interrelations possibles définies (Klir et Valach, 1965) et des trois liens de causalité que Morin a défini (Edgar, 1990):

- Linéaire: une cause implique un effet,
- Circulaire : les causes impliquent des effets, les effets agissent sur les causes. Il y a une boucle continue entre les causes et les effets,
- Récursive : Les causes impliquent des effets et les effets sont producteurs de causes. Les actions réalisées lors de l'exécution peuvent modifier les objectifs, les buts.

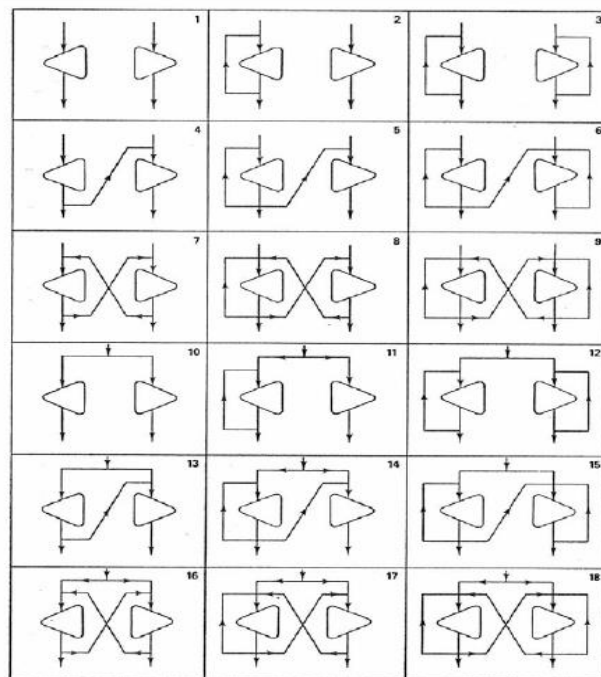


Figure 14: 18 types de relations entre deux acteurs (Le Moigne, 1994)

2.1.3. Phénomènes de rétroactions et boucles

La rétroaction représente un feedback. Elle renvoie une donnée de sortie comme donnée d'entrée avant de redevenir une donnée de sortie modifiée. Cette notion de rétroaction/récurtivité fut abordée par Morin dans les années 1980 dès les premiers Tomes de La Méthode (Edgar, 1977); (Edgar, 1980).

D'après Mégie, interrogé dans (Kourilsky, 2003), « *il faut développer de nouveaux instruments de pensée, permettant de saisir des phénomènes de rétroaction, des logiques récursives, des situations d'autonomie relative. Il s'agit là d'un véritable défi pour la connaissance, aussi bien sur le plan empirique que sur le plan théorique. Dans le domaine des sciences mathématiques, physiques, chimiques ou biologiques, ... [cela] passe précisément par un changement conceptuel du niveau de description pour révéler l'émergence de nouvelles propriétés* ».

L'analyse des interactions a pour avantage de pouvoir aborder l'étude des boucles de régulation (De Rosnay, 1977). (Donnadieu et al, 2003) décrivent une boucle de rétroaction (feed-back en anglais) comme un « *mécanisme permettant de renvoyer à l'entrée du système sous forme de données, des informations directement dépendantes de la sortie* ». Une boucle peut être:

- Positive : Ce type de boucle a un comportement divergent de plus en plus important. Elle suit la définition « *Effet boule de neige* ».
- Négative : Contrairement à son nom, ces boucles engendrent la stabilité du système et/ou la réalisation des objectifs. Elle a un effet d'auto-régulation
- Ago-antagonisme : Cette boucle peut être aussi bien positive que négative. Il est difficile de prévoir son changement de polarité. Ce phénomène se retrouve majoritairement dans la communication humaine.

2.2. Maîtrise des risques pour les systèmes complexes

Afin d'optimiser la gestion de leurs projets, les entreprises développent et améliorent sans cesse leur management des risques. Le management des risques offre une méthode structurée afin d'identifier, d'évaluer et de traiter les incertitudes futures pour prendre des décisions plus efficace et efficiente. (Guide du Corpus des connaissances en management de projet ([Guide PMBOK, 2001](#)) informe que « *les objectifs du management des risques du projet sont d'accroître la probabilité et l'impact des événements positifs, et de réduire la probabilité et l'impact des événements négatifs dans le cadre du projet* ». ([Abramovici, 1997](#)) stipule que historiquement, le management des risques provient du besoin d'anticiper les accidents technologiques et d'élaborer un ensemble de méthodes et de moyens afin d'éviter la matérialisation de l'inacceptable.

Il permet d'apporter une aide précieuse à la gestion de projet afin que les décideurs puissent prendre les bonnes décisions par rapport aux risques et opportunités. Cette aide à la décision renforce ainsi la capacité de création de valeur de l'organisation. Le management des risques est une activité intégrante comme la gestion des coûts, du planning... en ayant une difficulté supplémentaire provenant de son approche transversale des activités à effectuer. ([Fumey, 2001](#)) stipule que « *gérer le risque, c'est utiliser au mieux des ressources limitées pour minimiser un ensemble de risques que l'on ne pourra jamais réduire à zéro* ».

Ce type de management devient même de plus en plus crucial, tant les projets se complexifient et s'intensifient en termes de valeur capitalistique. ([Cooper and al, 2005](#)) stipule que le management des risques dans une organisation est généralement à plusieurs niveaux hiérarchique. Chaque acteur, qu'ils soient internes ou externes au projet, d'un niveau inférieure ou supérieur hiérarchiquement, est responsable de leurs activités et donc des risques qui y sont liés.

2.2.1. Processus de management des risques

Afin d'avoir une suite d'activités régulées et coordonnées tout au long du déroulement d'un projet, le management des risques au sein des entreprises s'appuie sur un processus. Dans la littérature, aussi bien dans le domaine industriel que dans le domaine académique, la définition du processus du management des risques reste souvent le même au niveau général ([Chapman, 1997](#)); ([Courtot, 1999](#)); ([Gourc et al, 2001](#)); ([Edwards et Bowen, 1998](#)); ([Lyons, 2003](#)); ([IFACI, 2005](#)); ([PMI 2013](#)) et s'appuie sur au minimum les 4 phases suivantes:

- Identification des risques: élaborer une liste des risques,
- Evaluation des risques: estimer l'occurrence d'apparition du risque et son impact, puis hiérarchiser les risques,
- Traitement des risques, définir des actions pour diminuer d'occurrence et/ou les effets,
- Suivi des risques et des actions de traitement.

Un état de l'art synthétique est réalisé sur les 2 premières phases.

2.2.2. Identification des risques (Annexe 3)

Au sein du management des risques, l'identification permet de créer une base de données établissant la liste des risques liés aux projets complexes de l'entreprise. Elle se réalise dès le début du projet jusqu'à sa fin. Afin de réaliser une identification efficace (limiter les oublis, améliorer leur caractérisation et hiérarchisation...), il est conseillé de faire participer un maximum d'acteurs aux compétences et expériences différentes. Pour cela, les entreprises emploient une multitude de méthodes utilisées par un acteur voir un groupe de travail interactif. Les risques sont identifiés à la fois au futur mais aussi au passé (l'instant présent étant difficilement modélisable et le futur impossible à prédire).

2.2.2.1. Retour d'expérience

Le retour d'expérience consiste à « l'utilisation de l'expérience du passé » (Caretta et Ragain, 1999). Il permet de faire le lien entre la pratique et la théorie. Elle est utilisée aussi lors de la réalisation dans chacune des méthodes suivantes. Les limites de cette technique souvent rencontrées sont :

- Les retours d'expériences des projets d'une entreprise sont souvent réalisés d'une manière différente ;
- Les événements ou scénarios risqués sont définis différemment alors qu'ils sont identiques. Cela engendre des répétitions dans les analyses ;
- La restitution sous écrit des retours d'expériences est souvent réalisée sans l'aide des outils de gestion de projets utilisés ;
- Le retour d'expérience d'un projet est souvent réalisé à un niveau de détails très fin. La vision systémique des causes et conséquences est très souvent négligée.

2.2.2.2. Réalisations d'interviews

Quatre méthodes classiques sont rapidement introduites ici.

- La méthode QQQQCPC (Qui Quoi Où Quand Comment Pourquoi Combien): Cette méthode permet de récupérer l'ensemble des informations sur un périmètre pour identifier les aspects essentiels (Canonne et Petit, 2013) d'un sujet étudié
- La méthode brainstorming est l'une des méthodes les plus connues pour la pensée créative (Isaksen, 1998). Elle Permet de tirer parti de la capacité créative des participants, très utilisée pour l'identification initiale pour les projets complexes.
- La méthode Delphi est souvent utilisée dans la gestion de projet ou lors de prévisions économiques. Elle est réalisée au moyen de questionnaires anonymes directs et envoyés à un grand nombre de participants plus particulièrement à des experts afin de collecter une importante quantité d'informations pertinentes et d'atteindre un consensus des experts (Landeta, 2006); (Linstone et Turoff, 2002); (Foth et al, 2016) ; (Ballantyne et al, 2016) ; (Tonni et Oliver, 2013).

La méthode NGT est structurée par des interactions « face-to-face » (Foth et al, 2016). Le processus de cette méthode se décompose en quatre étapes : Réflexions (15 à 20 minutes) ; Partage des risques (15-30 minutes) ; Discussion de groupe (30-45 minutes) ; Vote et classement.

2.2.3. Analyse des risques

Les méthodes d'analyses utilisées au sein du management des risques sont quantitatives et/ou qualitatives.

Comme le stipule (Mazouni, 2008), l'application de l'analyse qualitative fait appel systématiquement aux raisonnements par induction et par déduction. Elle a pour objectif d'observer des faits afin d'en définir des hypothèses et/ou des lois permettant d'interpréter le monde réel mais aussi de vérifier des hypothèses en l'appliquant à un cas d'observation. L'étude qualitative est principalement employée pour identifier et synthétiser les informations liées au projet (Frisch, 1999). Elle peut se baser sur plusieurs démarches :

- Démarche inductive : d'une observation on en déduit une hypothèse. La démarche inductive donne du sens à une masse de données de brutes. Pour réaliser une démarche inductive il faut que le nombre d'observations soit important et réalisées dans diverses situations.

- Démarche déductive : elle prend une hypothèse pour l'appliquer à un cas d'observations afin de la vérifier. (Bénard et Fontan, 1994) définissent l'approche déductive comme le fait de « remonter » des conséquences vers les causes.
- Démarche objective : Cette méthode considère le système étudié comme réel, autonome et indépendant. Elle a pour but de décrire le système d'une manière neutre, précise et méthodique.
- Démarche dialectique : Elle se base sur la confrontation des différentes perceptions que l'on peut avoir d'un système en se focalisant sur ses phénomènes réels et leurs contraires. Elle a l'avantage de construire une synthèse pertinente du système éloigné des opinions que les personnes peuvent t'avoir.
- Démarche expérimentale : Tout système doit être approuvé suite à une expérimentation.
- Démarche systémique : Elle se base sur la modélisation du système pour pouvoir mieux l'analyser et agir sur lui. Cette méthode ne cherche pas à découper le système mais à relier l'ensemble des ses éléments.

La méthode quantitative permet de fournir un moyen afin de (Cooper and al, 2005):

- Décrire les mécanismes détaillés à l'œuvre dans un ensemble de risques,
- Evaluer l'incertitude globale dans le projet auquel ils se rapportent et le risque global que cela représente pour les parties prenantes,
- Etablir des objectifs, des engagements et des éventualités compatibles avec l'incertitude dont fait face le projet et les risques que les gestionnaires sont prêts à accepter,
- Explorer la relation entre les instances détaillées de l'incertitude et du niveau de risque global, pour allouer les ressources à la gestion des risques.

L'évaluation quantitative des risques est décrite d'une manière détaillée par (Grey, 1995) et (Cooper et Chapman, 1987) argumentent que les simulations les plus couramment utilisées pour l'analyse des risques sont: l'utilisation de tableurs Excel, @Risk et Crystal Ball (Cooper and al, 2005).

Afin de répondre aux processus du management des risques de l'entreprise, celle-ci utilise au minimum un outil d'analyse et de traitement des risques. Afin de répondre à des objectifs de plus en plus complexes, ces outils sont apparus et utilisés sérieusement selon différentes périodes. Le nombre de ces outils étant important, seuls ceux que nous considérons utilisables pour gérer des risques au sein de projets complexes et pouvant s'utiliser sur les limites du contexte industriel (chapitre 1) sont définis dans ce paragraphe. Leurs définitions s'appuient sur les ouvrages et littératures suivants (De Rosnay, 1977) ; (Mazouni, 2008) ; (Desroches et al, 2009); (Cooper and al, 2005) :

- APR (Analyse Préliminaire des Risques) ou PHA (Preliminary Hazard Analysis) : L'analyse préliminaire des risques « est une technique d'identification et d'analyse de la fréquence du danger qui peut être utilisée lors des phases amont de la conception pour identifier les dangers et évaluer leur criticité ». Les principaux objectifs de cette méthode sont d'identifier et d'estimer la gravité des scénarios risqués qui peuvent avoir des impacts négatifs sur des cibles telles que des personnes, des biens et l'environnement (Baybutt, 2013 a et b).
- FTA - Fault Tree Analysis : L'objectif majeur de cette méthode est d'identifier les causes des événements redoutés (Bourouni, 2013): mise en évidence des relations causes-effets en estimant la probabilité que l'événement se matérialise.
- ETA - Event Tree Analysis : L'analyse par Arbre d'Evènements a été mise au point au début des années 1970 pour permettre d'évaluer les risques liés à l'exploitation des centrales nucléaires. Elle a pour but de décrire les scénarios dangereux à partir d'un événement initiateur. Cette méthode est souvent utilisée quand les événements sont considérés comme

ponctuels dans le temps. De chacun des événements, des branches sont étudiées pour comprendre s'il y a création d'une opportunité ou d'un risque lié au système.

- FMECA (AMDEC) - Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis : L'AMDEC a pour objectifs d'identifier les modes de défaillance, les causes et conséquences éventuelles de chaque mode mais aussi d'évaluer la criticité de ces conséquences. Celle-ci est souvent réalisée avec des unités de mesures différentes ce qui pose des problèmes pour hiérarchiser et traiter les risques. (Rowe, 1977) souligne ce point et propose d'évaluer les conséquences dans une unité de mesure commune.
- HAZOP - Hazard and Operability Study : La méthode HAZOP a été créée par la société Impérial Chemical Industries au début des années 1970 afin de pouvoir évaluer les dysfonctionnements d'origine humaine et matérielle qui ont des effets sur le système. L'objectif de cette méthode est d'analyser les éventuelles dérives des paramètres liés au système afin de les hiérarchiser et de les éliminer.
- MOSAR - Méthode Organisée et Systémique d'Analyse des Risques : La méthode MOSAR a été créée par Perilhon du Centre d'énergie atomique (CEA). Son processus est décomposé en deux visions, celle que l'ensemble des entreprises analysent : la vision microscopique mais aussi celle qui est négligé et pourtant qui est très importante celle représentant la vision macroscopique.
- MADS - Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes : La méthode MADS se base sur l'approche systémique de (Le Moigne, 1994) et a pour objectif d'analyser les éléments d'un système dans leur ensemble en prenant en compte leurs interactions. La méthode MADS est considérée plutôt comme un outil d'aide à la compréhension qu'un outil d'analyse de risque. Elle se complémente souvent avec la méthode MOSAR.
- Approche cindynique : La cindynique met en valeur « *La perception du danger est relative à la situation et à l'acteur qui la perçoit* » (Kerven, 1999). Elle s'utilise principalement pour étudier les risques dans l'industrie. Elle permet d'analyser les risques qu'un système encours avec une vision plus philosophique mais aussi d'estimer la cohérence des éventuelles mises en place d'actions de protections.
- RSM : Risk Structure Matrix : La RSM découle de la méthode DSM (Design Structure Matrix) qui fût introduite par (Stewart, 1981). Cette méthode permet d'analyser les interactions et les dépendances entre éléments/Objets, en particulier les risques (Marle et al, 2013) ; (Yand et Zou, 2014).

En sortie de l'analyse, des priorités sont à accorder aux risques afin de décider ensuite des plans d'action adéquats. Afin de hiérarchiser les risques, la méthode la plus utilisée au sein des entreprises industrielles est la classification des risques selon leur niveau de criticité, comme illustré dans le Tableau 4. Celle-ci permet de mettre en avant les risques à prioriser lors des phases de traitement (surveillance, contrôle, maîtrise...). Pour cela, la norme NF EN 50126 définit la matrice Gravité/Occurrence ci-dessous pour permettre de positionner les zones à risques.

Tableau 4 : Matrice Gravité / Occurrence norme NF EN 50126

	Insignifiant	Marginal	Critique	Catastrophique
Invraisemblable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable
Improbable	Négligeable	Négligeable	Acceptable	Acceptable
Rare	Négligeable	Acceptable	Indésirable	Indésirable
Occasionnel	Acceptable	Indésirable	Indésirable	Inacceptable
Probable	Acceptable	Indésirable	Inacceptable	Inacceptable
Fréquent	Indésirable	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable

2.2.4. Limites des méthodes actuelles par rapport au contexte de la thèse

Une première limite est la différenciation de perception entre acteurs, qui est une des contraintes majeures du projet et qui doit être prise en compte le plus en amont possible. Selon la norme ISO/CEI Guide 51 (ISO/CEI Guide 51, 1999), la perception du risque est « l'ensemble de valeurs ou préoccupations aux travers desquelles une personne, un groupe ou un organisme considère un risque ». Bien que l'ensemble des parties prenantes d'un projet travaillent au sein d'un même projet, les perceptions des éléments de celui-ci (pouvant devenir un risque: activités, acteurs, livrables) ne seront pas évalués de la même manière et n'auront donc pas le même indice de dangerosité. Cette différence peut venir de plusieurs sources:

- Une activité a souvent un taux de charge de travail différent selon un sous-contracteur (80%), un contracteur (35%) ou l'entreprise opératrice (5%) ;
- (Kerven et al, 1991) soulèvent le paradoxe de la familiarité du danger en soulignant que: « La fréquentation quotidienne d'un danger à forte gravité se traduit par une sous-estimation de ce danger qui décroît avec l'éloignement ».
- Les acteurs n'ont pas forcément les mêmes niveaux de compétences;
- Les acteurs n'ont pas les mêmes ressources disponibles (financières, humaines, technologiques...);
- Les parties prenantes non pas les mêmes objectifs, finalité;

La deuxième limite principalement constatée, tant dans les méthodes disponibles que dans leur application concrète, est la prise en compte insuffisante de la complexité des systèmes pour lesquels les risques sont analysés. Cela implique essentiellement un manque de considération des interdépendances entre les différentes dimensions du projet (ses objectifs, ses éléments Produit, ses éléments Processus et les différentes temporalités et rétroactions possibles, et ses éléments organisationnels). Tout ceci implique un décalage entre ce que le système est, comment il est perçu, et comment il est géré ensuite. C'est l'objet de cette thèse de tenter d'améliorer les choses sur ce point, appliqué au contexte particulier des contrats de sous-traitance dans le cadre de projets pétroliers et gaziers. Les sections suivantes vont donc introduire ces spécificités, en ciblant sur deux moments bien distincts du cycle projet : la Contractualisation, qui consiste à prendre un certain nombre de décisions qui se traduisent par la signature de contrats, et l'Exécution, qui est la réalisation de ce qui a été mis en place précédemment.

2.3. Sous-traitance et contractualisation

La sous-traitance est définie comme l'opération par laquelle une entreprise opératrice d'un projet confie à un entrepreneur/fournisseur une partie du projet par le biais d'un contrat conclu entre les parties prenantes. La phase de Contractualisation a pour missions principales la définition des types de contrats et des types de rémunération constituant le cadre contractuel du projet (la stratégie contractuelle) et la sélection des contracteurs à affecter à cette stratégie.

2.3.1. Stratégie contractuelle : découpage du projet

De nombreux types de contrats sont utilisés pour formaliser les accords entre ses différentes parties. Chaque type de contrat correspond à un périmètre d'activités à réaliser par le contracteur (parmi les phases dont l'Engineering E, le Procurement P et la Construction C) et ont chacun d'eux des avantages et inconvénients. Les options (périmètres / type de contrat) pour construire la stratégie contractuelle sont les suivantes, pour un élément donné du Produit :

- Plusieurs contrats séparés (pour le E, le P, le C) : l'opérateur a un contrôle plus important sur l'activité, le coût peut être moins important et la performance peut être meilleure grâce au fait qu'il est parfois possible de trouver un entrepreneur plus adapté du fait du périmètre plus restreint. A l'inverse, cette option génère un nombre plus important d'interfaces contractuelles, un effort beaucoup plus important en termes de management du projet, et un temps d'approbation des différents contrats par le Pays hôte et les partenaires plus long.
- Un contrat combinant plusieurs phases, comme par exemple l'EPC (Engineering, Procurement, Construction), l'EPCI (Engineering, Procurement, Construction, Installation), l'EPCM (Engineering, Procurement, Construction, Management par le Contracteur) ou encore l'EPCC (Engineering, Procurement, Construction, Commissioning): cela limite le nombre d'interfaces contractuelles et réduit la quantité de travail dédiée à la surveillance, mais en retour cela limite la compétition entre contracteurs et la vision détaillée sur les activités transmises aux contracteurs. De plus, la flexibilité est limitée en ce qui concerne les modifications de conception en retard, et ce quelle que soit la justification de la modification de la conception.
- Un contrat clé en main qui couvre l'ensemble des phases, du type EPSCIC (Engineering, Procurement, Supply, Construction, Installation, Commissioning) : il est utilisé afin de rester responsable de la conception de base et de déléguer le reste des activités difficiles à un contracteur.

Par expérience, l'entreprise TOTAL utilise principalement des contrats EPSCCI et EPC afin de pouvoir transférer la maîtrise d'un maximum de risques aux contracteurs. Au sein de l'entreprise aucun Processus n'est dédié à la sélection du type de contrat le plus approprié au contexte du projet et aux contracteurs.

2.3.2. Sélection du type de rémunération

Après avoir défini le périmètre du futur contrat, l'opérateur peut sélectionner la méthode de rémunération. Différentes méthodes de rémunération existent, basées globalement sur le caractère fixe ou remboursable des coûts, avec d'éventuelles incitations à la performance (Thompson et Perry, 1992); (Ward et Chapman, 1994); (Cooper and al, 2005); (Antonioua et al, 2013). (Thompson et Perry, 1992) ont récapitulé les risques liés aux 4 principaux types de paiement utilisés (Tableau 5): Fixed Price, Unit Price, Target Cost et Cost Reimbursable,

Tableau 5: Principaux risques liés à certains modes de rémunération

	Fixed Price	Unit Price	Target Cost	Cost Reimbursable
Les objectifs financiers du client et l'entrepreneur	Différent mais responsable indépendant	Différent et conflit potentiel	Harmonie considérable, réduction du coût réel dans un objectif commun si le coût reste dans la gamme d'incitation	Les deux sont basés sur des coûts réels, potentiellement in conflit
Flexibilité pour le changement/ L'évolution de la conception	Très limité	Quelque peu	Etendue	Non limitée
Evolution des changements par le client	Peu ou pas d'information du soumissionnaire	Principalement basé sur les taux commissionnés	Ajustement ciblé en fonction des coûts réels et de l'utilisation des ressources ou des taux cibles	Utilité contractuel inutile
Chevauchement de la conception et de la construction, début de la construction au plus tôt	Pas applicable	Faisable mais relativement limité	Opportunité considérable	La construction peut être commencée quand la première conception est disponible
Contracteur impliqué dans la conception des ouvrages en permanence	Exclu	Habituellement inclus	Contracteur encouragé à proposer des idées afin de réduire les coûts	Le contracteur peut être défini comme une donnée d'entrée avant la conception
Le client influence sur le management de la construction	Exclu	Rétrospective	Recommandé par la planification prévue	Doit être active
Paiement pour risque	Offre éventuelle non révélée	Offre éventuelle non révélée plus recommandations	Paiement du risque réel si le risque survient	Paiement du coût réel
Résolutions des réclamations	Aucune base pour l'évaluation	Le client n'a aucune connaissance sur les coûts réels ou sur les imprévus	Basé sur les coûts réels ou cibles. Nécessite une planification soigneuse	Inutile sauf pour les ajustements concernant les frais
Connaissance du coût final de l'offre (hors inflation)	Connu	Incertain ; Le prix de l'offre en général augmente suites aux variations et revendications	Incertain ; Le prix de l'offre en général augmente suites aux variations et des économies	Inconnu

(Antonioua et al, 2013) expliquent par leurs résultats les avantages des types de rémunération:

- Le Fixed price incentive et le Lump sum / fixed price sont appropriés quand il est difficile d'estimer le coût final de la construction. Cependant, le Lump sum / fixed price n'est pas approprié quand il y a des incertitudes concernant le périmètre (ex : dans le cahier des charges), ce qui est appuyé par (Turner et Simister, 2001).
- Le Cost plus incentive fee est simple à mettre en œuvre et est un des types de rémunérations qui crée le moins de réclamations pour l'entrepreneur comme le Lump sum / fixed price. Il permet aussi d'inciter l'entrepreneur à être plus performant comme le stipule (Howard et al, 1997).

(Bajari et Tadelis, 2001) après avoir réalisé une étude comparative entre les contrats Fixed-Price (Lump Sum) et Reimbursable, démontrent que les contrats à «Fixed-Price» seront utilisés pour des projets simples et peu coûteux lors de la conception alors que les contrats «Reimbursable» seront eux employés pour des projets complexes, afin de permettre d'avoir une forte capacité d'adaptation en cas d'aléas. Les entreprises dans le secteur privé réalisent principalement des contrats Fixed-Price lorsque qu'elles effectuent un appel d'offres, et utilisent des contrats remboursables quand elles négocient directement avec l'acheteur.

Une fois le périmètre et le type de rémunération définis, il convient donc maintenant de s'intéresser aux détails du contrat, c'est l'objet du paragraphe suivant.

2.3.3. Définition du contrat : Comment bien définir les exigences contractuelles ?

Un contrat par ses incertitudes et donc sa nature complexe ne peut être définie comme un système figé, c'est-à-dire se réduisant à une analyse exhaustive (déterministe/réductionniste) de tout ce qui peut arriver durant son exécution. La pensée qui consiste à croire qu'un contrat de réalisation peut être défini de façon exhaustive avec des exigences parfaitement fixées nous semble être une utopie. Lors de phase de contractualisation, l'opérateur peut imposer des exigences à l'entrepreneur pour que celui-ci respecte le contrat. Les exigences pour se prémunir de ces risques que nous retrouvons souvent dans le secteur pétrolier sont les suivantes (Documentation IFP formation [TOTAL]) :

- Liquidated Damages : imposition de pré-accord de perte sur l'entrepreneur si différentes cibles pré-désignés ne sont pas remplies (ceux-ci sont considérés comme standard sur la plupart des contrats) ;
- Time Based Incentives : incitation pour l'entrepreneur en fonction des objectifs basés sur le temps (par exemple : le délai de livraison) ;
- Safety Based Incentives : incitation pour l'entrepreneur en fonction des performances de sécurité et sûreté ;
- Weight Based Incentives : incitation pour l'entrepreneur en fonction des performances de réduction de poids ;
- Operability Based Incentive: incitation pour l'entrepreneur en fonction de la fiabilité de l'installation sur une période de temps désignée ;
- Cost Based Incentives : incitation pour l'entrepreneur basé sur la réduction des coûts de TOTAL ;

Cependant, imposer des exigences sévères à l'entrepreneur n'est souvent pas la meilleure solution. Le montant des pénalités a des limites. On ne peut pas infliger à l'entrepreneur plus de 5% du prix du contrat en ce qui concerne les "Liquidated Damages". Au-delà, dans la pratique, il protestera parce que son risque Après avoir payé la pénalité est de cesser toute activité. D'autre part, même une pénalité de 5% ne couvre pas par exemple le manque à gagner d'un retard de production de plusieurs

mois alors que ce retard de livraison des ouvrages peut dégrader de manière significative la performance économique du projet de développement.

Afin de maximiser la prévention des risques, il existe différentes clauses qui peuvent être définies par l'entreprise opératrice du projet :

- **Payment Terms Clauses:** Lorsque les entreprises reçoivent des délais de paiement de fournisseurs il peut y avoir des différences importantes au niveau du calendrier de paiement concernant les divers décaissements (Bregman, 1993). (Ward et Chapman, 1994) examinent dans quelle mesure les conditions de paiement peuvent être pertinentes.
- **Exchange Rate Clauses:** Le taux de change d'une dune monnaie représente le prix de celle-ci par rapport à une autre. Son rapport peut varier en permanence si celui-ci est coté sur les marchés boursiers. Cela peut représenter un risque financier majeur pour les entreprises. Afin de limiter ce risque, les entreprises cherchent à définir un taux de change fixe. (Bellalah, 2005) se focalise sur la gestion des risques de taux d'intérêt et de change.
- **Insurance coverage clauses:** La rédaction des clauses de couverture d'assurance sont définies afin de se prémunir d'éventuels aléas non maîtrisable par les acteurs liés au projet (exemple : Force Majeure) ;
- **Product qualification clauses:** La rédaction des clauses de qualification de produits sont rédigées en particulier lorsque de nouvelles technologies et/ou de procédés sont utilisés ;
- **Performance guarantees:** La rédaction des clauses de garantie de performance dans un environnement de négociation au profit de TOTAL. Cette clause fait partie du contrat (Pícha et al, 2015).

2.3.4. Processus d'attribution du contrat : Comment sélectionner le meilleur contracteur ?

Généralement, la phase du processus d'appel d'offres prend un à deux ans. L'objectif est de sélectionner les entrepreneurs compétents et disponibles, d'analyser les prix de leurs champs d'application respectifs et d'obtenir l'approbation des partenaires commerciaux et des autorités nationales pour l'attribution du contrat. Cette étape a pour but de minimiser les risques fournisseurs. Les étapes qui sont réalisées durant cette phase sont :

- **Pré-qualification:** sélection des soumissionnaires ;
- **Préparation des appels d'offres:** définir le périmètre de travail, le calendrier, le type de rémunérations, les normes techniques :
 - Combien de fournisseurs et quels entrepreneurs devraient être invités?
 - Quels sont les critères de sélection?
 - Quels sont les exigences obligatoires (réglementaires, partenaires, etc.)?
- **Analyse des appels d'offres :**
 - Les soumissionnaires sont-ils aptes à réaliser les exigences?
 - Leurs prix sont-ils corrects?
 - Leurs délais sont-ils cohérents?
- **Recommandation:** Qui est le soumissionnaire retenu ?

Afin de bien réaliser cette activité, différentes options sont possibles, (Guide et manuels TOTAL, Entretiens avec des salariés TOTAL), comparées dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Avantages et inconvénients des processus d'appel d'offres

Options	Avantages	Inconvénients
CFT : Call For Tender	<ul style="list-style-type: none"> -La participation des clients est limitée -Maximisation des innovations - Incite les soumissionnaires à optimiser leurs coûts et délais tout en partageants les risques -Favorise les négociations en faveur de l'entreprise opératrice 	<ul style="list-style-type: none"> -Rallonge le temps du cycle de vie du projet en raison de la période d'appel d'offres -Mauvaise visibilité de la structure des prix -Le nombre élevé de soumissionnaires augmente les coûts d'appel d'offres, ralentit le processus et rend difficile la sélection
CCFT : Compensated Call For Tender	<ul style="list-style-type: none"> -Permet de sélectionner la meilleure conception (inciter les soumissionnaires à proposer des conceptions créatives -Permet de mieux anticiper / adapter la conception des capacités de construction de l'entrepreneur EPC - Incite les soumissionnaires à optimiser leurs coûts et délais tout en partageants les risques -Favorise les négociations en faveur de l'entreprise opératrice 	<ul style="list-style-type: none"> - Le processus de supervision des clients est compliqué car il est nécessaire de superviser l'ensemble des besoins des soumissionnaires et d'aligner les décisions -Appel d'offre plus difficile à réaliser et plus couteux
Direct contract: Without Frame Agreement	<ul style="list-style-type: none"> -Permet de démarrer le contrat sans passer par la phase de soumissions -Permet de minimiser les ressources et le temps des acheteurs mais aussi évaluation technique de l'équipe -Permet de cibler les efforts sur les fournisseurs capables d'offrir les équipements et services requis 	<ul style="list-style-type: none"> -Ne favorise pas la compétition des soumissionnaires par rapports aux coûts et délais -Perte du pouvoir de négociation de la part de l'entreprise opératrice vers les contracteurs -Favorise l'augmentation des conflits entre les contracteurs
Direct contract: With Frame Agreement	<ul style="list-style-type: none"> -Permet de démarrer le contrat sans passer par la phase de soumissions -Permet d'éviter les négociations requises pour les tarifs, les conditions générales et le cadre du contrat qui sont déjà négociés -Permet d'avoir une compétition au niveau des coûts 	<ul style="list-style-type: none"> - Limité habituellement pour certains types de contrats comme les contrats remboursables (voir élaborer des accords avec des entrepreneurs d'ingénierie de base) - Nécessitent les négociations du périmètre contractuel et du calendrier
OBT : Open Book Tender	<ul style="list-style-type: none"> -Permet une bonne transparence concernant les estimations (coûts) - Permet une bonne évaluation des coûts, des risqué et des imprévus -Permet d'assurer une mobilisation des ressources au plus tôt Permet de gagner du temps en ne réalisant pas de phase d'appel d'offre -Permet de ne pas avoir de démobilitation des équipes de l'entrepreneur 	<ul style="list-style-type: none"> -Client profondément impliqué jusqu'à : "Conversion stage" -Risques résiduel pour le client jusqu'à : « Conversion stage » -Les coûts du projet ne sont pas fixes jusqu'à : "Conversion stage" -Processus de conversion complexe (par exemple un accord sur les imprévus)
FEED	<ul style="list-style-type: none"> -Permet de transmettre au contracteur une partie du pré-projet (conceptuelle), le Basic Engineering et une partie du Details Engineering. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'entreprise passe plus de temps sur la phase Engineering qu'avec les autres processus

2.4. Exécution d'un ensemble de contrats interdépendants

Pour conduire leurs projets de développement, les entreprises (celles du domaine pétrolier y compris) ont commencé à mettre en place des groupes supports afin d'aider et de mieux superviser leurs projets. Parmi ces groupes, elles utilisent le plus souvent les trois différents types d'organisation suivants : le type 1 est défini comme la gestion indépendante, en tout cas sans structure de coordination, de projets multiples. La tendance depuis quelques décennies est de créer des groupes de coordination et d'aide à la décision: Project Management Office (PMO, type 2) et groupes interentreprises (ICG : Inter-Companies Group, type 3). La tendance que nous pouvons percevoir dans le secteur industriel est le fait que les entreprises ont tendance à créer de plus en plus de groupes de supervision autour du (ou des) projet(s) : accumulation PMO + ICG +...

2.4.1. Type 1 : Accumulation de structures mono-projet

L'organisation de type 1 est constituée de plusieurs projets isolés, chacun évoluant dans un environnement propre, avec des parties prenantes propres. Il n'y a pas de structure pour coordonner l'ensemble des projets et des parties prenantes, et aucune structure permettant de prendre en compte formellement les interactions entre projets et/ou parties prenantes. (Stoddart-Stones, 1988) stipule que pour ce type d'organisation, le responsable du projet a toute autorité sur celui-ci sans pouvoir gérer directement la performance des contracteurs et contrôler la rédaction des contrats. De plus, avec la prolifération de la sous-traitance, ce type d'organisation augmente la difficulté du chef de projet à tout contrôler dans son ensemble.

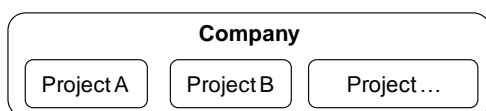


Figure 15: Type 1 – Accumulation de structures mono-projet

2.4.2. Type 2 : Emergence des Project Management Office (PMO)

Avec l'augmentation du nombre de projets à réaliser au sein des entreprises et de leur complexité, une tendance a été de faire émerger en interne la création de groupes afin de coordonner l'ensemble des projets (Marsh, 2000), d'aider les décideurs à prendre des décisions mais aussi d'être en relation avec les clients (Hill, 2008). (Stoddart-Stones, 1988) explique que cela permet de coordonner les projets et d'intégrer le travail effectué par les services de surveillance et de contrôle des différents contrats. (Müller, 2009) approfondit ce point en expliquant qu'un PMO est une institutionnalisation des stratégies de gouvernance. (Dai et Wells, 2004) expliquent qu'au cours de la dernière décennie, de nombreuses organisations ont mis en œuvre un ou plusieurs PMO dans le cadre du management organisationnel dans les projets, en leur attribuant une variété de rôles opérationnels et stratégiques. (Aubry and al, 2010) ont distingué quant à eux deux types existants de PMO (bien que leurs fonctions soient similaires) : un PMO qui coordonne un projet (« project office ») et un PMO qui coordonne plusieurs projets (Figure 16), la structure la plus fréquente étant par nature celle du PMO coordonnant plusieurs projets.

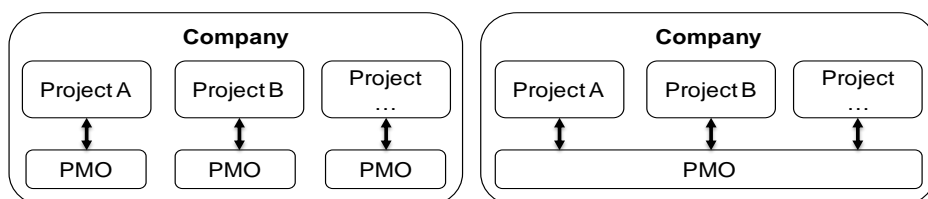


Figure 16: Type 2 – Différentes définitions des PMO(s)

(Thomas and Mullaly, 2008) affirme que les PMO peuvent différer selon leurs intérêts, leur structure et leur influence. L'étude de (Aubry and al, 2007) confirme premièrement l'hypothèse de (Mintzberg, 1989) formulant que des structures de type PMO s'adaptent à leur environnement, en stipulant que la relation entre le PMO et l'organisation dans laquelle il est incorporé est bidirectionnelle. Deuxièmement, cette relation participe à une construction dynamique comme il est proposé dans la théorie co-évolutionniste de (Van de Ven and Garud, 1994) : en ce sens, un PMO participe à l'élaboration de l'avenir et peut donc être considéré comme une participation positive dans la construction continue de l'organisation. Néanmoins, malgré l'apport d'au moins un PMO dans une organisation, ce type d'organisation montre certains inconvénients :

- Ces groupes ont une moyenne d'âge courte : environ 2 ans (Hobbs and Aubry, 2007), du fait de l'instabilité occasionnée par leur environnement ;
- la durée de mise en œuvre d'un PMO est un effort continu et prend souvent beaucoup de temps (Blažević, Mišić and Šimac, 2014) ;
- L'information devrait être améliorée dans l'organisation des PMO(s) (Blažević, Mišić and Šimac, 2014) ;
- Les parties prenantes externes (contracteurs, pays hôte, partenaires, organisme réglementaire...) aux projets ne sont pas prises en compte (Hill, 2013).

2.4.3. Type 3 : Apparition des groupes Interentreprises (ICG : Inter-Companies Group)

Dans les précédents types d'organisation, seules les parties prenantes internes à l'entreprise opératrice du projet sont prises en compte. Afin de prendre aussi en compte les parties prenantes externes des projets (fournisseurs, entrepreneurs, Pays hôte, ONG...), les entreprises élaborent des groupes ICG(s) regroupant des acteurs de chacune de ces parties prenantes, sélectionnés arbitrairement selon leur niveau d'expertise ou leur niveau hiérarchique.

Les ICG(s) sont mis en place afin de d'améliorer la collaboration et la coordination entre l'ensemble des parties prenantes. Ces groupes peuvent être définis comme un accord concernant un partenariat stratégique. (Garette and Dussauge, 1995) définissent des partenariats stratégiques comme « des associations entre plusieurs entreprises indépendantes qui choisissent de mener à bien un projet ou une activité spécifique en coordonnant les compétences, moyens et ressources nécessaires plutôt que de mettre en œuvre ce projet de manière autonome ». (Mahmoud-Jouini and Calvi, 2004) énumèrent quatre configurations de coopérations interentreprises: intersectorielles (interagissent sur le projet ponctuellement selon leurs compétences spécifiques), verticales (« relation de client-fournisseur »), horizontales (« réunissent des entreprises concurrentes engagées dans un projet commun ») et entre complémentaires (« entre entreprises qui n'entretiennent pas de transactions directes ni de relations concurrentielles et dont les produits se complètent »).

La structure des ICG(s) s'élabore comme les PMO(s) des entreprises. Le premier cas consiste à avoir un ICG par projet et le second cas est défini par un seul ICG qui coordonne l'ensemble des projets (Figure 17). Dans le deuxième cas, l'avantage est la globalité de la vision et des discussions engendrées. L'inconvénient majeur est la création d'un groupe fermé qui favorise la création d'un secteur/marché monopoliste et diminue en contrepartie l'ouverture à la concurrence et l'innovation, ce qui explique que, contrairement au PMO, la structure le plus souvent envisagée est celle correspondant à la définition d'ICG(s) spécifique(s) à chaque projet.

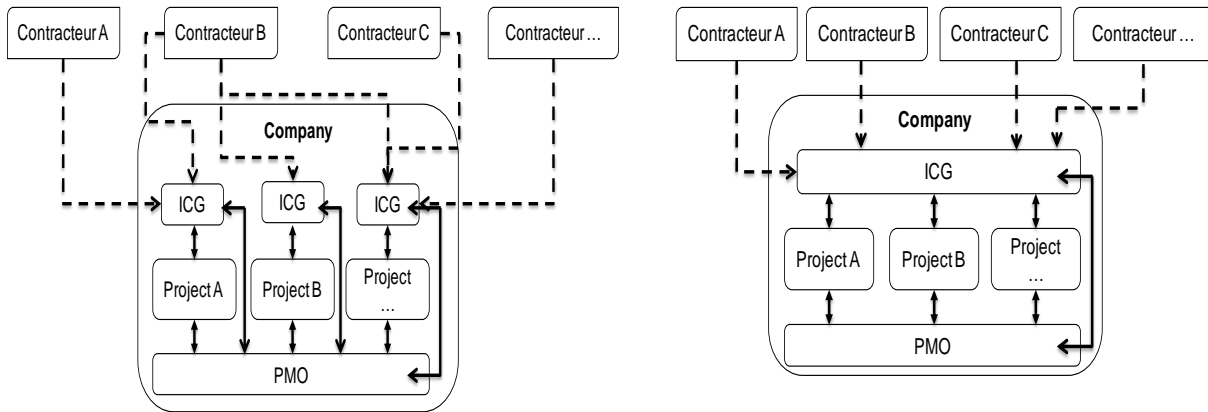


Figure 17: Type 3 – Différents exemples d'ICG(s)

De plus, bien que les contracteurs soient pris en compte au sein des ICG(s), cela ne représente qu'une partie des parties prenantes externes. Enfin, les décisions importantes sont principalement prises par les acteurs des groupes ICG(s), qui sont souvent loin des phénomènes réels qui se déroulent dans les projets.

2.5. Conclusion : un besoin académique d'adapter l'approche systémique aux spécificités de la maîtrise des risques dans les projets sous-traités

Afin de tenter de limiter et maîtriser les aléas du contexte industriel définis dans le chapitre précédent (contexte industriel de l'entreprise TOTAL), nous pouvons comprendre par ce chapitre (dédié à l'état l'art académique et industriel), qu'il existe déjà plusieurs approches, outils et une multitude de méthodes pouvant être utilisées.

Cependant, malgré des listes d'avantages et inconvénients génériques de ces approches, outils et méthodes il est encore difficile de bien réaliser les phases de contractualisation et d'exécution, du fait :

- D'ignorer l'approche systémique et d'utiliser uniquement approche analytique ;
- D'avoir des difficultés pour choisir le type de contrats avec lequel on va travailler étant donné que ce choix dépend par nature de nombreux facteurs liés au contexte de ces projets complexes, ces facteurs étant eux-mêmes interreliés. Ce choix reste principalement pris selon l'expérience et les habitudes des décideurs.
- De mal appréhender les comportements récurrents des acteurs impliqués dans la réalisation de projets complexes ce qui se traduit assez souvent par un manque de coordination pour délibérer et prendre des décisions avec discernement.
- Lors du management des projets, l'analyse des acteurs dans leurs réseaux par rapport à leurs activités, leurs relations et leurs risques est souvent non prise en compte. Les analyses de risques se focalisent principalement sur les activités ou sur les compétences des acteurs.

CHAPITRE 3

PROBLEMATIQUE ET DEMARCHES

3. Problématiques et Démarches

3.1. Problématiques

Tout projet complexe présente un certain nombre de contraintes et d'incertitudes qui le rendent risqué. Ces risques peuvent être de natures et de niveaux différents sur des temporalités pouvant couvrir tout le cycle de vie du projet de développement et même au-delà. A partir des processus de management de l'entreprise et de la théorie des systèmes appliqués aux projets complexes de la branche TOTAL E&P, nous considérons le projet comme le management d'un ensemble de contrats interdépendants. Nous nous focaliserons en particulier sur le management des risques liés à ces contrats et à leurs interdépendances, organisationnelles, physiques et temporelles.

Pour autant, la signature des contrats est un événement clé car elle verrouille les conditions d'exécution du projet: une fois le contrat signé, toute modification peut engendrer des problèmes, tels que du rework, des renégociations, des avenants et/ou des litiges. Or, une partie de ces problèmes survenant après signature sont des conséquences directes ou indirectes d'erreurs commises lors de la phase de contractualisation. Ces conséquences peuvent faire suite soit à la mauvaise réalisation de la phase de contractualisation, soit à la mauvaise anticipation des conséquences qu'une décision pourrait avoir sur la phase d'exécution. Par exemple, lorsque l'entreprise opératrice décide de réaliser des « gros contrats », elle transmettra la majeure partie des risques mais aussi le rapport de force au contracteur. En revanche, si elle décide de réaliser plusieurs petits contrats, elle garde le rapport de force en sa faveur, mais augmente sa charge de supervision du fait de l'augmentation des interactions entre les contrats. C'est pourquoi il est important de mieux maîtriser les risques avant signature, notamment en anticipant mieux leurs conséquences sur l'exécution du contrat.

Passer un contrat permet de figer ses paramètres: le type de rémunération (Lump sum, Reimbursable, etc), le découpage des périmètres techniques (phases du projet et workpackages, etc), le choix de l'entrepreneur, les agreements (Legal Terms & Conditions, Contractual Clauses, Annexes) et les exhibits (Technical and Operational Requirements) qui définissent les droits et les obligations des parties prenantes. Le croisement entre les deux premiers paramètres définit ce qui est appelé le type de contrat. La sélection du type de chacun des contrats adapté à son périmètre, au contexte du projet et à ses finalités, fait partie des décisions les plus importantes lors de la signature des contrats (validation de la stratégie contractuelle) car elle structure le pilotage de la phase d'exécution du projet. La première problématique de thèse est donc: « **Comment minimiser les risques liés à la définition de la stratégie contractuelle ?** »

Lors de la phase de contractualisation, plusieurs acteurs participent à l'élaboration de la stratégie contractuelle la plus adaptée au contexte du projet et à ses finalités. De plus, un contrat est composé de deux parties prenantes directes (l'entreprise, l'entrepreneur) et indirectes (Pays hôtes : gouvernement, communautés locales ; partenaires, compagnie pétrolière locale, sous-contracteurs...). Comme la stratégie contractuelle d'un projet de développement se compose de nombreux contrats, il existe donc de très nombreuses interactions entre les acteurs de différentes organisations qui échangent un flux gigantesque d'informations aussi bien en phase contractualisation qu'exécution. Ces différentes interactions se déroulent à l'intérieur d'un contrat, entre deux ou plusieurs contrats mais aussi avec son environnement. Elles peuvent se dérouler avec des temporalités synchrones ou asynchrones, à savoir qu'un événement source peut être la cause d'un événement cible beaucoup plus grave avec un décalage dans le temps. La seconde problématique de cette thèse porte donc sur les méthodes et outils qui servent à mettre en relation les acteurs internes et externes au projet afin qu'ils puissent optimiser leurs échanges. L'objectif est de mieux réaliser leurs tâches et prendre des décisions coordonnées sur chaque contrat en anticipant les conséquences, à la fois sur les phases futures de ce contrat et sur le reste du projet. Cela revient à étudier : « **Comment minimiser les risques liés aux processus de pilotage des phases de contractualisation et d'exécution ?** »

3.2. Démarches

3.2.1. Démarche générale

Notre démarche générale consiste à combiner l'approche systémique à celle du management de projet et plus particulièrement du management des risques projet, afin de mieux élaborer et suivre les activités internes à l'entreprise TOTAL et celles liées à la sous-traitance (élaboration et sélection des contrats, sélection des types de rémunérations, type d'organisation).

Le management des risques a tendance à être très souvent sous employé (voire ignoré) et à ne pas être perçu à sa juste valeur. (Latham, 1994) stipule que « *le risque est gérable, réductible, transférable ou acceptable mais pas ignorable* ». (Gourc, 1999) souligne que le risque ne doit plus être vu uniquement comme un point négatif, mais comme une source d'innovation et de création de valeurs.

Dans ce mémoire, nous décidons d'approfondir le management des risques actuel de l'entreprise TOTAL en y combinant l'approche systémique (complexité, incertitudes...) mais aussi en essayant de faire changer la perception qu'ont les parties prenantes (entreprise, contracteurs, partenaires...) de ce type de management. (IFACI, 2005) aborde le management des risques en expliquant : « Si l'art délicat de la prise de risques a toujours été un attribut incontournable du management, les modalités d'appréhension des risques connaissent un renouvellement. L'approche traditionnelle, marquée notamment par un cloisonnement de la gestion des risques et par une vision très axée sur l'arbitrage entre assumer ou recourir à l'assurance, est ainsi jugée insuffisante. La demande des dirigeants s'oriente vers des outils intégrant le management des risques dans le management global des activités. L'avantage compétitif reviendra ainsi à ceux qui, les premiers, sauront identifier, puis saisir et exploiter les opportunités nouvelles glissées dans le nuage d'incertitudes qui entoure l'organisation ».

(Edwards et al, 1998) et (Lam et al, 2007) stipulent que le management des risques est un outil crucial pour faire face aux risques majeurs dans l'industrie de la construction par :

- L'évaluation de la viabilité du projet ;
- L'analyse et le contrôle des risques afin de minimiser les pertes ;
- La réduction de risques par une planification appropriée ;
- Le non lancement des projets insatisfaisants.

Afin de répondre aux deux problématiques énoncées précédemment, nos travaux de recherches se focalisent sur : 1) le pilotage de la contractualisation, qui impactera 2) la structuration et validation de la phase exécution par l'élaboration de la stratégie contractuelle. Les points 1) et 2) pourront impacter directement ou indirectement 3) le pilotage de la phase exécution. Le point 2) se concentre majoritairement sur les activités réalisées tout au long du projet de développement alors que les points 1) et 3) se focalisent principalement sur le management des acteurs.

Afin d'avoir une représentation systémique du projet, au sein de chacun de ces travaux de recherches, nous utilisons la matrice ALEAI (Activités, Livrables & Exigences, Acteurs et Interaction entre acteurs) décrite par la Figure 18. La matrice ALEAI est élaborée grâce au regroupement de plusieurs DSM et MDM.

	Activités	Livrables et Exigences	Acteurs	Interactions entre acteurs
Activités				
Livrables et Exigences				
Acteurs				
Interactions entre acteurs				

Focus principalement sur 3 sous-matrices

Figure 18: Structure de la matrice ALEAI : Activités, Livrables & Exigences, Acteurs et Interaction entre acteurs

Cette matrice a été élaborée suite aux choix d'analyser les interactions entre activités, livrables & exigences et acteurs du projet :

- Les activités et les acteurs : Comment un acteur peut influencer la réalisation d'une activité ? Comment une activité peut influencer la capacité d'un acteur à la réaliser ?
- Les activités et les livrables : Comment une activité peut impacter la rédaction d'un livrable ? Comment un livrable peut impacter la réalisation d'une activité ?
- Les interactions entre acteurs et les acteurs : Comment une interaction entre acteurs peut impacter un acteur ? Exemple : les échanges entre les partenaires et le gouvernement du Pays hôte peut impacter l'entreprise TOTAL lors de sa prise de décision.
- ...

Pour cela, nous avons construit quatre matrices qui ont été élaboré selon la Design Structure Matrix (DSM) définie par (Steward, 1981) et qui sont utilisées dans plusieurs domaines industriels (Marle et Vidal, 2008) ; (Fang et al, 2010) ; (Browning, 2001) ; (Eppinger et Browning, 2012) ; (Danilovic et Browning) ; (Fu et al, 2012) :

- AcSM : Activities Structure Matrix : interactions entre les activités (dans chacune des cellules de la diagonale est indiquée la durée de chaque activités);
- DRSM : Deliverables & Requirements Structure Matrix : interactions entre les livrables & exigences ;
- ASM : Actors Structure Matrix : interactions entre les acteurs ;
- AISM : Actors Interactions Structure Matrix : interactions entre relations entre les acteurs. Pour construire cette matrice, nous utilisons les relations vulnérables entres acteurs identifiées dans la matrice ASM.

De plus, pour analyser les signaux faibles qui se « cachent » aux interactions entre ces matrices, nous avons décidé de relier l'ensemble de ces matrices en élaborant des matrices Multi-Domain Matrix (MDM). Celles-ci ont une structure proche de celle définie (Bartolomei et al. 2012) : Engineering Systems Multiple-Domain Matrix. Les matrices MDM sont de plus en plus utilisées dans le monde académique mais aussi industriel. (Eppinger, 2002), (Sosa et al, 2003), (Bonjour et al, 2010) emploient les MDM majoritairement sur le Design Projet en se focalisant sur : les Produits, les Processus et l'Organisation. Il est important de comprendre que malgré la prise en compte des trois composantes, les études à l'aide des MDM portent principalement sur la relation entre deux domaines (Danilovic and Browning, 2004) ; (Bonjour et al, 2013). (Bonjour et al, 2010) ont mis en valeur au sein de la littérature les objectifs principaux de l'utilisation des MDMs existantes, Figure 19 :

- Product architecture (1) ;
- Organization structure (2) ;

- Engineering change propagation (3) ;
- Architecture produits et structure organisationnelle (4) ;
- Modélisation de l'évolution des architectures produits (5) ;
- Modélisation de l'évolution structure organisationnelle (6) ;
- Co-évolution des architectures produits et structure organisationnelle (7).

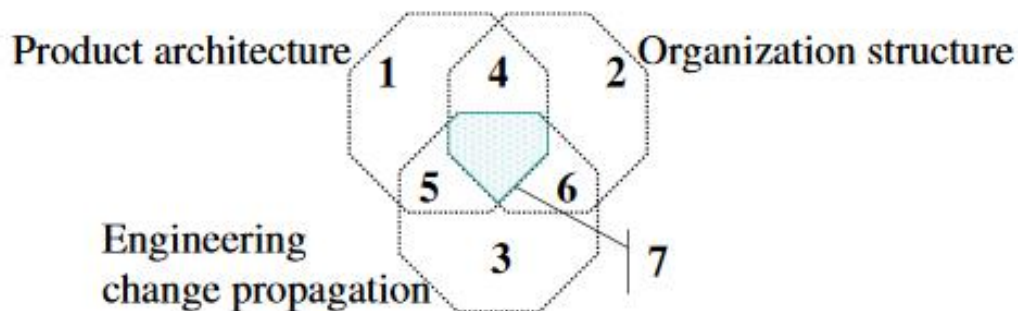


Figure 19: Littérature relative à la propagation des changements entre l'architecture du produit et l'organisation

Le tableau 7, montre les différences entre la matrice de (Bartolomei et al. 2012) qui est celle souvent prise pour référence et notre matrice ALEAI.

Tableau 7 : Différences entre la matrice Engineering Multiple-Domain Matrix et la matrice ALEAI :

	Engineering Multiple-Domain Matrix (Bartolomei et al. 2012)	Matrice ALEAI
System Drivers	OUI	NON
Stakeholders	OUI	OUI
Objectives (Requirements)	OUI	OUI
Functions	OUI	NON
Objects (Delivrables)	OUI	OUI
Activities	OUI	OUI
Actors (Stakeholders) Interactions	NON	OUI

Notre vision se positionne donc sur le management des projets complexes plutôt que sur le « Design/Conception » des équipements de tels projets. Nous cherchons principalement à identifier, analyser et traiter comment les acteurs peuvent impacter les activités du projet, qui celles-ci pourront impacter les nombreux livrables et exigences.

Exemple : lors de la prise de décision d'un acteur, comment cette décision peut être négative pour la réalisation d'une ou plusieurs activité(s) et enmener par la suite le projet vers l'instabilité ?

La matrice ALEAI existe en version binaire et en version pondérée. A l'intersection de la ligne i et de la colonne j, la matrice ALEAI en version binaire a un 1 lorsqu'il existe une influence potentielle de l'élément i sur l'élément j. En cette même position, la matrice ALEAI en version pondérée contient l'évaluation de la vulnérabilité de l'élément j par rapport aux risques de l'influence potentielle que l'élément i a sur l'élément j. Pour synthèse, la Figure 20 rappelle quelle vulnérabilité est évaluée en

case (i,j) de la matrice ALEAI en fonction des positionnements de i et de j. Elle indique également la signification des totaux en ligne et en colonne (le nombre d'éléments impactés ou impactants, pour la matrice binaire).

	Activités	Livrables et Exigences	Acteurs	Interactions entre acteurs	Total
Activités	A: Vulnérabilité d'une activité par rapport à une autre activité	E: Vulnérabilité d'un livrable ou d'une exigence par rapport à une activité	I: Vulnérabilité d'un acteur par rapport à une activité	M: Vulnérabilité d'une interaction entre acteurs par rapport à une activité	Nombre de fois qu'une activité influence un autre élément de la matrice
Livrables et Exigences	B: Vulnérabilité d'une activité par rapport à un livrable ou une exigence	F: Vulnérabilité d'un livrable ou d'une exigence par rapport à un autre livrable ou une autre exigence	J: Vulnérabilité d'un acteur par rapport à un livrable ou une exigence	N: Vulnérabilité d'une interaction entre acteurs par rapport à un livrable ou une exigence	Nombre de fois qu'un livrable ou une exigence influence un autre élément de la matrice
Acteurs	C: Vulnérabilité d'une activité par rapport à un acteur	G: Vulnérabilité d'un livrable ou d'une exigence par rapport à un acteur	K: Vulnérabilité d'un acteur par rapport à un autre acteur	O: Vulnérabilité d'une interaction entre acteurs par rapport à un acteur	Nombre de fois qu'un acteur influence un autre élément de la matrice
Interactions entre acteurs	D: Vulnérabilité d'une activité par rapport à une interaction entre acteurs	H: Vulnérabilité d'un livrable ou d'une exigence par rapport à une interaction entre acteurs	L: Vulnérabilité d'un acteur par rapport à une interaction entre acteurs	P: Vulnérabilité d'une interaction entre acteurs par rapport à une autre interaction entre acteurs	Nombre de fois qu'une interaction entre acteurs influence un autre élément de la matrice
Total	Nombre de fois qu'une activité est influencée par un autre élément de la matrice	Nombre de fois qu'un livrable ou une exigence est influencé(e) par un autre élément de la	Nombre de fois qu'un acteur est influencé par un autre élément de la matrice	Nombre de fois qu'une interaction entre acteurs est influencée par un autre élément de la	
	Nombre d'acteurs par activité				

Figure 20: Les différentes sommes pouvant être effectuées à l'aide de la matrice ALEAI

La matrice ALEAI permet de travailler sur les deux problématiques tout en analysant les propagations des éléments dans leur réseau (projet). L'état d'un projet, à savoir l'état de ses éléments et de leurs relations, est en constante évolution au fil du temps. Le comportement d'un projet complexe se caractérise par un comportement linéaire ou non voir chaotique mais aussi par des boucles de rétroaction et des phénomènes émergents. Afin d'étudier le comportement et la complexité du projet, nous proposons dans notre démarche d'étudier premièrement le positionnement de l'ensemble des éléments (activités : chapitre 4, acteurs : chapitre 5) liés aux contrats. Cela a pour objectif de mettre en avant les éléments qui impactent ou sont impactés par un maximum d'éléments dans le réseau ou les deux (Guimera and Amaral, 2004) ; (Fang, 2011). Deuxièmement, il s'agit d'étudier les interactions entre ces éléments (liens de causalités) afin d'analyser leur propagation dans le projet. Comme le montre la Figure 21, lors du déroulement d'un projet complexe, les scénarios surviennent rarement seuls et ont une forte tendance à se propager dans le réseau sur une même ou différentes temporalités (un scénario survenant en phase d'ingénierie peut déclencher un scénario en phase installation) et de différentes manières:

- Amplification : Action d'accroître la vulnérabilité d'au moins un élément ou d'une interaction ;
- Réaction linéaire - Chaîne - (Thompson, 1967) : Action d'engendrer la matérialisation de risques à la suite ;
- Effets multiples : Action d'engendrer la production de plusieurs risques ;
- Boucles de rétroactions (principalement positives) – (Donnadieu and al, 2003) : Action d'engendrer l'amplification d'un élément, une interaction, un scénario s'alimentant lui-même comme dans le cas d'un phénomène « *boule de neige* ».

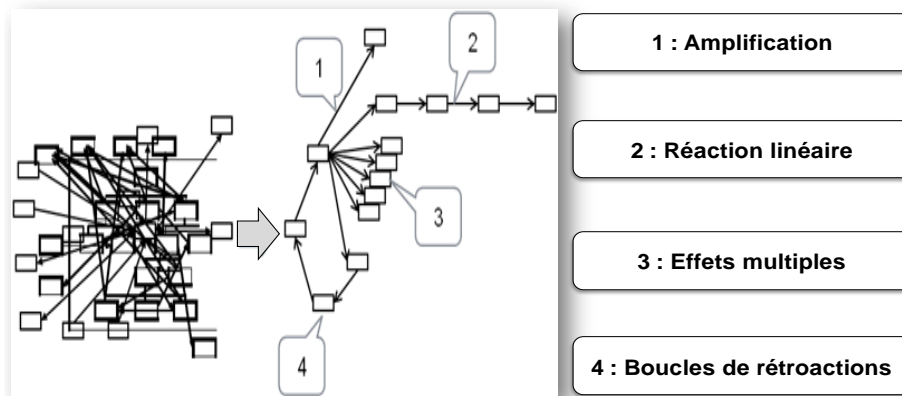


Figure 21: Les types de propagation

3.2.2. Comment minimiser les risques liés à la définition de la stratégie contractuelle ?

Les acteurs de la phase contractualisation réalisent différentes activités comme l'identification, l'analyse et la proposition de solutions contractuelles : sélection des types de contrats (en définissant leur périmètre technique, leur type de rémunération et leurs clauses, etc) et sélection des fournisseurs/entrepreneurs les plus adaptés pour chaque type de contrats.

Actuellement, les stratégies contractuelles sont élaborées avec des types de contrats (croisement entre un périmètre et une rémunération) qui sont anciens et classiques, et sont souvent choisis plus en fonction d'expériences passées qu'à l'aide d'un processus de sélection structuré. Il sera donc proposé dans le chapitre 4 d'aider les décideurs à élaborer les stratégies contractuelles en enrichissant d'une part la palette des types de contrats (avec des contrats plus flexibles et évolutifs), et d'autre part en aidant l'entreprise à savoir choisir le type de contrat le plus adapté à la situation.

Pour cela, deux méthodologies seront proposées : une première où le découpage de la stratégie contractuelle en plusieurs contrats ne sera pas encore effectué, ce qui permettra de définir plusieurs configurations de stratégies contractuelles qui seront les moins vulnérables. Une seconde où la stratégie contractuelle est définie (découpages en plusieurs contrats) qui aura pour objectif d'analyser les risques liés à cette définition.

Un processus commun aux différentes entités sera construit afin d'analyser la robustesse de chaque périmètre technique du projet (Phases plus workpackages) et de sélectionner le type de rémunération à employer par rapport à chaque cellule de ce périmètre. Pour cela, le processus s'appuie sur l'estimation de la vulnérabilité interne des cellules contractuelles et de la vulnérabilité des interactions (entrée et sortie). L'analyse des interactions internes et externes aux cellules et/ou aux contrats, est un moyen pour consolider la capacité du contrat à mieux se protéger des aléas connus et inconnus.

Ces différentes analyses de vulnérabilités permettent aussi d'étudier les éventuelles propagations de risques pouvant survenir dans le projet. Ceci permet principalement de mettre en avant les éventuelles boucles de rétroaction et les risques pouvant prendre naissance en phase de contractualisation et impacter la phase d'exécution, en particulier ceux qui entraineront des avenants (Change Orders).

Dans ce chapitre, nous proposons en plus de l'étude du type de contrat à employer, une nouvelle approche pour évaluer et sélectionner le fournisseur/entrepreneur qui remportera l'appel d'offre d'un des types de contrats défini. L'évaluation des « bidders » s'effectue en prenant en compte en plus des évaluations actuelles réalisées au sein de l'entreprise, les vulnérabilités qu'ont ceux-ci par rapport aux activités, aux livrables et exigences mais aussi aux interactions qu'ils auront avec d'autres acteurs du projet.

3.2.3. Comment minimiser les risques liés aux processus et pilotage des phases de contractualisation et d'exécution ?

Afin que les phases de contractualisation et d'exécution se déroulent avec le moins de difficultés, nous proposons la réalisation de plusieurs actions.

La première action a pour objectif d'aider à anticiper et maîtriser les risques liés aux interactions entre acteurs internes (Contrat Achat, Projet, Etudes et Développement...) mais aussi externes au projet (Contracteurs, Gouvernement Pays hôte, Communauté du Pays hôte, Partenaires...) qui peuvent se matérialiser sur plusieurs temporalités et niveaux hiérarchiques. Un grand nombre d'interactions restent encore mal ou non formalisées dû fait qu'un projet est constitué d'un nombre important de contrats et d'acteurs évoluant dans un environnement complexe. La proposition principale est donc de modéliser, analyser et traiter à différents niveaux de détail du contrat, les acteurs de l'organisation en réseau qui peuvent engendrer la mauvaise réalisation de certaines tâches et impacter le bon développement du projet.

Lors de la phase d'identification des interactions, nous déterminerons les acteurs sources et cibles et donc leur interaction. Considérant chaque interaction comme un échange d'informations entre deux acteurs, nous qualifierons pour chacune d'elles d'une manière générale : la nature de leurs informations, leurs flux d'informations ainsi que la capacité à les comprendre.

Pour traiter les risques liés à ces interactions multi-phases (phases du cycle de vie du projet), multi-domaines (produits constituant le projet), multi-hiérarchies (entité, division, projet...) et surtout multi-acteurs (interne ou externe à la stratégie contractuelle), une recommandation est de réunir des acteurs à des moments clés, essentiellement en amont, afin de converger le plus tôt possible sur des points engageant de multiples dimensions concernant la plate-forme pétrolière, à savoir son design, la façon dont elle va être construite et la façon dont vont pouvoir être signés des contrats appropriés. Pour cela, nous proposons de mettre en place un « management de la performance » pour permettre à l'organisation de se focaliser de manière équilibrée sur les tâches fonctionnelles et opérationnelles du projet, et non plus uniquement sur les tâches opérationnelles qui sont de la responsabilité des acteurs réalisant les opérations. La structure de ce groupe sera modulable afin d'être le plus adapté aux types de contrat sélectionnés et à la stratégie contractuelle choisie. Le clustering sera un outil pour regrouper des acteurs qui partagent des caractéristiques communes et des interactions fortes.

La seconde action consiste à suivre la maîtrise des aléas vulnérables mais aussi de suivre l'évolution des informations afin d'identifier rapidement les aléas pouvant devenir vulnérables. Afin de réaliser correctement ces activités, les acteurs s'appuieront sur différents outils selon leurs niveaux hiérarchiques. Chacun d'eux aura un niveau d'accès aux informations plus moins détaillées afin d'une part de faciliter le travail des acteurs mais aussi de créer des zones de confidentialité.

CHAPITRE 4

COMMENT MINIMISER LES RISQUES LIÉS À LA DEFINITION DE LA STRATÉGIE CONTRACTUELLE ?

Résumé

Le but de ce chapitre est de présenter une méthode d'analyse des risques focalisée sur la stratégie contractuelle d'un projet, afin de proposer aux décideurs les stratégies contractuelles qui seront les moins vulnérables pour les parties prenantes du projet. Cette méthode se focalise sur la prise en compte des interfaces contractuelles et organisationnelles, qui existent à l'intérieur de cette stratégie, notamment entre les différents contrats qui la composent et leur environnement.

Pour répondre à notre objectif, notre démarche consiste à analyser plus finement, sur différents niveaux, les risques liés à l'élaboration de chaque contrat, les risques liés à la relation contractuelle entre l'opérateur et l'entrepreneur et les risques liés aux interfaces entre entrepreneurs, ces interfaces étant directement déduites du choix de la stratégie contractuelle.

Tout d'abord, notre démarche suit une approche à la fois analytique et systémique. (De Rosnay, 1977) explique que l'approche analytique est une approche qui se focalise sur l'élément alors que l'approche systémique s'intéresse aux interactions entre les éléments. Ensuite, nous utilisons l'approche orientée vulnérabilité (générale et locale) qui est plus en adéquation avec le contexte de la thèse que les approches classiques purement gestion de risques au sens événementiel. Pour plus d'informations, Vidal et Marle (Vidal and Marle, 2012) proposent une comparaison entre le management des risques habituel (PRM) et par la vulnérabilité (PVM) par rapport à 4 étapes d'un processus de management : identification, analyse, plan d'intervention et surveillance et contrôle.

4. Comment minimiser les risques liés à la définition de la stratégie contractuelle ?

4.1. Contexte

Il y a des difficultés à estimer le risque d'acheter tel sous-projet ou équipement ou étude car cela dépend de plusieurs paramètres, comme par exemple le type de contrat, la délimitation des lots et bien sûr les fournisseurs/sous-traitants disponibles et la complexité de l'organisation et de l'implication des parties prenantes concernées. Cela relève d'une mesure globale du bénéfice(s)-risque(s) potentiel(s) de telle ou telle approche contrat/achat dans le cadre d'un projet de développement, et même au-delà puisque les décisions prises et le pilotage effectué peuvent impacter fortement le projet (en coût complet).

4.2. Modélisation des éléments et de leurs interactions en phase de contractualisation

En phase contractualisation, la stratégie contractuelle et les contrats ne sont pas encore définis. Il convient d'analyser et d'anticiper les risques et leurs conséquences, soit sur la signature des contrats soit sur leur exécution future, à 2 niveaux :

- Un niveau local, d'une cellule élémentaire (croisement d'un workpackage et d'une phase) ou d'un contrat qui est formé de l'assemblage de plusieurs cellules élémentaires.
- Le niveau dit global, qui s'intéresse au projet considéré comme un ensemble de contrats interdépendants. Cet assemblage devient la stratégie contractuelle lorsqu'en plus du découpage des contrats, chacun de ceux-ci voit l'ensemble de ses paramètres fixé.

Les paragraphes ci-dessous décrivent les matrices manipulées, respectivement : 1 au niveau global puis 3 au niveau local.

4.2.1. Au niveau global : la matrice SC (Stratégie Contractuelle)

La première matrice combine les objets techniques (workpackages) en ligne avec les phases projet en colonne. Elle s'appuie sur la matrice de la stratégie contractuelle déjà mise en place par TOTAL afin de définir et proposer une vision commune d'un cadre contractuel d'un projet. La stratégie contractuelle est définie par l'assemblage de plusieurs cellules contractuelles qui formeront plusieurs contrats (périmètre contractuel d'un contracteur). La matrice de la stratégie contractuelle que nous proposons Figure 22 se distingue par deux nouveautés :

- La première concerne sa structure. Au niveau de chaque cellule de la stratégie contractuelle, celles-ci se décomposent en trois « sous-cellules » : Input, Internal, Output.
- La seconde nouveauté concerne le fait que ces trois « sous-cellules » seront estimées :
 - Input (entrée): vulnérabilité de la cellule par rapport à ses données d'entrée ;
 - Internal (interne): vulnérabilité de la cellule face à ses risques internes ;
 - Output (sortie): vulnérabilité des activités, livrables et exigences en sortie de la cellule.

La première approche que nous proposons consiste à définir différentes stratégies contractuelles qui sont dépendantes de la sélection des contracteurs. Celles-ci sont définies par la quantification de leurs cellules contractuelles par le biais d'estimations directes réalisées par les acteurs du projet.

		Ph.1 Basic Engineering			Ph.2 Detail Engineering			Ph.3 Procurement			Ph.4 Fabrication / Tests			Ph.5 Transportation			Ph.6 Installation / Pré COM			Ph.7 Commissioning	
		Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal
FPSO	Riser Pull-in System	3	2	3	1	2	2	3	2	2	2	2	4	2	2	4	4	4	3	3	3
	Topsides	4	2	4	1	2	3	3	1	3	1	1	2	2	1	2	2	4	1	3	1
	Hull	1	1	4	2	2	3	3	4	4	1	2	3	1	4	2	4	4	3	2	1
	Mooring	1	1	1	1	1	3	3	2	2	3	1	3	3	4	2	1	1	2	3	3
	Tandem Offloading	1	2	1	2	2	2	3	2	1	2	4	2	1	2	2	1	1	2	1	2
OLS	OLS, OOL...	3	2	1	2	2	2	2	3	4	3	2	1	4	2	3	1	3	2	2	1
SSPS	PCM and HPU modules	2	2	4	4	4	3	2	1	3	4	1	1	1	2	3	3	1	1	2	3
	SSU Umbilicals	2	3	1	1	2	1	1	4	3	4	3	2	4	1	1	3	2	3	1	2
SURF	No SSU Umbilicals	4	2	1	2	2	4	2	2	1	2	3	1	1	3	2	2	4	3	2	4
	Riser Pull-in System	3	2	4	1	4	3	2	1	3	2	2	2	3	4	2	4	2	2	1	2

Figure 22: Exemple de la vulnérabilité d'une Stratégie Contractuelle selon le choix de certains fournisseurs

A un niveau plus fin, il va être possible d'étudier pour chaque cellule contractuelle un certain nombre de choses, présentées dans les 3 paragraphes suivants : leurs interactions, entre elles et avec d'autres éléments du projet (acteurs, livrables, exigences), les risques qui peuvent les affecter, et les interdépendances entre ces risques. Ces analyses peuvent se faire à un niveau élémentaire (1 cellule) ou au niveau d'un contrat (qui comprend 1 ou plusieurs cellules).

4.2.2. Au niveau local (1/3) : la matrice ALEAI (Activités, Livrables & Exigences, Acteurs et Interactions entre acteurs)

La seconde matrice a déjà été introduite dans le chapitre 3 car elle est un objet commun pour les chapitres 4 et 5. Elle se focalise sur les multiples interactions pouvant impacter le bon déroulement d'un projet. Elle reprend les cellules élémentaires de la matrice SC (n workpackages, p phases, donc n*p cellules) auxquelles s'ajoutent d'autres éléments (livrables, exigences, acteurs). Chaque cellule fait donc l'objet d'une étude d'interaction au sein de la matrice ALEAI, mais également d'une analyse de risques, via la matrice présentée juste après.

4.2.3. Au niveau local (2/3) : la matrice RCCSC (Risques et Contraintes des Cellules de la Stratégie Contractuelle)

La matrice RCCSC est élaborée afin d'estimer la vulnérabilité interne de chacune des activités contractuelles. Elle se situe au même niveau que la matrice ALEAI. Elle est structurée de la manière suivante (Figure 23):

- En ligne, les risques et contraintes pouvant impacter une cellule de la stratégie contractuelle sont identifiés;
- En colonne, les différentes cellules contractuelles constituant la phase exécution du projet (après la phase contractualisation) sont inscrites.

Risques & Contraintes	Basic Engineering				Detail Engineering				Procurement			
	Topsides	Hull	Mooring	...	Topsides	Hull	Mooring	...	Topsides (bulk et equipments)	Hull (bulk et equipments)	Mooring	...
Engineering												
R1	Erreur de dimensionnement - Design criteria (Consistency, Lack of data, Change in specifications)											
R2	Nombre de composants (à concevoir, construire, installer à contrôler) - Quantities Définition (Ratios, Basis for calculation, Scaling factors, interfaces...)											
R3	Absence de duplication / standardisation des matériels fabriqués											
R4	Mauvaise sélection des composants (étanchéité, flexibilité...) - Material selection (Corrosion, Erosion, Incompatibility)											
R5	Innovation, nouvelle technologie - Innovation (Technology maturity, Design lead time...)											
R6	Changes in scope (Late modifications, Re-design, Re-work, Compatibility, Maturité du design)											
R7	Caractéristiques forage / fluide / réservoir - Reservoir dynamics, Fluid characteristics...											
Fabrication & Construction												
R8	Fiabilité : Infrastructures & Matériels											
R9	Capacité de production & fabrication (Concurrences de ressources matérielles avec d'autres projets)											
R10	Disponibilité & Accès aux sites (Difficultés pour avoir accès aux installations existantes et en construction, Difficultés pour assurer l'accès au site)											
Installation												
R11	Site selection and preparation (Civil works, Earth movements, Foundations, Piling, Load capacity...)											
R12	Opérations simultanées - SIMOPS (Hot works permits, Shut down partiel, forage, POB capacity) et COMOPS (Commande operation)											
R13	Heavy lifting (Lifting means availability, Exceptional loads)											
R14	Vessels availability and capability (Special vessels, Surfers, ROV, Heave compensation...)											
R15	Navigation (Transport d'infrastructures, Collision, Remorquage, Piraterie...) - Transport & Logistics (Transportation infrastructures & Means, loading/Unloading, Waste Management, Storage, Exceptional loads, Towing)											
R16	Connectivity and Interfaces (Pipes, Cables, Transmission, Electrical, Hydraulics, Gaseous, Data...)											
Commissioning												
R17	Commissioning & Hand over (Equipment Contrôle and Test, Reworks, Start-up, Handover to operations)											

Figure 23: Illustration partielle de la matrice RCCSC : Risques et contraintes vs Cellules de la Stratégie Contractuelle

Afin de faciliter l'utilisation de cette matrice, une liste de risques et de contraintes a été définie (Annexe). Pour cela, nous nous sommes appuyés sur des retours d'expérience des projets de l'entreprise TOTAL mais aussi sur la littérature: (Chapman et Ward, 1996) ; (Cooper and al, 2005) ; (Arain et Low, 2006) ; (Petit, 2008) ; (Bernard et al, 2009) ; (Maders et Masselin, 2009). Pour garder des analyses simples d'utilisation et peu consommatrices de temps, nous nous sommes restreints à l'identification d'environ 60 critères (risques et contraintes confondus – Annexe 5). De plus, cette liste suit la loi de Pareto: 80% des risques et contraintes peuvent être utilisés dans d'autres projets et les 20% restant concerne les risques spécifiques à un projet et son contexte.

C'est donc un modèle qui comprend plusieurs dizaines de lignes et de colonnes mais n'a pas directement vocation à être manipulé tel quel. Il peut permettre de détecter la présence du même risque au sein de plusieurs cellules, ce qui pourrait traduire un phénomène de cause commune ou de vulnérabilité chronique qu'il faudrait traiter. A un niveau encore plus fin, il est possible pour une cellule (ou un contrat constitué de plusieurs cellules) d'étudier les interdépendances entre les risques, c'est l'objet du paragraphe suivant.

4.2.4. Au niveau local (3/3) : la matrice RSM (Risk Structure Matrix)

Afin d'analyser les risques liés à une ou plusieurs cellules contractuelles, nous proposons l'utilisation de la matrice RSM : Risk Structure Matrix, dont un exemple est donné Figure 24. Elle se situe au niveau inférieur aux matrices ALEAI et RCCSC et peut être réalisée pour une cellule ou un contrat. Elle est principalement utilisée suite au bon sens des acteurs, afin d'améliorer la compréhension des aléas qu'ils rencontrent tout au long du projet.

Elle est construite à l'aide des risques (et contraintes) définis dans la matrice RCCSC et sont inscrits au niveau des Lignes Ri et des colonnes Rj. Les risques Ri et Rj sont identiques, ce qui implique que la matrice RSM est carrée. Les interactions entre risques sont représentées par $RSM_{ij} = 1$ (autre = 0). (Marle et al, 2013) expliquent que la matrice RSM permet de mettre en avant les interactions entre les risques, de pouvoir réaliser la Risk Numerical Matrix (RNM) pour mieux quantifier les interactions entre risques et les risques eux-mêmes, et de pouvoir réaliser des clusters de risques selon leurs interdépendances.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
R1								
R2					1			1
R3				1		1		
R4		1						
R5	1							
R6			1					1
R7					1	1		
R8								

Figure 24: Exemple d'une matrice risques / risques : RSM

Une fois les modèles présentés, la section suivante montre les principes d'estimation et d'analyse des vulnérabilités aux différents niveaux.

4.3. Analyse des vulnérabilités

Après avoir analysé les risques, nous recherchons à mettre en valeur un maximum de signaux faibles, en évaluant la vulnérabilité d'une cible (exemple : une des cellules d'une stratégie contractuelle, une des activités d'une cellule, etc) mais aussi en analysant la dynamique du système projet. L'objectif est de comprendre :

- Quels seront les risques et comment évolueront-ils tout au long du projet ?
- Quels seront leurs modes de propagation ?

L'étude des signaux faibles a pour but de mettre en avant des éléments et/ou des interactions alors qu'ils étaient définis non dangereux pour le projet que ce soit d'une manière statique ou dynamique. Cette analyse permet d'avoir une hiérarchie des risques vulnérables plus précise par rapport à la criticité ce qui permet aussi d'améliorer la maîtrise des risques.

4.3.1. Définition et identification de vulnérabilité

Afin de sélectionner la stratégie contractuelle la moins vulnérable par rapport aux acteurs et à l'environnement du projet (matrice RCCSC) tout en répondant à l'ensemble des finalités, nous utilisons l'analyse de la vulnérabilité sur les activités liées à la phase d'exécution.

La méthode de vulnérabilité permet d'étudier la flexibilité des cibles et donc du projet (capacité à résister, à être résilient et à s'adapter aux aléas). Le concept de vulnérabilité dans la littérature est utilisé dans plusieurs domaines : santé, environnement et climatologie (Adger, 2006), socio-économique (Allison et al, 2009)... et apparaît donc comme un concept novateur et prometteur pour la gestion efficace des risques projets, notamment dans le cadre de la gestion du projet (Vidal, 2009), et en particulier pour tenir compte des nombreuses interactions entre éléments (Marle and al, 2013), (Chung and Crawford, 2016), (Yang and al, 2016).

Cette multitude d'utilisations engendre plusieurs significations de ce terme :

- Projet : « L'exposition aux risques et le stress, et la difficulté à faire face à eux. La vulnérabilité a donc deux faces: un côté externe des risques, les chocs et le stress auquel un individu est soumis; et un côté interne qui est sans défense, ce qui signifie un manque de moyens pour faire face sans perte dommageable » (Chambers, 1983) ;
- Santé : « la vulnérabilité fait référence à la probabilité de connaître une mauvaise santé et est déterminée par une convergence des prédisposant, ce qui permet, et ont besoin de caractéristiques à la fois au niveau individuel et écologiques » (Shi, 2001) ;

- Environnement : « La mesure d'une personne ou l'exposition d'un groupe aux effets d'un danger naturel, y compris la mesure dans laquelle ils peuvent se remettre de l'impact de cet événement » (Blaikie and al, 1994). Cette définition mais en avant les aspects : résistance et résilience.
- Vulnérabilité projet : «est la caractéristique d'un projet qui le rend susceptible d'être exposé à des événements dangereux, et si ceux-ci se passent, d'être dans l'incapacité d'y répondre, ce qui peut engendrer au final une dégradation des performances du projet» (Vidal, 2009) ;

La vulnérabilité permet de prendre en compte en plus de la dangerosité de la source, la résistance et la résilience de la cible impactée (estimation d'un impact). (Thomas, 2008) explique que « La vulnérabilité décroît avec la résilience, c'est-à-dire la capacité à réagir et à faire face à un événement imprévu et croîtrait avec la gravité de l'impact ». (Vidal, 2009) explique que la vulnérabilité permet d'avoir un processus d'analyse de risques (identification et analyse) plus tangible pour les membres de l'équipe projet, au lieu de travailler sur les événements potentiels. Cette prise en compte implique qu'une cible peut être peu vulnérable bien que l'événement dangereux auquel elle peut être exposée (source) puisse être critique, du fait que la cible a une résistance et/ou résilience permettant d'absorber la criticité de cette source.

Résistance : représente la capacité d'un système à absorber de lui-même des modifications drastiques de son environnement. Il s'agit donc de la capacité d'un système à répondre de lui-même à certaines perturbations (Schwind et al, 2016).

Résilience : représente la capacité d'un élément à anticiper, résister tout en s'adaptant et de se rétablir en retrouvant le plus possible l'état fonctionnel acceptable que celui-ci avait avant perturbation ou dysfonctionnement (Madni, 2007) ; (Haines, 2009).

Afin de comprendre le terme de vulnérabilité au sein de nos analyses, nous le définissons de la manière suivante :

Vulnérabilité : la capacité d'une cible à résister et à être résiliente face à la dangerosité d'au moins une source.

Il faut ensuite estimer la vulnérabilité, c'est l'objet du paragraphe suivant. Deux approches peuvent être utilisées : soit une approche descendante, en estimant au niveau le plus haut et en déclinant ces estimations sur les éléments de plus en plus fins, soit une approche ascendante, en estimant d'abord au niveau élémentaire puis en faisant des opérations d'agrégation. Ceci sera décrit dans les paragraphes ultérieurs.

4.3.2. Méthode d'estimation et échelles de vulnérabilités

Afin de pouvoir estimer la vulnérabilité d'une cible, nous proposons d'utiliser les échelles suivantes (Figure 25). Ces échelles ont été définies et validées par les encadrants de TOTAL suite à la réalisation d'un cas test. Lors de son utilisation, nous conseillons de prendre en compte plusieurs critères :

- Criticité d'une source (Gravité et Occurrence);
- Maîtrise de la cible (pour cela, nous conseillons d'estimer intuitivement la maîtrise de la cible en prenant en compte les trois critères suivants);
- Capacité propre de la cible à se défendre;
- Ressources (humaines, financières, délais, technologiques...) disponibles;
- Performance du management.

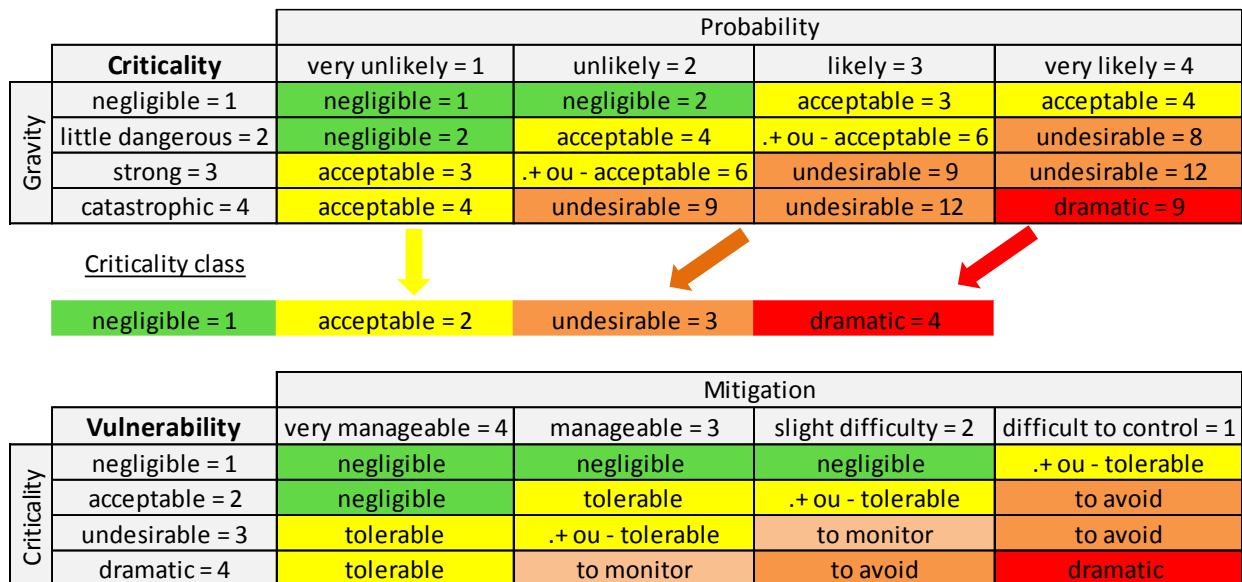
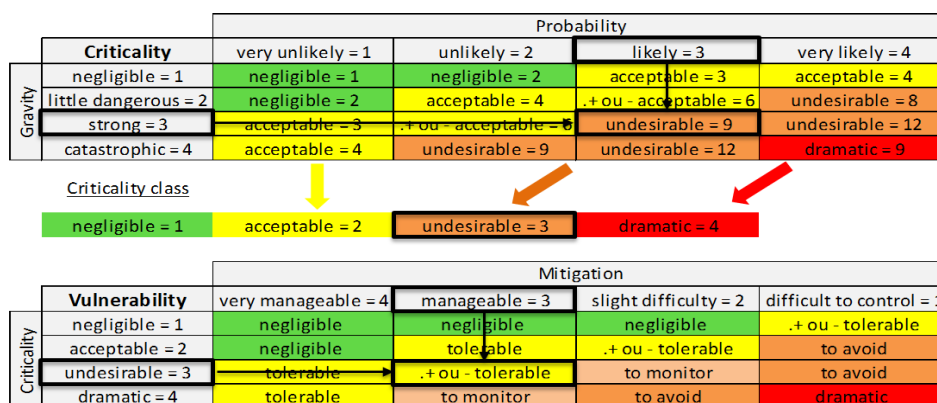


Figure 25: Echelles pour estimer la vulnérabilité d'une cible

Lors de l'utilisation de cette échelle, nous nous sommes interrogés sur la nécessité de quantifier l'ensemble de la colonne « Très maitrisable = 4 » du fait que le risque étant très maitrisé, il ne devrait plus impacter le projet.

Afin de rendre notre proposition (échelle de vulnérabilité) compréhensible, nous la développons par les exemples suivants :

- Estimation de la vulnérabilité d'une cible par rapport à une source unique



Exemple : Fabrication Topside (Source) => Installation / Intégration Topside (cible)

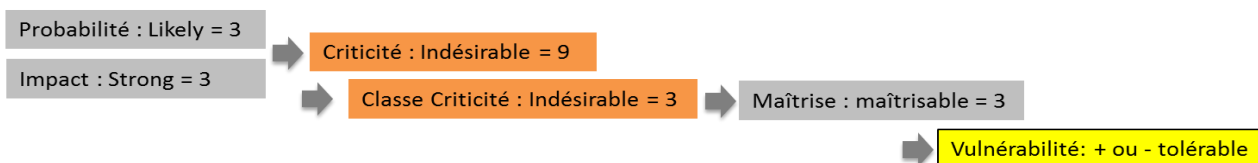


Figure 26 : Exemple d'utilisation de es echelles pour estimer la vulnérabilité d'un événement

- Vulnérabilité d'une cible par rapport à plusieurs sources : consiste à estimer les différentes vulnérabilités de l'activité B qui représente elle-même une cellule contractuelle de la stratégie contractuelle, respectivement en entrée (Figure 27), interne (Figure 28) et en sortie (Figure 29).

	Activité B	Occurrence	Gravité	Criticité	Criticité transposée	Maitrise
Activité A	0,67	2	3	6	2	3
Activité E	1	1	4	4	2	2
Activité J	4	4	4	16	4	1
Livrable B	0,67	3	2	6	2	3
Livrable C	0,5	4	1	4	2	4
Exigence A	1,5	3	3	9	3	2

Vulnérabilité Input : Activité B (moyenne simple)	1,39
---	------

Vulnérabilité Input de la cible activité B = $(0.67+1+4+0.67+0.5+1.5) / 6 = 1.39$

Figure 27: Vulnérabilité de l'activité B: Entrée

	Activité B	Occurrence	Gravité	Criticité	Criticité transposée	Maitrise
Risque A	1	4	3	12	3	3
Risque E	0,5	3	1	3	2	4
Risque J	0,67	2	2	4	2	3
Risque B	0,67	1	2	2	2	3
Risque C	1,5	3	3	9	3	2
Risque A	3	4	3	12	3	1

Vulnérabilité Internal : Activité B (moyenne simple)	1,22
--	------

Figure 28 : Vulnérabilité de l'activité B: Interne

	Activité C	Activité L	Livrable D	Exigence E	Exigence F
Activité B	0,67	1	1	0,67	0,67

Occurrence	2	3	2	2	3
Gravité	3	3	4	2	1
Criticité	6	9	8	4	3
Criticité transposée	2	3	3	2	2
Maitrise	3	3	3	3	3

Vulnérabilité Output: Activité B (moyenne)	0,8
--	-----

Figure 29: Vulnérabilité de l'activité B : Sortie

4.3.3. Descriptions des deux approches : descendante ou ascendante

4.3.3.1. Approche descendante : du niveau global au niveau local

La première approche consiste à analyser les données dites générales, puis selon le niveau de vulnérabilité de certaines d'entre elles, d'approfondir leur analyse à un niveau de détail plus fin. Cette méthode a l'avantage de ne pas être consommatrice de temps et d'être simple à utiliser. Néanmoins, elle a l'inconvénient de ne pas assez filtrer les signaux faibles.

Signal faible : peut être représenté comme étant possiblement un annonceur de risques ou d'opportunités. Il passe facilement inaperçu, il est furtif et fugace du fait que celui-ci est souvent : fragmenter, ambiguë, non attendu, insaisissable, non familier, très peu répétitif et noyé dans une multitude d'information et/ou d'éléments (Lesca et Lesca, 2011).

La première approche se focalise sur un niveau systémique général. On analyse dans un premier temps le niveau le plus général puis lors d'estimation de cellules vulnérables, nous descendons dans un niveau de détail plus fin :

- Estimation directe de la vulnérabilité de chacune des cellules et des interactions entre cellules: utilisation de la matrice de la stratégie contractuelle ;
- Estimation des différents éléments (activités et acteurs) et interactions à un niveau de détail plus fin pour chacune des cellules où la première estimation est difficile ou estimée vulnérable: utilisation des matrices ALEAI (Activités/Activités, Acteurs/Activités et Acteurs/Acteurs) et RCCSC ;
- Estimation des différents éléments (livrables et exigences et interaction entre acteurs), interactions entre éléments et entre les risques à un niveau de détail plus fin pour chacune des cellules : utilisation des matrices ALEAI (restes des sous-matrices) et RR.

4.3.3.2. Approche ascendante : du niveau local au niveau global

La seconde approche peut être définie comme l'inverse de la première approche. Elle a pour but de partir du niveau de détail le plus fin des analyses pour pouvoir filtrer un maximum de signaux faibles et d'agréger les résultats au niveau supérieur (stratégie contractuelle). Elle permet d'avoir des résultats plus précis et donc d'être une aide efficace pour la prise de décision. Cependant, elle est consommatrice de temps et son emploi est plus compliqué que la première approche.

Comme vu dans les exemples du paragraphe précédent, la méthode d'agrégation souvent utilisée est celle du calcul de la moyenne sans pondérations des critères (moyenne simple). La question que nous nous sommes posée entre TOTAL et CentraleSupélec est le fait de savoir si cette méthode est suffisante ou non. (Gautier, 2005) stipule que certaines personnes pensent qu'il faut réaliser un processus multicritère pour faire un choix qui reste toujours insatisfaisant pour fournir un choix clair. (Ennaouri, 2010) stipule que l'approche du critère unique de synthèse (rejetant toute incomparabilité) – Agrégation : « consiste à agréger les différents points de vue en une fonction unique qu'il s'agit ensuite d'optimiser. Cette approche suppose que les critères soient commensurables et transitifs ».

Dans la littérature, plusieurs méthodes d'agrégation existent (Maystre et al, 1994) ; (Guitouni et Martel, 1998) ; (Clivillé, 2004) ; (Ennaouri, 2010) :

- Choix de la valeur maximale afin de se pénaliser ;
- Calcul de la moyenne sans ou avec pondération des critères ;
- Méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) (M4.3) : « Conversion des évaluations subjectives de l'importance relative dans un ensemble de poids. Cette technique applique la décomposition, les jugements comparatifs sur les éléments comparatifs et des mesures d'importance relative par des matrices de comparaison par paires qui sont combiné dans une évaluation globale d'alternatives » (Guitouni et Martel, 1998) ;
- MAUT (Multi Attribute Utility Theory) : « l'agrégation des valeurs est obtenue en évaluant les utilités des fonctions partielles sur chaque critère pour établir une fonction globale d'utilité V. Dans certaines conditions, par exemple V peut être obtenu de manière additive, multiplicative ou mixte » (Guitouni et Martel, 1998) ;
- TOPSIS (Technique for Order by Similarity to Ideal Solution) : « l'alternative choisie doit avoir le profil le plus proche (distance) à la solution idéale et le plus éloigné de la solution négative idéale » (Guitouni et Martel, 1998) ;
- SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique) : « Une façon simple de mettre en œuvre la théorie de l'utilité des attributs multiples en utilisant les moyennes linéaires pondérées, qui donnent une approximation très proche des fonctions d'utilité » (Guitouni et Martel, 1998).
- ...

(Guitouni et Martel, 1998) remarquent que la plupart des utilisateurs des méthodes multicritères sont incapables de justifier leur choix concernant l'utilisation d'une méthode multicritère et que celui-ci est souvent réalisé par familiarité ou affinité avec une méthode donnée. Le choix concernant la sélection d'une méthode multicritère et d'autant plus compliquée du fait qu'il existe une multitude de méthodes d'agrégations. Cela proviendrait du fait que les méthodes ne répondent pas à la totalité des exigences qu'un acteur pourrait trouver normales dans l'idée de l'approche multicritères (Schärlig, 1985).

Avec l'ensemble de ces méthodes, il est donc primordial de bien comprendre dans quel contexte nos études se situent afin de bien sélectionner la méthode la plus appropriée. Pour cela, il est conseillé de se poser plusieurs questions :

- Combien de critères avons-nous à évaluer ?
- Doit-on regrouper l'ensemble des critères en une fonction, en leur attribuant d'éventuels poids (agrégation complète) ? (Roy, 1985) appelle cette fonction : fonction d'utilité ou d'agrégation.
- Les écarts de valeurs entre les poids attribués doivent-ils être importants ?
- Doit-on favoriser l'intransitivité et l'incomparabilité face à la pertinence des résultats (agrégation partielle) ? Cette méthode a pour objectif de comparer les critères deux à deux afin de définir laquelle surpasse l'autre et d'en définir une synthèse.
- Doit-on utiliser la méthode de surclassement ?

Afin de bien sélectionner la méthode multicritère, plusieurs processus sont définis comme ceux de (Guitouni, et Martel, 1998) et (Roy and Slowiński, 2013). Depuis la littérature et différents interviews réalisées nous proposons un tableau synthétisant d'une manière générale les différences entre les méthodes explicitées ci-dessus.

Tableau 8 : Avantages et inconvénients des méthodes d'agrégation principalement utilisées

	Avantages	Inconvénients
Somme ou Moyenne	Méthode la plus utilisée quand les poids des critères ne sont pas connus ; Simple d'utilisation ; Obtention des résultats rapides.	Tous les critères ont le même poids. Il n'y a pas de différenciation ; Interrogations sur la pertinence des résultats : Intransitivité et incomparabilité.
Somme ou Moyenne pondérée (agrégation complète)	Méthode la plus utilisée quand les poids des critères sont connus ; Différenciation des critères ; Simple d'utilisation ; Obtention des résultats rapides.	Elle présente comme défauts, graves ou non selon la situation, une compensation possible entre critères (notes) et une forte sensibilité aux changements d'échelle (Mena, 2000) ; Nécessite l'avis de plusieurs personnes afin de bien pondérer les poids ;

<p>AHP (agrégation partielle)</p>	<p>(Santana, 1996) stipule que la méthode AHP est plus robuste que les méthodes ELECTRE et TOPSIS ; (Vidal, 2009) explique qu'elle permet d'intégrer les aspects quantitatifs et qualitatifs de la prise de décision, ce qui en fait une méthode efficace et efficiente dans des contextes complexes. (Ennaouri, 2010) définit plusieurs avantages : Interdépendance des critères, méthode plus simple et plus robuste que la méthode MAUT, bonne transparence de la méthode, la seule méthode permettant de vérifier la cohérence des relations d'importance entre critères, méthode simple, possibilité d'ajouter ou d'éliminer des critères, les critères peuvent avoir des importances variables, le nombre de critères et sous-critères n'est pas limité.</p>	<p>Nécessite l'avis de plusieurs personnes afin de bien pondérer les poids ; Méthode consommatrice de temps ; (Ennaouri, 2010) définit plusieurs inconvénients : le nombre des comparaisons augmente plus rapidement que le nombre des critères, le choix d'échelle de 1 à 9 n'est pas justifié mathématiquement</p>
<p>MAUT (agrégation partielle)</p>	<p>(Ennaouri, 2010): bonne transparence de la méthode ; (Munier et Taverdet-Popiolek, 1999) meilleure prise en compte des incertitudes,</p>	<p>(Ennaouri, 2010) non interdépendance des critères ; (Munier et Taverdet-Popiolek, 1999) « une des difficultés de l'application de cette théorie est l'évaluation des fonctions d'utilité partielle du décideur » ; (Munier et Taverdet-Popiolek, 1999) stipulent que la méthode « considère que les variables unidimensionnelles. Or, il peut arriver que la modélisation des conséquences des stratégies sur certains axes aboutisse à des variables vectorielles » ; (Munier et Taverdet-Popiolek, 1999) stipulent « Utiliser MAUT fréquemment implique de disposer d'un logiciel convivial aidant l'opérateur à définir les fonctions d'utilité pour chaque nouvelle décision » ;</p>
<p>TOPSIS (agrégation partielle)</p>	<p>(Salomon et Montevechi, 2001) stipulent que c'est une méthode qui comporte les intérêts suivants : simple d'utilisation et l'approche se base sur des hypothèses : la pire et la meilleure situation ; (Santana, 1996) stipule que la méthode TOPSIS est plus simple à utiliser que les méthodes ELECTRE et TOPSIS ;</p>	<p>(Zanakis et al, 1998) a mis en avant le fait que les résultats trouvés à l'aide des méthodes TOPSIS et ELECTRE peuvent présenter une divergence significative ce qui entraîne des difficultés à sélectionner une méthode => Pertinence des résultats</p>

Au sein des analyses que nous proposons, nous devons réaliser plusieurs agrégations concernant les différents calculs de vulnérabilité. Afin d’avoir un rapport performance et complexité des résultats à utiliser, nous proposons trois méthodes :

- Moyenne simple : beaucoup de critères à agréger et ayant des pondérations similaires ;
- Moyenne pondérée : nombre assez important de critères et ayant des pondérations assez voir très éloignées ;
- Méthode AHP : lorsque les résultats importants et doivent être assez précis tout en ne ayant des difficultés pour définir les pondérations des critères.

La différence d’utiliser la moyenne pondérée ou la méthode AHP provient majoritairement de la capacité à pouvoir pondérer les différents critères.

Une fois que les analyses permettent de mettre en lumière des phénomènes risqués individuellement ou risqués de par les propagations qui peuvent se produire, il convient de prendre un certain nombre de décisions. C’est l’objet de la section suivante.

4.4. Aide à la sélection de stratégies contractuelles en fonction de leurs vulnérabilités

Cette section pose un certain nombre de questions tant au niveau global du découpage projet qu’au niveau local du paramétrage de chaque contrat. Des aides, des recommandations ou des processus de décision sont proposés, basés sur les modélisations et analyses précédentes.

4.4.1. Au niveau global : définition de la stratégie contractuelle comme un ensemble de contrats interdépendants

Afin d’améliorer l’approche sélective concernant la stratégie contractuelle, est-il préférable de suivre un schéma traditionnel ou au contraire faut-il étudier des alternatives prometteuses mais jamais expérimentées ? Pour cette activité, nous nous sommes posés différentes questions conjointement entre les acteurs de la Chaire TOTAL & CentraleSupélec mais aussi en faisant des recherches bibliographies sur le sujet du découpage de la stratégie contractuelle

Afin de comprendre l’implication et le positionnement de ces questions sur une stratégie contractuelle, nous avons synthétisé l’ensemble des précédentes questions et exemples sur une figure avec un exemple illustratif fictif (Figure 30).

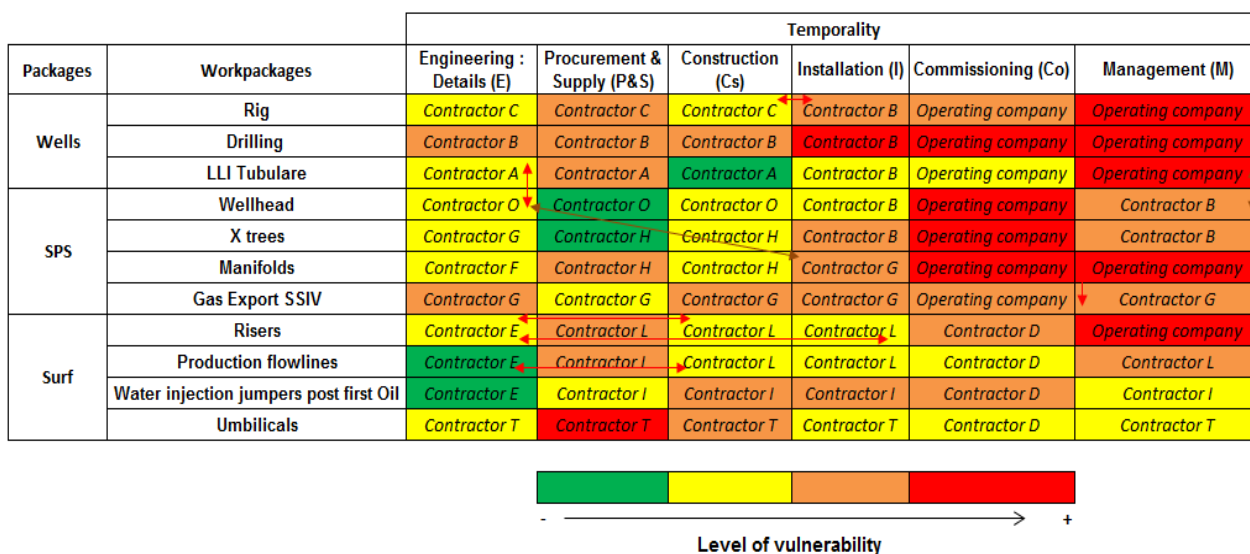


Figure 30: Exemple aléatoire de stratégie contractuelle élaborée actuellement par l’entreprise TOTAL

Les grandes questions sont les suivantes:

- Quand un contracteur est défini par rapport aux cellules de la stratégie contractuelle, est-il préférable de créer un « gros » contrat qui permet de réduire les coûts (« prix de gros ») et d'avoir un même contracteur qui gère un maximum de risque, ou de déléguer certaines de ces cellules les moins vulnérables à d'autres contracteur même si le niveau de vulnérabilité de la cellule peuvent augmenter? Le fait de créer un « gros » contrat peut-il engendrer le fait que le contracteur devienne trop important pour le projet et que l'entreprise perde du pouvoir de négociation et décisionnel tout au long du projet ?
 - Exemple avec le contracteur B qui peut couvrir plusieurs workpackages dans la phase Installation. La question se pose de donner pour chaque workpackage l'intégralité du processus (de la ligne) ou de donner à un seul contracteur 1 workpackage + l'installation de plusieurs workpackages, ou de répartir les contrats d'installation des workpackages.
- Doit-on favoriser la création des contrats uniques (représenté par une seule cellule) afin de favoriser l'émergence de plus petits contracteurs comme les entrepreneurs ou fournisseurs locaux ?
 - Exemple : Contracteur F pour l'Engineering des Manifolds en Figure 30.
- Est-il nécessaire de mettre en avant la vulnérabilité des interfaces entre cellules contractuelles ? Est-il préférable de regrouper les interfaces dangereuses au sein d'un même contrat ou de les laisser à l'interaction entre deux contrats pour qu'elles soient gérées par l'entreprise opératrice ?
 - Exemple avec les contracteurs E, L, I pour les workpackages Risers et Production Flowlines de la Figure 30.
- Prioriser quel contracteur, si plusieurs contracteurs ont des vulnérabilités identiques par rapport à un contrat mais différentes sur des les cellules contractuelles (activités) ?
 - Exemple avec le contracteur T pour le workpackage Umbilicals. Un autre contracteur présentait moins de risque dans la phase Procurement, mais beaucoup plus dans la phase Installation. Le contracteur T a été choisi par le fait que la phase Procurement & Supply est estimée moins critique que la phase Installation.
- Doit-on absolument définir un contracteur pour chaque cellule (hors phase Commissioning et Management) ?
 - Exemple : L'entreprise opératrice du projet ne peut elle pas se charger de la cellule « Umbilicals Procurement and Supply » ?
- Est-il nécessaire de réaliser majoritairement des EPSCoICs (« contrat clé en main ») ou peut-on diviser ce contrat en au moins deux contrats comme par exemple ECoI et PSCs ?

Les estimations de la Figure 30 représentent le niveau de vulnérabilité d'une cellule contractuelle par rapport : à l'acteur qui est en charge de sa réalisation, à ses interactions avec les autres cellules mais aussi de son type de rémunération (prise en compte au niveau supérieur, celui du contrat).

4.4.2. Au niveau local d'une cellule contractuelle (activités) / d'un contrat

Comme nous l'illustre la Figure 30, lors de l'élaboration de la stratégie contractuelle, chacune des cellules contractuelles sont estimées afin d'indiquer leur niveau de vulnérabilité. Pour réaliser cette estimation les décideurs les estiment soit directement soit suite à plusieurs critères spécifiques liés directement à la cellule, à partir notamment de la matrice RCCSC, comme l'illustre le Tableau 9.

Tableau 9 : Exemple de critères spécifiques et généraux liés à l'analyse locale

Spécifiques	Ingénierie	Ex : Erreur de dimensionnement - <i>Design criteria (Consistency, Lack of data, Change in specifications)</i>
	Fabrication	Ex : Capacité de production & fabrication (Concurrences de ressources matérielles avec d'autres projets)
	...	
Généraux	Organisation	Ex : Difficultés à mobiliser des ressources (Concurrence des ressources entre projets, turnover des salariés, opérations simultanées) - <i>Mobilisation/Démobilisation</i>
	Pays hôte	Ex : <i>Local Government (Political stability, corruption, politicians influence, conflicts of interest? Guerre & Terrorisme)</i>
	...	

L'analyse locale peut être aussi réalisée de manière plus systémique en se focalisant sur des contrats qui sont constitués d'au moins une cellule contractuelle. Lors de ces analyses, il est important de se concentrer uniquement sur ce qui impacte en interne la mauvaise réalisation d'une cellule contractuelle ou d'un contrat.

4.4.3. Au niveau local et global : sélection des contracteurs

Afin d'améliorer la sélection des contracteurs, celle-ci s'effectue selon une méthode d'aide à la décision qui préconise de sélectionner les contracteurs par rapport à la vulnérabilité de chaque cellule mais aussi aux vulnérabilités de leurs relations. Bien que deux cellules soient estimées non vulnérables avec un contracteur sélectionné pour chacune d'elles, celles-ci peuvent vite évoluer vers le chaos suite à la non prise en compte d'une relation dangereuse. Prenons l'exemple d'une entreprise qui estime que pour l'ingénierie réalisée par le contracteur A et la fabrication réalisée par le contracteur B, ces activités sont toutes les deux peu vulnérables. Néanmoins, elle n'a pas pris en compte le fait que les deux contracteurs ne parlent pas la même langue ni même une langue commune (anglais non suffisamment maîtrisé), ce qui a engendré de grandes difficultés et un retard important afin de traduire l'ensemble des livrables à échanger.

Afin de sélectionner les meilleurs contracteurs par rapport à un périmètre contractuel, nous proposons une méthode qui s'appuie sur les analyses réalisées en interne au sein de l'entreprise TOTAL mais aussi suite à l'utilisation des matrices ALEAI (vulnérabilité en entrée et sortie) et RCCSC (vulnérabilité interne).

4.4.4. Au niveau local : sélection du type de rémunération

La décision de sélectionner la rémunération la plus appropriée au contexte d'un contrat est l'une des plus importantes mais aussi complexes dans le cycle de vie du projet. Elle est basée principalement sur les expériences et les compétences des décideurs. (Howard and al, 1997) ; (Bajari and al, 2001) ;

(Turner and Simister, 2001) ; (Cooper and al, 2005) ; (Larson and Gray, 2007) ; (Antonioua and al, 2013) étudient les avantages et inconvénients des rémunérations utilisées lors de l'élaboration de contrats: cost plus fixed fee, cost plus percentage fee, cost plus incentive fee, incentive / disincentive for time reduction, Fixed price incentive, Lump sum / fixed price, unit price method, open book.

Afin d'améliorer la sélection de la rémunération à utiliser par rapport au périmètre d'un contrat, nous proposons de ne pas chercher à définir systématiquement une rémunération unique pour un contrat, mais éventuellement une rémunération adaptée pour chaque cellule constituant le contrat (plusieurs rémunérations pour un contrat). Pour cela, plusieurs préférences sont possibles, mais principalement deux sont couramment utilisées par l'entreprise TOTAL. Le « Lump sum » est approprié quand il est difficile d'estimer les coûts et le périmètre du contrat du fait des incertitudes (Antonioua and al, 2013) ; (Turner and Simister, 2001). Le Cost plus est plus simple à mettre en œuvre que le « Lump sum » et permet d'inciter l'entrepreneur à être plus performant (Howard and al, 1997). Nous pensons que le fait qu'une seule rémunération ne soit plus assignée à un contrat, pourrait permettre de favoriser : la performance de l'entrepreneur, le travail en collaboration entre les parties contractantes et donc de limiter les risques. Ce point est une des perspectives d'études à approfondir au niveau d'une seconde thèse réalisée au sein de la Chaire TOTAL & CentraleSupélec.

4.4.5. Au niveau local et global : amélioration des « exhibits » des contrats

Lors de l'élaboration d'un contrat entre l'entreprise TOTAL et un contracteur, un partenaire ou avec la société pétrolière locale, ceux-ci sont constitués majoritairement en deux parties :

- Agreement (Accords): cette partie est constituée de plusieurs sous-parties : définitions et objectifs du contrat, conditions financières, le partage des responsabilités et les différentes assurances...
- Exhibits (Supplément): cette seconde partie est constituée des documents contractuels comme le cahier des charges, calendrier de paiement et des travaux à réaliser, conditions de performance des travaux à réaliser, listes des sous-traitants et fournisseurs...

(Rouvière, 2010) stipule que certaines des mentions de la partie « Exhibit » sont parfois reconnues comme purement informatives et non comme normatives. Grâce aux analyses de risques précédentes nous proposons d'améliorer les « Exhibit » des contrats en y intégrant les interactions et éléments vulnérables, les signaux faibles définis pour que les parties prenantes puissent avoir une vision commune du projet (à l'aide des modélisations). Des recommandations sur l'élaboration des contrats (périmètre, type de rémunérations, éléments et interactions les plus dangereux pour le projet), sur le management d'un contrat mais aussi des contrats entre eux seront proposés. Nous souhaitons mettre en avant « l'incourtournable dimension managériale du contrat » comme le cite Chantepie (Chantepie, 2010).

En utilisant les différentes analyses que nous proposons, cela aura aussi pour objectif d'améliorer le contrat en prenant en compte l'aspect collaboratif des acteurs liés aux contrats et de donc prendre ne compte la remarque de (Turner and Simister, 2001) qui stipulent qu'un des problèmes majeurs qui impacte la gestion des contrats est de savoir comment transformer un système de conflit en un système coopératif.

4.5. Application à un cas test industriel : le package FPSO du projet Pazflor

L'approche a été appliquée post-mortem à un grand projet offshore. Les données ont été rendues anonymes. La zone d'exploration comprend 4 réservoirs sous-marins situés à environ 40 km de la côte d'un pays d'Afrique occidentale, à 200 km de la base terrestre et entre 600 m et 1200 m de profondeur d'eau. La date de livraison du projet était de 44 mois, pour un niveau d'environ 200 000 barils de pétrole par jour et un budget de plusieurs milliards de dollars de production. Le FPSO (Floating Production, Storage and Offloading) était le plus grand du monde, avec un réseau sous-marin complexe sur un 600 km carrés. Une innovation a été introduite permettant la séparation du gaz sur les fonds marins et le pompage des liquides jusqu'à FPSO. Cette technologie innovante est indispensable pour surmonter le principal défi du projet: la production du pétrole lourd, visqueux à partir des réservoirs du Miocène, qui représente les deux tiers des réserves. Un grand nombre de nouvelles technologies ont fait leurs preuves et qualifié grâce à ce projet et sont maintenant à la disposition de l'industrie pétrolière dans le monde entier.

4.5.1. Modélisation

Afin de montrer l'utilisation et la valeur ajoutée de nos propositions, nous avons décidé de réaliser un cas test projet : PAZFLOR et plus particulièrement sur un package (constituant une partie de la stratégie contractuelle) et ses interactions avec les autres packages et leur environnement : package FPSO.

En montrant les différences que l'on peut avoir entre les résultats qu'avait l'entreprise TOTAL lors des prises de décisions concernant la définition de la stratégie contractuelle (ensemble de contrats : périmètres contractuels/techniques, rémunérations) et la sélection du contracteur du FPSO et nos résultats, cela justifiera le fait que d'autres décisions plus adaptées auraient pu être prises lors de la validation de la stratégie. Celles-ci justifieraient aussi que l'entreprise TOTAL doive changer le processus d'élaboration de ses stratégies contractuelles si elle veut mieux maîtriser voire limiter ses risques pouvant survenir tout au long du cycle de vie du projet et donc de mieux maîtriser son coût de développement projet.

Remarque : De par la confidentialité et la difficulté de lisibilité (Matrices constituées de plus de 10 000 cellules), il est difficile de représenter complètement sur format A4 les matrices utilisées au sein de ce chapitre. Néanmoins, certains zooms seront illustrés afin de justifier nos résultats et/ou méthodes.

4.5.2. Analyse des vulnérabilités locales (contrats) et globales (stratégies contractuelles)

4.5.2.1. Analyse au niveau d'une stratégie contractuelle en utilisant les approches descendante et ascendante

Afin d'étudier les stratégies contractuelles les moins vulnérables pour le projet Pazflor se focalisant sur le FPSO, nous avons réalisée cette étude à l'aide des deux approches: « ascendante » et « descendante ».

Première approche - de la vision générale à la vision détaillée (« Descendante »)

Lors de cette première approche, nous avons commencé à estimer plusieurs stratégies contractuelles (Figure 31). Le nombre de stratégies contractuelles estimées dépend principalement du nombre de soumissionnaires et du nombre de découpages contractuels possibles. Lors de cette analyse, certaines cellules internes restent non estimées du fait qu'elles ne rentrent pas dans notre périmètre (focus sur le FPSO et ses interactions). C'est pour cette raison que certaines cellules sont notées NA (Not Applicable).

		Ph.1 Basic Engineering			Ph.2 Detail Engineering			Ph.3 Procurement			Ph.4 Fabrication / Integration /Tests			Ph.5 Transportation to SITE			Ph.6 Installation (Offshore) / Pré COM			Ph.7 Commissioning	
		Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal
Scénario A																					
FPSO	Riser Pull-in System															NA		NA			
	Topsides																				
	Hull		SOFRESID							EPSCC CONTRACT - HHI (Hyundai Heavy Industries CO.LTD)											
	Mooring Tandem Offloading															NA		NA			
OLS	OLS, OOL...									EPSC CONTRACT - CONSORTIUM SBM / APL (SBAP)											
SSPS	PCM and HPU modules														NA		NA				
SURF	SSU Umbilicals		DORIS							EPFS CONTRACT - FMC											
	No SSU Umbilicals																				
	Riser									EPSCI CONTRACT - CONSORTIUM TECHNIP / ACERGY (TEAC)											
Scénario B																					
FPSO	Riser Pull-in System															NA		NA			
	Topsides																				
	Hull		SOFRESID							EPSCC CONTRACT - DSME											Subcontractors CECELEC
	Mooring Tandem Offloading															NA		NA			
OLS	OLS, OOL...									EPSC CONTRACT - CONSORTIUM SBM / APL (SBAP)											
SSPS	PCM and HPU modules														NA		NA				IEPA & Assistance from Contractors
SURF	SSU Umbilicals		DORIS							EPFS CONTRACT - FMC											
	No SSU Umbilicals																				
	Riser									EPSCI CONTRACT - CONSORTIUM TECHNIP / ACERGY (TEAC)											
Scénario C																					
FPSO	Riser Pull-in System															NA		NA			
	Topsides																				
	Hull		SOFRESID							EPSCC CONTRACT - HHI											
	Mooring Tandem Offloading															NA		NA			
OLS	OLS, OOL...									EPSC CONTRACT - CONSORTIUM SBM / APL (SBAP)											
SSPS	PCM and HPU modules														NA		NA				IEPA & Assistance from Contractors
SURF	SSU Umbilicals		DORIS							EPFS CONTRACT - FMC											
	No SSU Umbilicals																				
	Riser									EPSCI CONTRACT - CONSORTIUM TECHNIP / ACERGY (TEAC)											

Figure 31: Exemple de scénarios de stratégie contractuelle estimés – Focus FPSO et ses interactions

Remarque : Lors de cette étude nous remarquons l'importance de sélectionner les bons bidders pour réaliser cette analyse du fait que les périmètres contractuels ainsi que les contracteurs sélectionnés engendrent des variations de vulnérabilité des cellules contractuelles.

Après avoir réalisé les différentes estimations, nous avons déduit que la stratégie contractuelle la moins vulnérable concernant le projet Pazflor focalisé sur le FPSO était le Scénario C, en partie suite à une non imposition d'un sous-traitant pour la phase commissioning et que c'est celui-ci qui a moins de cellules vulnérable. Nous analysons maintenant dans un niveau de détail plus fin, les cellules étant estimées : à surveiller (Orange clair). Pour cela nous utilisons la matrice ALEAI pour les cellules: Entrée et Sortie (Figure 32) et la matrice RCCSC pour les cellules : interne (Figure 33).

Seconde approche - de la vision détaillée à la vision générale (« Ascendante »)

Cette seconde approche consiste à estimer dans un premier temps les vulnérabilités des matrices ALEAI (Figure 34) et RCCSC (Figure 35). Une fois les estimations réalisées pour chacune de ces matrices, les valeurs sont agrégées au niveau de la matrice de la stratégie contractuelle (Figure 36).

The table represents the ALEAI matrix for the FPSO project. It is a large grid where each row and column corresponds to a specific activity. The cells are color-coded (yellow, green, red) to indicate the nature and strength of interactions between these activities. The activities listed include various stages of FPSO construction and operation, such as 'Régulation de la température', 'Installation des équipements', and 'Maintenance des équipements'. The matrix shows a complex web of dependencies, with many activities having multiple interactions with other parts of the project.

Figure 34: Matrice Activités/Activités de la matrice ALEAI du projet Pazflor focalisé sur le FPSO et ses interactions

Concernant l’estimation de la matrice RCCSC, la vulnérabilité interne des cellules contractuelles est estimée suite à l’agrégation des estimations faites selon les risques et contraintes pouvant survenir lors de la réalisation d’une cellule contractuelle.

The table represents the RCCSC matrix for the FPSO project. It is a grid where each row and column corresponds to a contract cell. The cells are color-coded (yellow, orange, red) to indicate the level of vulnerability or risk associated with each cell. The activities listed include various stages of FPSO construction and operation, such as 'Régulation de la température', 'Installation des équipements', and 'Maintenance des équipements'. The matrix shows the internal vulnerabilities of these contract cells, with some cells showing higher vulnerability than others.

Figure 35: Matrice RCCSC du projet Pazflor focalisé sur le FPSO et ses interactions

Deuxième approche Agrégée suite aux matrices ALEAI et RCCSC		Ph.1 Basic Engineering			Ph.2 Detail Engineering			Ph.3 Procurement			Ph.4 Fabrication / Integration / Tests			Ph.5 Transportation to SITE			Ph.6 Installation (Offshore) / Pré COM			Ph.7 Commissioning	
		Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal
FPSO	Riser Pull-in System	0,67	0,84	0,89	0,83	1,43	0,96	1,09	1,25	1,16	0,88	1,23	0,94	NA			NA			0,50	1,33
	Topsides	0,67	0,97	0,89	0,98	1,5	1,04	1,09	1,5	1,16	1,20	1,73	1,08				1,07	1,21	0,67	1,33	1,33
	Hull	0,67	0,89	0,89	1,03	1,38	0,98	1,09	1,33	1,16	1,20	1,3	1,07				1,17	1,21	0,75	1,00	1,33
	Mooring	0,67	0,84	0,89	0,83	1,37	1,03	1,09	1,33	1,16	1,00	1,3	1,17	1,17	1	0,75	0,97	1,21	0,00	0,00	1,33
	Tandem Offloading	0,67	0,81	0,89	0,78	1,33	0,83	1,09	1,17	1,16	0,75	1,2	0,94	NA			NA			0,50	1,33
OLS	OLS, OOL...	0,63		0,72	0,72		0,70	0,67		0,59	0,84		0,67				0,59		0,50	0,50	
SSPS	PCM and HPU modules	0,88		0,92	0,79		0,70	0,67		0,67	0,67	0,8	0,50	NA			NA			1,00	
	SSU Umbilicals	0,88		0,92	0,67		0,67	0,67		0,50	0,59		0,67				0,59		0,50	0,50	
SURF	No SSU Umbilicals	0,83		0,86	0,63		0,81	1,33		0,50	0,92		0,67				0,67		0,50	0,50	
	Riser	0,83		0,86	0,77		0,67	0,67		0,50	0,59		0,67				0,83		0,50	0,50	

Figure 36: Matrice de la stratégie contractuelle (agrégée) du projet Pazflor focalisé sur le FPSO et ses interactions

4.5.2.2. Sélection des contracteurs

L'analyse concernant la sélection des contracteurs réalisant certains périmètres de la stratégie contractuelle est primordiale pour élaborer les stratégies contractuelles les moins vulnérables. Cette étude concernant les soumissionnaires du package FPSO, a été réalisée à l'aide du retour d'expérience du projet (Documentation interne TOTAL durant la phase contractualisation pour ne pas fausser l'étude : mêmes données qu'avaient les décideurs) et des compétences et expériences des acteurs de l'entreprise TOTAL.

La Figure 37 représente la matrice ALEAI focalisée sur l'estimation des vulnérabilités en entrée et sortie des soumissionnaires afin de les comparer. Les résultats aux intersections lignes/colonnes représentent les impacts qu'auront les contracteurs sur leur cible (activités, livrables et exigences, acteurs, interactions entre acteurs) alors que les intersections colonnes/lignes représentant les vulnérabilités des acteurs par rapport aux sources pouvant l'impactées (activités, livrables et exigences, acteurs, interactions entre acteurs).

Figure 37: Matrice ALEAI comparant les vulnérabilités (input et output) des « bidders » du FPSO

- Vulnérabilité en entrée des contracteurs :

Cette vulnérabilité est estimée afin d'analyser les causes pouvant impacter les contracteurs. Les différentes vulnérabilités sont estimées à l'aide de la matrice ALEAI. Les vulnérabilités (moyenne) en entrée des bidders sont égales à: DSME : $\approx 0,87$; HHI : $\approx 0,85$; Consortium : $\approx 1,04$.

- Vulnérabilité en sortie des contracteurs :

Cette vulnérabilité est estimée afin d'analyser les conséquences que pourraient engendrer les contracteurs par rapport à certaines activités, livrables et exigences, acteurs et interactions entre acteurs. Les différentes vulnérabilités sont estimées à l'aide de la matrice ALEAI. Les vulnérabilités (moyenne) en sortie des bidders sont égales à : DSME : $\approx 0,95$; HHI : $\approx 0,95$; Consortium : $\approx 1,17$.

- Vulnérabilité des contracteurs :

Cette vulnérabilité est estimée afin d'analyser les aléas des contracteurs à réaliser une activité (Figure 38). Les différentes vulnérabilités sont estimées à l'aide d'une partie des risques définis dans la matrice RCCSC et des risques identifiés par l'entreprise TOTAL (méthode actuelle pour évaluer les fournisseurs).

		Résultats		
		DSME	HHI	Consortium
Fournisseur (EPC Contracteur)		0,9	0,83	1,03
R26	Economie et Finance de l'entrepreneur (Banckruptcy)	0,67	0,67	1
R27	Absence de contrôle de la sous-traitance (entrepreneur en cascade)	1,33	1	1,33
R28	Refus du fournisseur de se conformer aux contrats	1	1	1
R29	Attractivité de l'entreprise vis-à-vis des fournisseurs et inversement	1	1	1,33
R30	Qualification des fournisseurs	0,5	0,5	0,5
Organisation (EPC Contracteur)		1,13	1,07	1,33
R31	Risque humain (Compétences, Expériences et Motivations) - Skills & Compétences	1,33	1,33	1,33
R32	Difficultés à mobiliser des ressources (Concurrence des ressources entre projets, turnover des salariés, opérations simultanées) - Mobilisation/Démobilisation	1	1	1,33
R33	Risque information (Quantité, cohérence, perte...) - Information management (Documentation, Data, Communication)	1	1	1,33
R34	Prise de décision (Capacité à prendre de bonnes décisions au bon moment, rôles et responsabilités, interfaces, mauvaise gestion des risques, mauvaise prise en compte du retour d'expérience, Attitude contractuelle (flexibilité dans les changements, réactivité face aux demandes du client, attitude face aux litiges)) - Project Management	1,33	1	1,33
R35	Management des ressources (Localisation des équipes, Cohabitation sur chantier, Charge de travail, planification des tâches et ressources)	1	1	1,33
TOTAL		1,02	0,95	1,18

Figure 38: Illustration partielle de l'évaluation de la vulnérabilité des soumissionnaires

- Vulnérabilité générale:

Afin de calculer la vulnérabilité générale de chaque soumissionnaire nous additionnons leurs trois vulnérabilités. Les résultats sont les suivants:

DSME: $\approx 0,87 + 0,95 + 1,02 = 2,84$

HHI : $\approx 0,85 + 0,95 + 0,95 = 2,75$

Consortium : $\approx 1,04 + 1,17 + 1,18 = 3,39$

Pour le FPSO du projet Pazflor, TOTAL avait choisi de travailler avec le fournisseur DSME (Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering) et non avec HHI (Hyundai Heavy Industries) et le Consortium (Samsung, Mitsubishi...) malgré leur RTA (« Recommandations To Award ») favorable à HHI.

4.5.2.3. Au niveau local puis global : étude des propagations dans le projet (dynamique projet)

Pour cette analyse effectuée sur le FPSO du projet Pazflor, nous avons majoritairement utilisé la matrice ALEAI constituée de résultats binaires pour étudier le positionnement des éléments dans un réseau, les boucles, les chaines et autres propagations présentes dans le projet. Etant donné que le workpackage des Topsides est le plus vulnérable selon nos analyses, nous ferons un focus sur celui-ci afin d'illustrer la dynamique du projet. Afin d'étudier le positionnement des cellules contractuelles (activités, livrables, acteurs...), nous proposons de regarder différentes vues.

- L'importance dans son réseau de la cellule contractuelle au niveau « incoming » (Figure 39) nombre de fois que celui-ci est impacté :

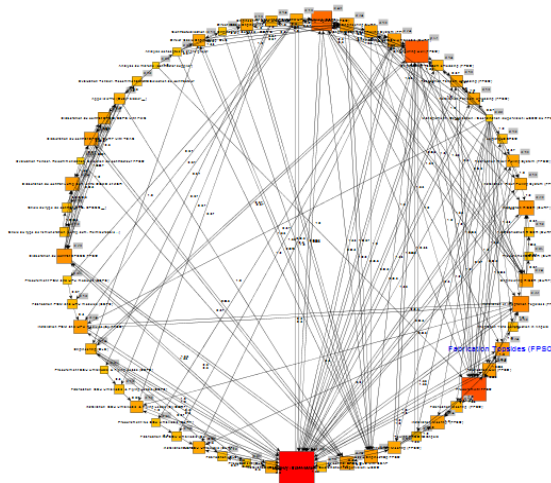


Figure 39: Illustration du positionnement de la cellule contractuelle : Fabrication Topsides (FPSO) - Incoming

- L'importance dans son réseau de la cellule contractuelle au niveau « outgoing » (Figure 40) nombre de fois que celui-ci est défini comme impactant :

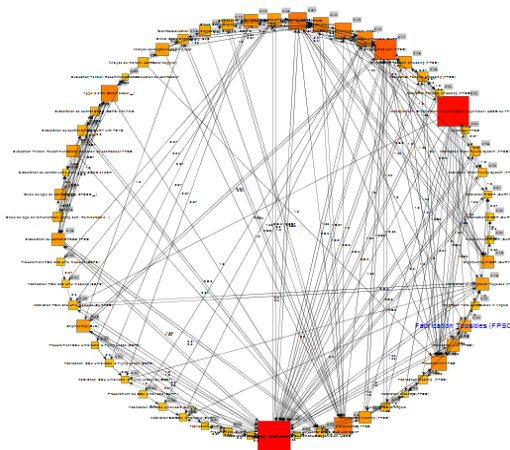


Figure 40: Illustration du positionnement de la cellule contractuelle: Fabrication Topsides (FPSO) – Outcoming

- Illustration des prédécesseurs concernant la fabrication Topside par le contracteur DSME au sein de la sous-matrice Activité/Activité de la matrice ALEAI (Figure 41):

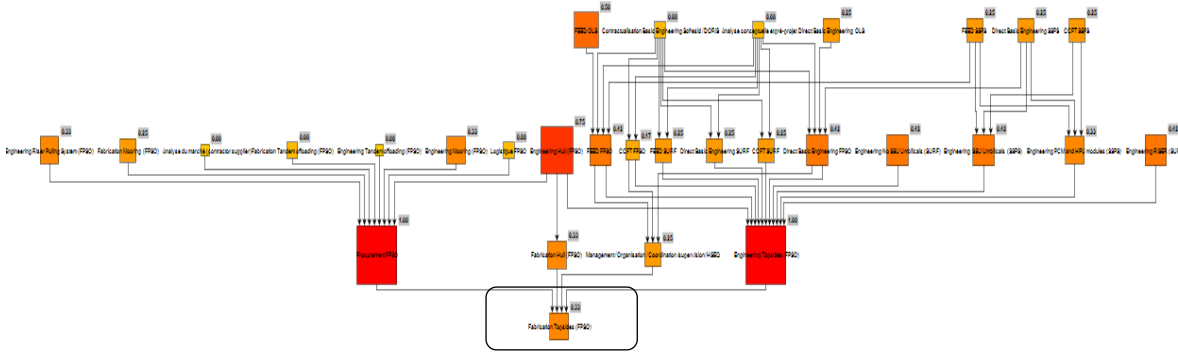


Figure 41: Illustration des prédécesseurs de la cellule contractuelle : Fabrication Topsides (FPSO)

- Illustration des successeurs concernant la fabrication Topside par le contracteur DSME au sein de la sous-matrice Activité/Activité de la matrice ALEAI (Figure 42) :

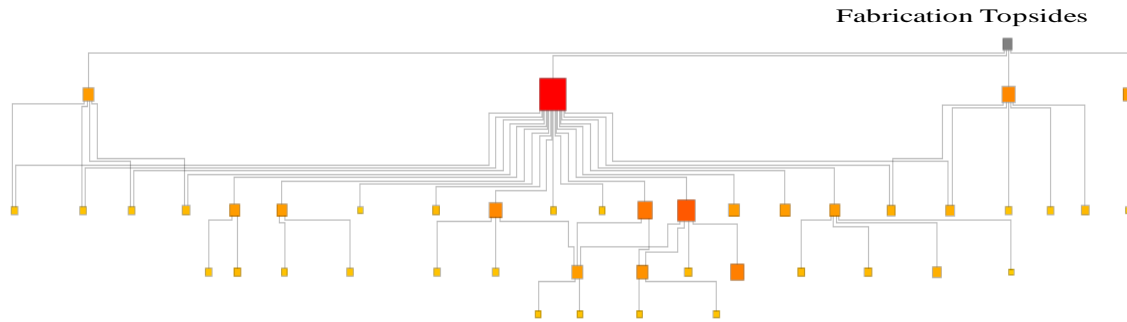


Figure 42: Illustration des successeurs de la cellule contractuelle : Fabrication Topsides (FPSO)

- Exemple de chaîne:

La Figure 43 illustre un exemple de chaîne pouvant survenir dans le projet : Basic Engineering FPSO => Management / Organisation / Coordination => Fabrication des Topsides => Procurement FPSO.

Activity Code	Activity Name	Start	End	Duration	Predecessors	Successors
001	Management / Organisation / Coordination	01/01/2010	31/12/2010	365		002, 003, 004, 005, 006, 007, 008, 009, 010, 011, 012, 013, 014, 015, 016, 017, 018, 019, 020, 021, 022, 023, 024, 025, 026, 027, 028, 029, 030, 031, 032, 033, 034, 035, 036, 037, 038, 039, 040, 041, 042, 043, 044, 045, 046, 047, 048, 049, 050, 051, 052, 053, 054, 055, 056, 057, 058, 059, 060, 061, 062, 063, 064, 065, 066, 067, 068, 069, 070, 071, 072, 073, 074, 075, 076, 077, 078, 079, 080, 081, 082, 083, 084, 085, 086, 087, 088, 089, 090, 091, 092, 093, 094, 095, 096, 097, 098, 099, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

Figure 43: Illustration d'un exemple de chaîne pouvant survenir dans le projet

- Exemple de boucles :

La Figure 44 illustre un exemple de boucle pouvant survenir dans un projet : Fabrication Topside => Fabrication Hull => Installation Topside (Réalisé hors Corée du sud) => Hook-Up / Commissioning => Fabrication Topside.

La présence de boucle a principalement pour conséquence, la modification des données (d'ingénierie, fabrication, installation...) ce qui pourra engendrer des « Change Order » et donc une augmentation des délais et des coûts du projet.

	A34	A35	A36	A37	A38	A39	A40	A41	A42	A43	A44	A45	A46	A47	A48	A49	A50	A51	A52	A53	A54	A55	A56	
	Logistique FPSO																							
	Logistique FPSO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Integration Yard construction in Angols	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fabrication SSU Umbilicals & Piping Leads (SSPS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fabrication RISER (SURF)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fabrication No SSU Umbilicals (SURF)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fabrication PCM and HPU modules (SSPS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fabrication (OLS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fabrication Tendon offloading (FPSO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fabrication Hull (FPSO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fabrication Topside (FPSO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fabrication Mooring (FPSO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fabrication Riser Pulling System (FPSO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Installation Tendon offloading (FPSO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Installation Riser Pulling System (SSPS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Towing FPSO to Angols	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Installation et integration Topside (FPSO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Installation PCM and HPU modules (By FPSO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Installation Mooring (FPSO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Installation RISER (SURF)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Installation No SSU Umbilicals (SURF)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Installation SSU Umbilicals & Piping Leads (By SURF)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Installation (OLS by SURF)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hook-up / Commissioning	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 44: Illustration d'une boucle positive pouvant impacter le projet

- Exemple d'une cellule contractuelle qui engendre des « impacts multiples » :

Afin d'analyser le nombre d'impacts directs (impacts multiples) d'une cellule contractuelle, il suffit de lire la ligne de chaque cellule contractuelle et de calculer le nombre de fois que 1 aligne est en relation avec les colonnes de la matrice ALEAI (Figure 45).

Figure 45: Illustration d'impacts multiples de la cellule contractuelle : Fabrication Topside (FPSO) sur le projet

- Exemple concernant l'évolution de la vulnérabilité d'une cellule contractuelle tout au long du projet :

L'analyse de l'évolution de la vulnérabilité d'une cellule contractuelle tout au long du projet permet de voir si celle-ci a un effet d'amplification négatif sur le projet (Figure 46).

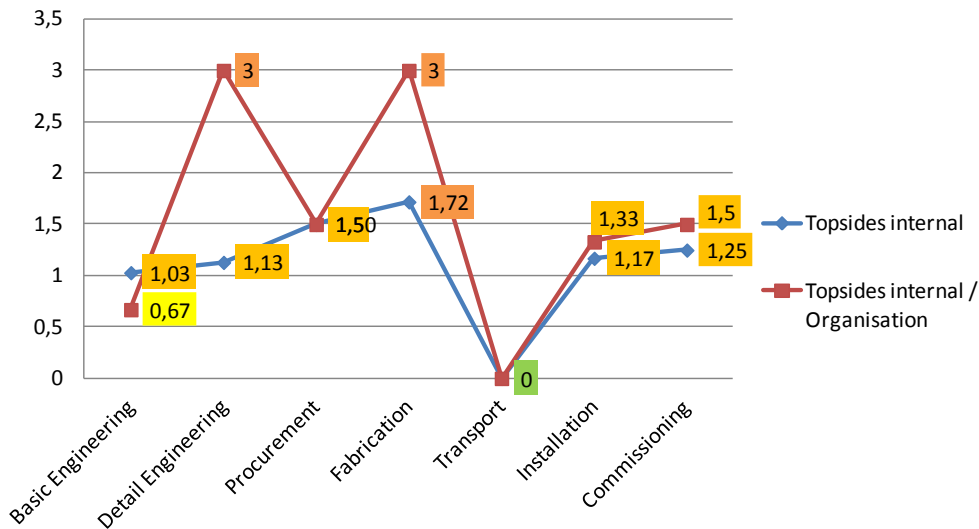


Figure 46: Illustration de l'évolution de l'élément Topside et de son organisation tout au long du projet.

4.5.3. Recommandations

Même si l'analyse post-mortem présente certains biais, l'objectif de ce paragraphe est de montrer ce qui aurait pu être fait en tenant compte des analyses complémentaires introduites précédemment.

4.5.3.1. Au niveau global : sélection du contrat FPSO le moins vulnérable

Après avoir réalisé les analyses par rapport aux deux approches, nous pouvons apercevoir des différences d'estimation au niveau des stratégies contractuelles (Figure 47). Remarque : Les valeurs de vulnérabilité entre [1,01 et 1,1] peuvent être définies comme tolérables selon le « bon sens » des décideurs.

Première approche Estimée directement		Ph.1 Basic Engineering			Ph.2 Detail Engineering			Ph.3 Procurement			Ph.4 Fabrication / Integration / Tests			Ph.5 Transportation to SITE			Ph.6 Installation (Offshore) / Pré COM			Ph.7 Commissioning		
		Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	
FPSO	Riser Pull-in System															NA		NA				
	Topsides																					
	Hull			SOFRESID																		
	Mooring																					
	Tandem Offloading															NA		NA				
OLS	OLS, OOL...																					
SSPS	PCM and HPU modules															NA		NA				TEPA & Assistance from Contractors &
	SSU Umbilicals			DOBIS																		
SURF	No SSU Umbilicals																					
	Riser																					

Deuxième approche Agrégée suite aux matrices ALEAL et RCCSC		Ph.1 Basic Engineering			Ph.2 Detail Engineering			Ph.3 Procurement			Ph.4 Fabrication / Integration / Tests			Ph.5 Transportation to SITE			Ph.6 Installation (Offshore) / Pré COM			Ph.7 Commissioning	
		Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal
FPSO	Riser Pull-in System	0,67	0,84	0,89	0,83	1,43	0,96	1,09	1,25	1,16	0,88	1,23	0,94			NA			NA	0,50	1,33
	Topsides	0,67	0,97	0,89	0,98	1,5	1,04	1,09	1,5	1,16	1,20	1,73	1,08				1,07	1,21	0,67	1,33	1,33
	Hull	0,67	0,89	0,89	1,03	1,38	0,98	1,09	1,33	1,16	1,20	1,3	1,07				1,17	1,21	0,75	1,00	1,33
	Mooring	0,67	0,84	0,89	0,83	1,37	1,03	1,09	1,33	1,16	1,00	1,3	1,17	1,17	1	0,75	0,97	1,21	0,00	0,00	1,33
	Tandem Offloading	0,67	0,81	0,89	0,78	1,33	0,83	1,09	1,17	1,16	0,75	1,2	0,94			NA			NA	0,50	1,33
OLS	OLS, OOL...	0,63		0,72	0,72		0,70	0,67		0,59	0,84		0,67				0,59		0,50	0,50	
SSPS	PCM and HPU modules	0,88		0,92	0,79		0,70	0,67		0,67	0,67	0,8	0,50			NA			NA	1,00	
	SSU Umbilicals	0,88		0,92	0,67		0,67	0,67		0,50	0,59		0,67				0,59		0,50	0,50	
SURF	No SSU Umbilicals	0,83		0,86	0,63		0,81	1,33		0,50	0,92		0,67				0,67		0,50	0,50	
	Riser	0,83		0,86	0,77		0,67	0,67		0,50	0,59		0,67				0,83		0,50	0,50	

Figure 47: Comparaison des deux stratégies contractuelles réalisées par deux approches différentes

Les deux différences majeures que nous pouvons percevoir concernent la sous-estimation et/ou la surestimation des cellules d'une approche par rapport à une autre.

- **Sous-estimation :** La sous-estimation provient principalement du fait que les acteurs ont négligé certains signaux faibles comme nous pouvons le voir au niveau de l'impact que peut avoir les fabrications des Topsides, Hull et Mooring sur d'autres cellules (Vulnérabilités Fabrication – Output). D'autres cas d'exemple montrant la négligence des signaux faibles de la part de la première approche peuvent être démontrés. La seconde approche peut aussi négliger certains signaux faibles lors de l'agrégation des valeurs où certaines valeurs vulnérables peuvent être camouflées par d'autres valeurs moins vulnérables : sous-estimations. Prenons l'exemple de la cellule contractuelle « Fabrication – No SSU Umbilicals – Input ». Que se soit dans la première ou la seconde approche cette cellule est estimée Tolérable alors que dans la seconde approche à l'aide de la matrice ALEAI nous pouvons apercevoir le signal faible suivant qui a été estimé à surveiller (vulnérable – Valeur : 1,33): « Details Engineering – No SSU Umbilicals – Output » peut impacter la cellule « Fabrication – No SSU Umbilicals –Input » sans que celle-ci puisse vraiment maîtriser cet impact.
- **Surestimation :** Lors de la réalisation du cas test Pazflor (Focus FPSO), nous pouvons voir aussi des cellules contractuelles pouvant être surestimées. Comme nous le montre la première approche avec les estimations de la phase « Commissioning – SSPS –Input », «Basic Engineering – Topsides/Hull/Mooring –Output »...

Concernant la seconde approche, la surestimation est pratiquement faite sur l'ensemble des cellules contractuelles des phases du projet par rapport au critère « internal ». Celle-ci est principalement due à la prise en compte de la vulnérabilité de l'organisation du contracteur EPC. Cette surestimation nous fait donc réfléchir à savoir s'il est important d'agréger la vulnérabilité de l'organisation du contracteur EPC avec les autres vulnérabilités ou si on doit la séparer et la mettre en valeur dans la stratégie contractuelle. Notre décision a été de décomposer le critère « Internal » en deux parties (Figure 48): vulnérabilité interne d'une phase (A) et vulnérabilité de l'organisation du contracteur EPC par rapport à une phase (B). Cette décomposition permet d'être une aide aux décideurs afin d'avoir une vision directe de l'organisation du EPC contracteur (Compétences, expériences, motivations, ressources disponibles, gestion des ressources, etc)

Deuxième approche Agrégée suite aux matrices ALEAI et BCCSC		Ph.1 Basic Engineering				Ph.2 Detail Engineering				Ph.3 Procurement				Ph.4 Fabrication / Integration / Tests				Ph.5 Transportation to SITE				Ph.6 Installation (Offshore) / Pré COM				Ph.7 Commissioning		
		Internal		Output		Internal		Output		Internal		Output		Internal		Output		Internal		Output		Internal		Internal				
		Input	A	B	Output	Input	A	B	Output	Input	A	B	Output	Input	A	B	Output	Input	A	B	Output	Input	A	B				
FPSO	Riser Pull-in System	0,67	0,87	0,67	0,83	0,83	1,04	3	0,96	1,03	1,13	1,5	1,16	0,88	1,03	3	0,94	NA				0,50	1,25	1,5				
	Topsides	0,67	1,03	0,67	0,83	0,96	1,13	3	1,04	1,03	1,5	1,5	1,16	1,20	1,12	3	1,08				1,07	1,17	1,33	0,67	1,33	1,25	1,5	
	Hull	0,67	0,93	0,67	0,83	1,03	0,96	3	0,96	1,03	1,25	1,5	1,16	1,20	0,11	3	1,07				1,17	1,17	1,33	0,75	1,00	1,25	1,5	
	Mooring	0,67	0,87	0,67	0,83	0,83	0,96	3	1,03	1,03	1,25	1,5	1,16	1,00	1,03	3	1,17	1,17	0,96	0,67	0,75	0,97	1,17	1,33	0,00	0,00	1,25	1,5
	Tandem Offloading	0,67	0,83	0,67	0,83	0,78	0,92	3	0,83	1,03	1	1,5	1,16	0,75	0,75	3	0,94	NA				0,50	1,25	1,5				
OILS	OILS, OOL	0,63			0,72	0,72			0,70	0,67			0,59	0,84			0,67				0,59			0,50	0,50			
SSPS	PCM and HPU modules	0,88			0,92	0,73			0,70	0,67				0,67	0,67	0,73		0,50		NA				NA		1,00		
	SSU Umbilicals	0,88			0,92	0,67			0,67	0,67				0,50	0,59			0,67				0,59			0,50	0,50		
SURF	No SSU Umbilicals	0,83			0,86	0,63			0,81	1,33				0,50	0,92			0,67				0,67			0,50	0,50		
	Riser	0,83			0,86	0,77			0,67	0,67				0,50	0,59			0,67				0,83			0,50	0,50		

Figure 48: Agrégation de la stratégie contractuelle en différenciant la vulnérabilité de l'organisation du contracteur EPC

Une sous-estimation et/ou une surestimation peuvent être sources d'aléas pour le projet. La sous-estimation aura tendance à engendrer la survenue de risques qui augmenteront les coûts et les délais du projet alors que la surestimation aura plutôt tendance à limiter, maîtriser les risques pouvant survenir dans le projet. Néanmoins, elle engendrera éventuellement aussi des surcoûts et des délais supplémentaires du fait que l'on mettra à dispositions des acteurs des ressources additionnelles (« non nécessaire ») qui pourraient être utilisées sur d'autres projets. Il est donc important que le « bon sens » des décideurs soient toujours utilisés pour le bon équilibre entre les estimations.

4.5.3.2. Au niveau local : sélection des contracteurs et type de rémunérations

Selection des contracteurs

Suite aux résultats calculés précédemment en phase analyse, nous estimons que le soumissionnaire HHI est celui qui est le plus appropriés. Le document interne à TOTAL : Recommendation To Award FPSO du projet Pazflor, préconisé aussi la sélection de HHI en argumentant par les avantages suivants :

- Le planning et les coûts sont compatibles avec l'estimation de l'entreprise TOTAL,
- HHI a de bonnes références en Angola pour la réalisation de projet similaire,
- SOFRESID (contracteur du « Basic engineering ») approuve HHI,
- La sous-traitance est limitée et les sous-traitants sont bien connus et approuvés...

L'ensemble de ces avantages se retrouve bien dans notre analyse. Cependant, lors de la phase exécution, c'est le sélectionneur DMSE qui a réalisé les activités à la place de HHI en partie du fait que le Pays hôte l'a favorisé. L'évaluation de DMSE étant très proche de HHI, nous pensons que TOTAL a décidé de privilégier la relation avec le pays hôte que celle sélectionner de HHI qui a déjà des projets en cours avec l'entreprise TOTAL.

De plus, lors de la réalisation de ce cas test, nous nous sommes interrogés sur le fait que l'entreprise TOTAL ne contracte pas directement avec Cegelec concernant les activités du Commissioning mais l'impose à DSME comme sous-traitant. La réponse vient du fait que pour TOTAL, ce choix avait pour avantage de déployer moins de ressources de la part de TOTAL pour la surveillance de Cegelec car la contractualisation fût effectuée par DSME directement. Néanmoins, cela a pour inconvénients majeurs de payer plus cher le montant du contrat avec DSME et de perdre de la visibilité sur les activités de commissioning.

Sélection du type de rémunération

Dans le cas du FPSO du projet de Pazflor mais aussi pour les autres projets, nous conseillons de sélectionner un type de rémunération par rapport à la vulnérabilité d'une cellule contractuelle ou d'un groupe de cellules constituant une partie d'un contrat. Plus la cellule sera vulnérable, plus TOTAL devra sélectionner des rémunérations de type « remboursable » afin de se prémunir des incertitudes et donc des « Change Orders ». Plus la cellule contractuelle est négligeable, plus TOTAL devra sélectionner des types de rémunération « Lump sum » afin de bien maîtriser les coûts.

4.6. Conclusion du chapitre

Le résultat attendu est une méthode d'analyse des risques qui permettra d'être une aide à la décision pour les décideurs afin de sélectionner la stratégie contractuelle la moins vulnérable par rapport au contexte du projet. Cette méthode sera connectée aux analyses coût et délais existants pour permettre d'anticiper des variations de certaines tâches et interactions qui étaient non prévisibles avec les traditionnelles lois de probabilités. Il sera également connecté aux outils de management de projet, en particulier les registres des risques. Enfin, il permettra d'identifier certaines situations où les interfaces contractuelles sont à la fois difficiles à définir et importantes en termes de contribution aux risques du projet. De plus, cet outil permet de mettre en commun les visions des différents acteurs du projet.

Différentes réflexions sont en cours en ce qui concerne la possibilité de rendre plus automatique et plus applicable l'analyse des imprévus mais aussi l'estimation des événements par la vulnérabilité afin d'améliorer notre démarche :

- Comment estimer le niveau de résilience de la cible à récupérer sa « valeur initiale » pendant et après au minimum un impact ?
- Quelle formule utiliser pour estimer la vulnérabilité?
- Quelle est l'importance de la vulnérabilité dans l'approche de la propagation?
- Peut-on assembler les cellules de la stratégie contractuelle par des techniques de clustering ?

CHAPITRE 5

COMMENT MINIMISER LES RISQUES LIES AUX PROCESSUS DE PILOTAGE DES PHASES DE CONTRACTUALISATION ET D'EXECUTION ?

Résumé

L'élaboration et l'exécution de la stratégie contractuelle ne sont pas uniquement liées à des prises de décision. Elles sont dépendantes aussi du pilotage réalisé lors de la contractualisation et de l'exécution du projet. Du fait du nombre de contrats définis et de l'environnement d'un projet complexe, ce pilotage fait intervenir un nombre important d'acteurs, qu'ils soient internes à l'entreprise TOTAL ou externes. L'objectif de ce chapitre est de proposer de nouvelles approches et méthodes afin améliorer la collaboration entre acteurs pour qu'ils puissent prendre des décisions coordonnées. Pour cela, des acteurs particuliers du projet seront mis en évidence et regroupés ensemble. Afin de répondre à cet objectif, nous proposons l'utilisation de matrices acteurs/acteurs et du clustering en prenant en compte l'aspect statique et dynamique des relations entre acteurs.

5. Comment minimiser les risques liés aux processus de pilotage des phases de contractualisation et d'exécution ?

5.1. Contexte et problème

Les projets « Oil and Gas » impliquent de multiples et diverses parties prenantes, y compris la société d'exploitation, les entrepreneurs, les fournisseurs, les partenaires, les pays hôtes, et les acteurs des organisations non gouvernementales (Eweje et al, 2012). Cela nécessite la collaboration des employés de différentes organisations, mais aussi la coordination à travers les frontières organisationnelles (Perrow, 1984), (Milch et Laumann, 2015). Les membres sont choisis en fonction de leurs affectations actuelles et passées, les compétences, l'expertise et l'expérience dans un ou plusieurs domaines. Il existe de nombreuses interactions entre ces acteurs et ceux qui sont impliqués dans le travail plus précis liés à l'évaluation préliminaire et des études conceptuelles et d'avant-projet et la planification du projet.

Cette complexité combine les complexités techniques et organisationnelles étroitement couplées au projet (Baccarini, 1996), (Bosch-Rekvelde et al, 2011). En effet, la gestion de projets consiste en la gestion des acteurs, leurs interfaces et les relations entre eux, ainsi que les composants et les interfaces des éléments techniques du système. Les acteurs humains sont caractérisés par une capacité cognitive limitée, notamment pour gérer simultanément plusieurs dimensions et temporalités. Ils sont aussi caractérisés par les biais cognitifs, ce qui signifie que leurs expériences antérieures, tant professionnelles que personnelles, influencent la façon dont ils perçoivent et construisent des informations selon leurs opinions. Cela implique que leur comportement est souvent dicté par des processus de pensée inconscients, soit individuellement, soit collectivement (avec des notions telles que l'aversion au risque fondée sur l'expérience, la concurrence axée sur sa carrière, les décisions politiques et territoriales entre les départements de l'organisation, etc.). Une raison de la limitation de l'information et de la capacité humaine pour y faire face est la vitesse du projet, qui ne permet pas souvent de suivre correctement les informations et de garder l'expérience au fur et à mesure du projet. Ceci est l'un des paradoxes de la gestion de projet, qui est d'avoir à prendre des décisions rapides, même si celles-ci impliquent des conséquences à long terme. Les considérations du cycle de vie à long terme doivent donc faire partie de l'ensemble des activités, ce qui augmente l'incertitude dans laquelle les activités sont exposées. Les projets de développement pétrolier complexes ont une dimension supplémentaire, qui est l'implication d'entrepreneurs multiples, sous-traitants et fournisseurs liés à la société par des relations contractuelles.

Tous ces facteurs justifient clairement qu'il est difficile de coordonner des projets complexes (Whitty et Maylor, 2009) avec de multiples acteurs qui effectuent ou gèrent plusieurs activités pour atteindre plusieurs cibles à différentes étapes dans le long cycle de vie du projet (« Detail Engineering, Procurement, Fabrication, Installation, Commissioning »). Une mauvaise gestion de ces relations (entre les nombreux acteurs) au cours des différentes étapes qui préparent la mise au point de l'installation peut entraîner de nombreux problèmes potentiellement graves, tels que:

- Le partage entre les parties prenantes du projet pour les décisions à différents niveaux, de la gouvernance de haut niveau jusqu'aux décisions centrées sur les livrables détaillés, telles que les stratégies contractuelles ou la nécessité d'intégrer les exigences du pays hôte dans le projet. Plusieurs auteurs (Cedergren, 2013), (Nenonen et Vasara, 2013), (Milch et Laumann, 2015) ont déclaré que si chaque organisation reste dans son propre domaine de compétence, il sera difficile de réaliser une vision globale et intégrée, et de nombreux problèmes se produiront.
- Une mauvaise communication, due à une mauvaise circulation de l'information (Nenonen et Vasara, 2013), (Albrechtsen et Hovden, 2014), pouvant provenir de la méfiance ou la difficulté à développer la confiance entre les différents acteurs, au sein des différentes organisations ou non (Kochan et al, 1994).

- Le dysfonctionnement de coordination lors d'une prise de décision, soit par la mauvaise intégration des informations multiples et souvent contradictoires ou par une mauvaise anticipation des conséquences indirectes de la décision. Par exemple, (Love and al, 2013) ont étudié la dynamique des changements associés aux spécifications de conception ou les exigences du client. Ces facteurs, appelés perturbations imprévues, se produisent à la suite d'anti-coordination entre les différentes parties prenantes du projet, par exemple, les gestionnaires, consultants, entrepreneurs et fournisseurs. Autour de ces questions, (Parrod et al, 2007) ont simulé le comportement des différents agents dans une chaîne d'approvisionnement d'un projet pour réduire le risque de retard de livraison. Le principal objectif était de quantifier le degré d'interaction et de coopération entre les agents et le lien avec l'offre et la capacité du système. Turner et Simister ont étudié l'influence de la posture coopérative des acteurs concernés, en particulier pour les décisions concernant le type de contrat (Turner et Simister, 2001).
- Un manque de confiance entre les parties prenantes. La confiance et l'engagement de créer un climat favorable à la coopération et la coordination entre les acteurs sont des facteurs clé de succès des projets (Stoddart-Stones, 1988), (Chow et al, 2012). (Lau et Rowlinson, 2009) ont souligné l'un des grands avantages d'un tel climat de confiance : une tendance à moins utiliser des stratégies opportunistes (basées sur le pouvoir) et à ne pas interpréter les contrats comme un signe de méfiance écrite. (Zheng et al, 2008) font valoir que les mécanismes relationnels interpersonnels sont plus progressifs et fragiles, tandis que des mécanismes contractuels se déplacent avec moins de degrés de liberté et «ancrent» l'échange tout au long du cycle de vie. Klein Woolthuis et les co-auteurs font valoir que les mécanismes contractuels et relationnels sont complémentaires, mais pas suffisamment analysés dans les détails de leur interaction (Klein Woolthuis et al, 2005).

Par conséquent, le présent chapitre a pour but d'optimiser le pilotage des phases contractualisation et exécution du projet en proposant des structures organisationnelles complémentaires, qui tiennent compte des vulnérabilités des parties prenantes et leurs relations au sein du projet à différents niveaux. Cela aura pour objectif d'anticiper et d'atténuer les risques liés à une mauvaise communication et la coordination tout en prenant des décisions clés. Ceci est l'un des sujets émergents mis en évidence par les récentes revues de la littérature (Svejvig et Andersen, 2014), (Kwak et Anbari, 2009), (Pitsis et al, 2014).

Lors d'études de retours d'expériences, nous avons mis en avant le fait que la collaboration avec les acteurs externes, et plus particulièrement ceux liés au Pays hôte (autorités, communautés riveraines...) n'est pas assez prise en compte. Cela a pour principales conséquences de négliger les attentes provenant du Pays hôte ou de ne pas percevoir l'excès d'exigences provenant de leur part, ce qui aura pour résultats l'augmentation des coûts liés au projet. Afin de répondre à ce point, une thèse est réalisée en partie sur ce sujet au sein de la chaire CentraleSuepelec & TOTAL. La Figure 49 représente les éventuelles liaisons que pourraient avoir les parties du Pays hôte avec le projet et son environnement (Feng, 2013).

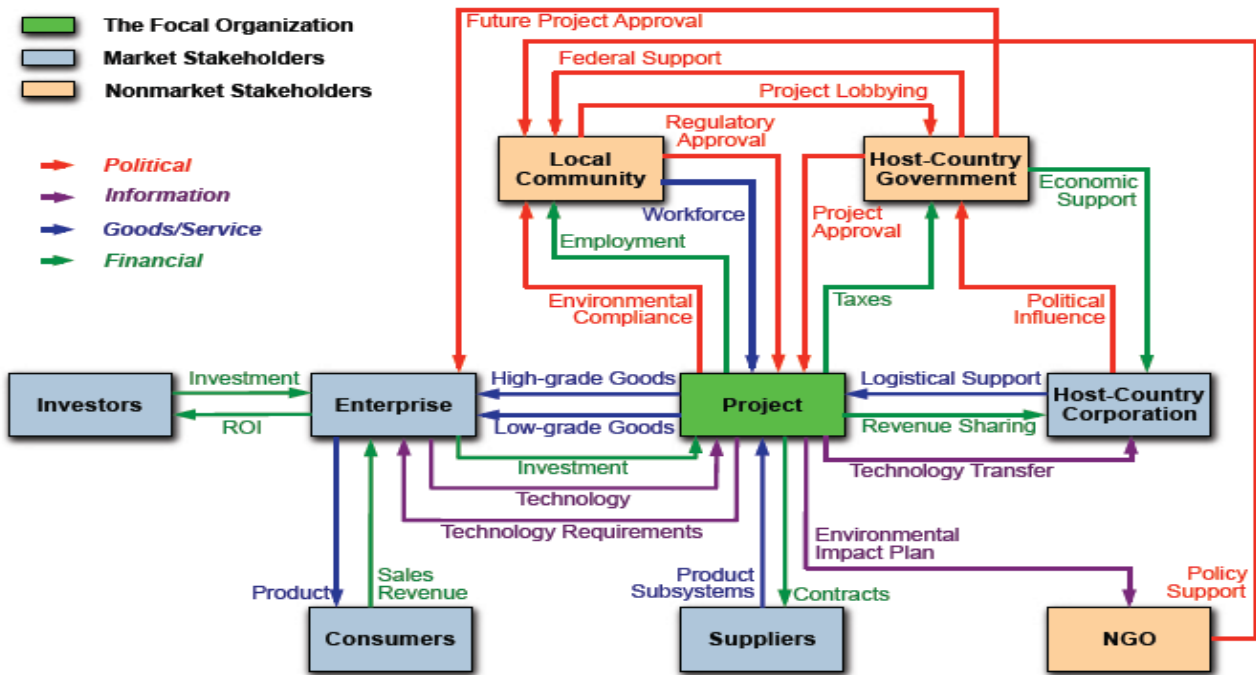


Figure 49: Illustration des éventuelles interactions des parties prenantes du Pays Hôte avec le projet et son environnement

Afin de créer de nouvelles structures organisationnelles plus adaptées au contexte du projet, une approche en deux étapes est proposée:

- Modélisation des interactions entre les éléments – matrice interactions entre acteurs (activités, des acteurs internes et externes, les principaux produits livrables et les exigences). Celle-ci consiste à:
 - Identifier les acteurs, les phases du projet, les exigences de produits, livrables produits des projets, les activités du projet (liés aux composants du produit et les phases du projet), puis les interactions entre ces éléments.
 - L'estimation des interactions entre ces éléments, permet de détecter des chaînes et boucles potentielles de propagation critique. La notion d'un signal faible est particulièrement importante, car certains éléments peuvent ne pas être critiques à un niveau individuel, mais peuvent déclencher des éléments multiples ou plus importants. L'analyse de l'élément criticité est déjà faite. L'accent est mis ici sur les interactions, ce qui est généralement moins formalisé et détaillé.

(Bonjour et al, 2013) stipule les composants dans des matrices ne sont pas spécialement des objets physiques représentés par des modèles géométriques.

- Clustering des éléments en fonction de la vulnérabilité de leurs interactions pour mieux anticiper et atténuer les phénomènes de propagation négatifs (comme des boucles ou des chaînes d'amplification). Cela se fait grâce à une meilleure communication et coordination entre les acteurs au sein des clusters, éventuellement avec une structure de coordination mondiale pour améliorer la coordination entre les clusters. La nature des projets « Oil and Gas » implique que ces groupes sont généralement formés des groupes interentreprises, décrites dans le chapitre 2. En se concentrant sur les interactions les plus vulnérables en plus des éléments vulnérables, il est possible de réunir les acteurs de différentes entités internes et/ou externes impliqués dans ces phénomènes complexes pour les aider à prendre des

décisions coordonnées et nous espérons moins risquées. Il est à remarquer que le risque peut être un facteur crucial dans certaines décisions à des étapes clés du projet (Caron et al, 2007).

Remarque: L'hypothèse principale est que l'effort supplémentaire pendant la phase de préparation du contrat est beaucoup plus faible que les économies potentielles au cours de la phase d'exécution du contrat.

5.2. Analyse des vulnérabilités des phases contractualisation et exécution

Afin d'analyser le niveau de pilotage (management projet) de l'entreprise opératrice et de ses contracteurs, il est important d'étudier les vulnérabilités des deux phases importantes du projet qui sont séparées par la signature/validation des contrats: la phase contractualisation et la phase exécution.

5.2.1. Contractualisation

L'analyse de la vulnérabilité de la phase de contractualisation est la première analyse à réaliser concernant le pilotage du projet de développement. Elle permet de comprendre quelles seront les éventuelles contraintes qui pourraient être rencontrées lors de cette phase et qui pourraient influencer négativement l'élaboration de la stratégie contractuelle du projet qui est elle-même la structure du pilotage de la phase d'exécution.

Pour cela, cette vulnérabilité est calculée par l'agrégation des différentes vulnérabilités estimées par rapport aux différents critères recensés dans la matrice RCCSC. Ces critères ont été définis à l'aide de la littérature et des documentations internes à l'entreprise TOTAL et classés sous 5 risques (niveau 1): Fournisseur (EPC contracteur), Organisation (EPC contracteur), Pays hôte, Marché, Contractuelle. A l'intérieur de chacun de ces items, plusieurs critères ont été définis comme par exemple pour l'item du Pays hôte : Local Gouvernement (niveau 2).

Afin de rendre l'estimation des critères de niveau 2 simple à réaliser, nous avons défini pour les critères posant le plus de difficultés (selon retour d'expérience) plusieurs critères pouvant devenir risqués de niveau 3. Exemple, pour le critère de niveau 2 « Local Gouvernement », nous avons déterminé les critères de niveau 3 suivant: political stability, corruption, political influence, conflicts of interests...

5.2.2. Exécution

Une fois la contractualisation finie et donc la stratégie contractuelle validée, il est primordial de suivre l'évolution des vulnérabilités des contrats, voire des cellules contractuelles à un niveau plus fin. C'est la stratégie contractuelle élaborée et estimée (vulnérabilité) en phase contractualisation qui définit les limites/marges à respecter pour que le projet s'exécute d'une manière performante. Le but des personnes en charge du pilotage de la phase d'exécution du projet et de maîtriser/limiter voire supprimer les risques survenant ou s'amplifiant depuis la phase contractualisation.

Après l'analyse des vulnérabilités des phases contractualisation et exécution, il est important d'analyser les vulnérabilités des parties prenantes et de leurs relations du fait de leurs interfaces. La vulnérabilité trop élevée d'une phase peut impacter les parties prenantes et leurs relations et vice-versa.

5.3. Analyse des phénomènes complexes potentiels liés à la dynamique du projet

L'état d'un projet, à savoir l'état de ses éléments et de leurs interactions, est en constante évolution au fil du temps. Le comportement d'un projet complexe se caractérise par un comportement linéaire ou non-linéaire voire chaotique, avec des boucles de rétroaction ou d'amplification, des phénomènes émergents ... Deux phénomènes spécifiques sont considérés ici: les chaînes de propagation (éventuellement longue et amplificatrice), et des boucles (qui sont un cas particulier où la chaîne est fermée, puisque l'élément final est aussi l'élément initial).

5.3.1. Analyse de la propagation d'une source dans son réseau

Weick et Sutcliffe recommandent de : « prêter attention aux défaillances des signaux faibles qui peuvent être des symptômes de problèmes plus importants au sein du système » (Weick & Sutcliffe, 2001). En effet, une interaction très critique peut très bien n'avoir aucune conséquence indirecte, son impact restant alors local, mais la simple criticité de cette interaction fait qu'on la considère vulnérable. Au contraire, il arrive que les interactions avec une faible criticité individuelle soient à l'origine de chaînes avec des enjeux finaux beaucoup plus élevés (Fang et al, 2013), or les classifications traditionnelles orientées criticité font qu'on ne considère pas cette interaction comme vulnérable. Voilà pourquoi il est essentiel d'exploiter les informations sur les interactions et leurs relations de façon plus globale, en considérant les phénomènes de propagation et boucles potentielles.

En ce qui concerne les boucles, une boucle de rétroaction est définie comme « un mécanisme permettant de ramener en entrée des informations de système qui sont directement dépendantes de la sortie du système » (Donnadieu et al, 2003) ; (De Rosnay, 1977). Trois types de boucles sont classiquement introduits: 1) boucles positives ou d'amplification: évolution vers une amplification du phénomène initial et peut évoluer vers le chaos; 2) boucles négatives ou rétroactives: évolution vers la réduction du phénomène dangereux jusqu'à une éventuelle stabilité du système; 3) boucles ago-antagonistes: les boucles peuvent avoir un comportement ou l'autre, et il est difficile, voire impossible, de prévoir les changements de polarité. (Le Moigne, 1990) fait valoir que cette alternance de phases d'amplification (instabilité) et de rétroaction (stabilité) est dans la nature des systèmes auto-organisés. Pour traiter les problèmes liés à ces boucles, les boucles peuvent usuellement être cassées, en protégeant ou en réacheminant des relations. Sinon, leur taille peut être réduite, car les grandes boucles sont plus difficiles à gérer. La réduction de la centralité des éléments impliqués dans une boucle est une dernière action directe. Toutefois, il est rarement possible d'agir directement sur les structures des boucles, que ce soit par l'atténuation du nœud ou de l'élément initial, c'est pourquoi nous proposons de les gérer en les intégrant au sein des clusters.

La Figure 50 illustre un petit exemple fictif d'un projet organisé entre quatre phases avec 15 activités identifiées. Les interactions ont été identifiées et estimées en utilisant l'approche décrite précédemment. Deux phénomènes ont été détectés, une chaîne noire (D-C-F-K-N) et une boucle bleue (J-A-G-H). Pour mettre en évidence des possibilités de chaînes et de boucles, une technique classique consiste à analyser les puissances de la matrice binaire. Au fur et à mesure que les puissances de la matrice sont analysées, l'identification des nœuds possiblement atteints depuis un nœud donnée est stabilisée (au pire à la puissance N, taille de la matrice, s'il existe une boucle de longueur N).

Phases		Conceptual : Con			Development : Dev			Construction & Installation : C&I				Commissioning : Com				
Initial	18	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Con	A	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	4	0
	B	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1
	C	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Dev	D	0	0	4	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
	F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
	G	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	1	0	0	0
C&I	H	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1	0	3	4	2	0
	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
	J	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	2	0
	K	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Com	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	O	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2	0

Figure 50: Exemple d'une matrice fictive organisée entre les phases du projet

5.3.2. Echelle de vulnérabilité utilisée pour les acteurs et interactions entre acteurs

Afin d'estimer la vulnérabilité liés aux acteurs, nous conseillons l'utilisation d'une seconde échelle qui découle de l'échelle précédente (chapitre 4). La principale différence vient du fait que nous estimons directement la criticité (importance de la relation) sans devoir la calculer par rapport son impact et son occurrence. Lors de la réalisation d'un cas test, les acteurs de TOTAL ont trouvé assez difficile d'estimer l'occurrence d'une relation du fait que celle-ci dépende de plusieurs critères (nombre d'aléas survenu, nombre d'acteurs au sein des groupes d'acteurs, organisation qui évolue souvent tous les 6 mois à 1 an du fait des « turnovers »,...).

Criticité de la relation : importance		Vulnérabilité				
		Maitrise				
		4	3	2	1	
1	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Tolérable	.+ ou - Tolérable	
2	Peu importante	Négligeable	Tolérable	.+ ou - Tolérable	A surveiller	
3	Importante	Tolérable	.+ ou - Tolérable	A surveiller	A surveiller	
4	Très importante	.+ ou - Tolérable	A surveiller	A surveiller	Inacceptable	

Maitrise : collaboration/ travail entre les acteurs	
4	Très bonne collaboration
3	Bonne collaboration
2	Mauvaise collaboration
1	Peu, voir pas de collaboration possible

Figure 51: Echelle de vulnérabilité liée aux acteurs

La matrice de la Figure 50 nous montre que celle-ci est symétrique au niveau qualitatif mais ne le sera pas au niveau quantitatif :

$$\text{Tolérable: } 3 / 4 = 0,75$$

$$\text{Tolérable: } 1 / 2 = 0,5$$

5.4. Aide à la décision pour regrouper les acteurs en fonction des phénomènes détectés

5.4.1. Traitement par clustering

Cette étape vise à améliorer la supervision et faciliter les prises de décisions coordonnées en créant des groupes internes ou interentreprises regroupant les interactions vulnérables et/ou les phénomènes complexes (par exemple des boucles) précédemment détectés. Même si certains groupes peuvent être composés seulement d'entités internes, l'ICG (Inter-Compagny Group), terme générique, sera utilisé dans le reste du document. En général, il est difficile de construire des ICG temporaires pour travailler sur des phénomènes complexes critiques en raison de la dispersion des interactions critiques. Les structures organisationnelles classiques (par phase, par objet produit, par site géographique) ne permettent pas toujours d'intégrer les interactions ou chaînes d'interactions les plus vulnérables à l'intérieur de leur périmètre.

Il y a donc un intérêt à chercher à les regrouper au sein de mêmes entités.

- Regroupement des éléments en fonction du niveau de vulnérabilité de leurs interactions. Par exemple, sur la Figure 50, l'interaction entre C et D (de D à C) est une itération possible, ce qui signifie que certaines choses dans la phase conceptuelle doivent être modifiées ou remaniées en raison de certains événements dans la phase de développement. Ces itérations (sous la diagonale) sont dangereuses parce qu'elles impliquent souvent des reprises/modifications du travail, des retards et des charges de travail imprévues pour les entités de la phase en amont (qui étaient censés avoir terminé leur travail sur ce projet). L'autre cas est une interaction séquentielle, au-dessus de la diagonale. La distance de la diagonale donne une idée de la distance temporelle entre les deux éléments. Par exemple, les interactions E-M modélisent une influence potentielle d'une activité dans la phase de développement et d'une activité de la phase de commissioning. Des interactions peuvent aussi être proches dans le temps, telle la L-M, où les deux éléments se produisent pendant la phase de commissioning.
- Les éléments sont regroupés suite à leur implication dans les phénomènes complexes, tels que les chaînes de propagation ou des boucles d'amplification. Il est suggéré de mettre les acteurs impliqués dans ces phénomènes ainsi que de communiquer et de coordonner leurs décisions. Le but est d'éviter ou au moins atténuer les éventuelles conséquences négatives indirectes de l'existence de ce phénomène. Par exemple, la Figure 50 montre une chaîne où les éléments D, C, F, K et N sont liés aux effets potentiellement amplifiés impactant les phases en aval de construction, installation et commissioning.

Les deux approches ci-dessus visent à discerner et combiner les deux aspects de la complexité (Maylor et al, 2013): la complexité structurelle (en référence au nombre et types d'éléments et leurs relations) et la complexité dynamique (en référence au comportement du projet). Le Clustering classique est plus orienté sur la complexité de la structure, la description statique des relations entre les éléments (nombre et la force), ce qui est déjà un élément clé pour prédire le comportement du système (Oehmen et al, 2015). Alors que l'introduction de phénomènes spécifiques liés au comportement dynamique, tels que les chaînes de propagation ou de boucles, est alors une originalité qui apporte un objectif complémentaire au cluster.

Afin de prendre en compte cet aspect dynamique nous implementons des contraintes supplémentaires aux algorithmes couramment utilisés au sein de notre laboratoire pour réaliser des clustering classique (Marle et Vidal, 2014), (Jaber et al, 2015). Ceux-ci maximisent au mieux le regroupement d'éléments fortement dépendants et éloigne les éléments indépendants au sein des clusters. Nos Algorithmes se basent sur :

- Des algorithmes liées au Design Structure Matrix (DSM) qui sont employées dans l'industrie comme :

- IGTA (Algorithme Idicula-Gutierrez-Thebeau) Component - DSM (Thebeau, 2001) ou l'algorithme ;
- Component – DSM et Strategic Drivers (Borjesson et al, 2014) ;
- La complexité de la coordination dans un projet de développement de produits (Yang et al, 2014).
- Des algorithmes employés au niveau de la modularité de l'architecture des produits (Mikkola et Gassmann, 2003).

Notre approche ne se situe pas au niveau des clustering de similarité (Filippone et al, 2008) qui représente une autre approche du clustering.

5.4.2. Clustering des éléments par rapport à leurs interactions

Le Clustering vise à proposer des groupes d'éléments, d'activités ou d'acteurs qui maximisent les résultats du taux d'interaction dans les limites du cluster, indépendamment de la nature, de la position de temps ou de la position géographique. Cela a prouvé avoir des effets positifs en raison de la construction aussi indépendante que possible des clusters. Des recherches antérieures dans d'autres domaines ont étudié les déterminants provoquant des défauts dans les produits (Aggarwal et al, 2007), (Burrows et al, 2010). Ils ont été classés en catégories intra-composant et inter-composant, les facteurs inter-composants se concentrant sur la modularité. Il a été démontré que, si un composant dépend d'autres composants ou non, il sera susceptible de présenter un faible niveau de défauts (MacCormack et al, 2008), (Briand et al, 1999), (Aggarwal et al, 2007).

De nombreuses approches existent pour résoudre le problème de clustering (Marle et Vidal, 2011), (Marle et Vidal, 2013), (Eppinger et Browning, 2012), (Jaber et al, 2015). Ils sont généralement basés sur une formulation de fonction objective avec une ou plusieurs contraintes qui visent à refléter l'intention de gérer dans le futur une structure organisationnelle remaniée. Plusieurs contraintes sont pertinentes, comme le nombre d'éléments maximal dans chaque cluster. En effet, un groupe de 20 éléments peut être difficile à mettre en œuvre et à gérer, en particulier si les éléments modélisés sont des acteurs. Lorsque les éléments sont gérés par des acteurs (responsables) ou affectés à des acteurs (contributeurs), tels que les activités et les résultats attendus, le nombre d'éléments n'est pas nécessairement égal au nombre d'acteurs qui sont impliqués dans ces éléments. La contrainte devient alors une version améliorée de la taille de cluster classique en incluant la conséquence indirecte du nombre d'éléments sur le nombre d'acteurs. La disjonction des clusters ou, plus largement, la possibilité pour un élément d'appartenir à un ou plusieurs groupes est également discutée. Encore une fois, la mise en œuvre peut être plus ou moins difficile si certains éléments (et donc les acteurs) sont affectés à de nombreux groupes en raison de l'effort et le temps requis. Cela est même un défi pour la visualisation des résultats si certains éléments sont simultanément inclus dans plus de 2 groupes. Bien que la visualisation puisse être considérée comme un objectif secondaire, il a été reconnu comme un facteur important pour faciliter la compréhension et même la coopération entre les acteurs qui sont impliqués dans des phénomènes qui peuvent submerger leur capacité cognitive (Killen et Kjaer, 2012).

Une illustration d'un résultat de Clustering sur l'exemple fictif est donnée à la Figure 51, avec des clusters disjoints et une taille de cluster maximale comprenant 5 éléments. Les phénomènes de la Figure 48 sont affichés avec l'organisation remaniée. Il est à noter qu'aucun d'entre eux n'est «naturellement» inclus dans les clusters, ce qui signifie qu'il y a eu d'autres interactions considérées aveuglément comme plus important par l'algorithme. Les configurations testées sont déterminées par trois paramètres: l'incorporation des phénomènes (Oui / Non), l'autorisation d'un chevauchement (Oui / Non), et le maximum autorisé concernant la taille de cluster. Les configurations sont appelées dans la suite en fonction de ces trois paramètres, par exemple, pour la première NN5 (Figure 52) pour (N : Aucune incorporation / N : Pas de chevauchement / 5 : Taille maximale de 5).

NN5 (63)	A	B	I	N	O	E	H	J	L	M	C	D	F	G	K
A	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
B	2	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
I	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
H	0	0	0	2	0	4	0	1	3	4	0	0	0	0	0
J	2	0	0	0	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
D	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
G	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	3	0	0
K	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0

Figure 52: Illustration de base ICG en cluster dans le petit exemple fictif (configuration NN5)

Comme le montre la Figure 52, même si les interactions ont été fixées dans la mesure du possible dans le périmètre du cluster, cela n'est pas le cas pour les deux phénomènes identifiés du cycle bleu et de la chaîne noire. Ce dernier est presque entièrement compris dans le groupe 3, mais seulement par hasard, et non pas à cause d'un paramètre de l'algorithme. 4 des 5 éléments impliqués dans cette chaîne sont simultanément liés à des interactions vulnérables, ce qui est la raison pour laquelle ils sont proposés dans le même cluster. Malheureusement, le dernier élément N, n'est pas dans le même groupe, même si elle est la conséquence finale en aval de la chaîne et son apogée. Dans certaines situations, le regroupement inclut naturellement plus ou moins des phénomènes complexes si elles sont caractérisées par des interactions vulnérables, qui ensemble tendent naturellement vers des éléments du groupe. Le contre-exemple est donné avec la boucle, où les phénomènes d'amplification sont caractérisés par des interactions de niveau intermédiaire (vulnérabilités tolérables), qui ne justifient pas de mettre des éléments dans le même cluster. La conséquence est que cette boucle est distribuée sur tous les groupes, exclusivement inter-limites. Le danger est que cette boucle d'amplification ne peut pas être correctement considérée par les acteurs qui possèdent ces éléments parce qu'ils ne sont pas regroupés, ni par l'organisation initiale ni par celle remaniée.

La stratégie alternative est d'essayer d'intégrer des phénomènes spécifiques au sein des clusters, en plus de l'objectif fondamental du regroupement par des interactions en fonction de leur criticité. Ceci est développé dans le paragraphe suivant.

5.4.3. Clustering par inclusion en prenant en compte les phénomènes complexes et dangereux

En terme descriptif de l'algorithme, l'inclusion d'une boucle ou d'une chaîne dans un cluster peut être réalisée grâce à l'ajout de plusieurs contraintes d'inclusion simultanées sur les éléments impliqués dans le phénomène. Une fois les éléments identifiés, ils doivent être mis ensemble dans un seul cluster. La sensibilité de l'algorithme est clairement liée à la structure de la matrice, le nombre, la longueur et éventuellement l'imbrication de plusieurs phénomènes. En effet, certains éléments peuvent être communs entre deux ou plusieurs phénomènes complexes. Il peut donc devenir impossible de satisfaire toutes les contraintes, notamment en raison de la contrainte de taille du cluster. D'une manière générale, il y a une certaine contradiction entre la tendance à augmenter la taille du cluster si les boucles et les chaînes sont incluses en eux et la volonté de les garder sous une taille raisonnable. Il existe plusieurs configurations de groupement de substitution:

- La contrainte de disjonction est maintenue, ce qui signifie que les éléments sont en un seul cluster à la fois. Deux tailles maximales sont testées, 5 et 7 (configurations YN5 et YN7), affichées sur la Figure 53 et Figure 54, respectivement.

YN5 (37)	B	I	O	A	G	H	J	M	E	L	D	C	F	K	N
B	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
O	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
A	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
G	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	3	0	0
H	0	0	0	0	0	0	1	4	4	3	0	0	0	0	2
J	0	0	2	2	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0
C	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 53: Matrice remaniée avec la contrainte disjonctive et la taille maximum de 5 (configuration YN5)

YN7 (52)	B	I	O	A	E	H	J	L	M	G	C	D	F	K	N
B	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
O	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	4
E	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	4	0	1	3	4	0	0	0	0	0	2
J	0	0	2	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	3	0	0
C	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
D	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	3
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 54: Matrice remaniée avec la contrainte disjonctive et la taille maximum de 7 (configuration YN7)

- La contrainte de disjonction est supprimée, et la taille maximale est de 7 (configuration YY7). Certains éléments sont "entre" plusieurs clusters, ce qui signifie qu'en fonction des paramètres de la configuration, ils peuvent être attribués à un cluster ou un autre. Il est également possible de leur permettre d'être affectés à plus d'un cluster. Cela suppose le maintien d'un nombre raisonnable de missions et le nombre d'éléments avec des affectations multiples, encore une fois pour la mise en œuvre pratique. La configuration obtenue est un peu différente, comme indiqué dans la Figure 55, où trois éléments sont proposés comme des chevauchements: N, A et G.

YY7 (74)	N	B	I	O	A	E	H	J	L	M	G	C	D	F	K	N
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
I	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
A	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
H	2	0	0	0	0	4	0	1	3	4	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0	2	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	3	0	0
C	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
D	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	3
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 55: Deuxième version de l'organisation permettant le chevauchement des clusters (YY7)

Pour donner un élément de comparaison, deux autres configurations sans incorporation de phénomènes ont été testées, avec ou sans chevauchement, avec une taille maximale de 7 (respectivement NN7 et NY7). Le Tableau 10 présente les paramètres et les résultats pour toutes les configurations testées.

Tableau 10 : Comparaison des clusters ICG proposés dans de multiples configurations

Category	Parameter / Indicator	Initial	NN5	YN5	NN7	YN7	NY7	YY7
Problem parameters	Allowed Max Cluster Size	N.A.	5	5	7	7	7	7
	Incorporating Phenomena	No	No	Yes	No	Yes	No	Yes
	Allowing Overlap	No	No	No	No	No	Yes	Yes
Results	Total interactions within boundaries	18	63	37	64	52	77	74
	Percentage of interactions within boundaries	21%	73%	43%	74%	60%	90%	86%
	Actual Max Cluster Size	4	5	5	6	7	7	7

Trois conclusions peuvent être tirées : premièrement, la sensibilité à la taille de cluster est présente, mais pas si importante dans ce cas. A savoir, l'écart entre NN5 et NN7 est seulement d'un pour cent. L'incorporation peut ajouter des contraintes qui rendent la solution avec MCS = 7 (YN7) pire que la solution optimale avec MCS = 5 (NN5). Encore une fois, plus la taille maximale du cluster est importante, plus petit est l'écart, car de plus grands groupes permettent l'incorporation plus facile des phénomènes et d'autres interactions intéressantes. Enfin, l'influence la plus forte est l'allocation de chevauchement puisqu'elle favorise à la fois l'inclusion générale des interactions et l'inclusion spécifique des phénomènes détectés. Enfin, l'allocation de chevauchement et une taille de cluster suffisamment grande compensent l'influence négative de l'incorporation obligatoire de phénomènes spécifiques au sein des clusters.

Ces premiers résultats montrent qu'il est possible, dans certaines circonstances initiales, de combiner les objectifs tout en maximisant l'intégration des interdépendances au sein des clusters et l'intégration de phénomènes liés à la complexité spécifiques. Les deux sont compatibles en termes d'implications managériales, car ils visent à mieux coordonner les actions et décisions. Toutefois, ils peuvent être incompatibles en termes de conflit dans les contraintes s'il y a trop de phénomènes dangereux ou si elles sont très complexes. Dans ce dernier cas, si un élément est impliqué dans deux phénomènes, la possibilité de le mettre en deux groupes permet une certaine flexibilité, car la taille de cluster ne sera pas si élevée.

5.5. Application à un cas test industriel : le projet Pazflor

L'approche a été appliquée post-mortem à un grand projet offshore. Les données ont été anonymisées. La zone d'exploration comprend 4 réservoirs sous-marins situés à environ 40 km de la côte d'un pays d'Afrique occidentale, à 200 km de la base à terre, et entre 600m et 1200 m de profondeur d'eau. La date de livraison du projet était de 44 mois, pour un niveau d'environ 200.000 barils de pétrole par jour, et un plusieurs milliards de dollars du budget de production. Le (Floating Production, stockage et de déchargement) FPSO l'installation était le plus grand du monde, avec un réseau sous-marin complexe, sur une 600 km carrés. Une innovation a été introduite, permettant de séparer le gaz sur le fond marin et de pomper les liquides jusqu'à FPSO. Cette technologie innovante est indispensable pour surmonter le principal défi du projet : la production du pétrole lourd, visqueux à partir des réservoirs du Miocène, qui représente les deux tiers des réserves. Un grand nombre de nouvelles technologies ont fait leurs preuves grâce à ce projet et sont maintenant à la disposition de l'industrie pétrolière dans le monde entier.

5.5.1. Analyse et suivi de la vulnérabilité des phases de contractualisation et d'exécution

5.5.1.1. Contractualisation

L'analyse de la phase contractualisation permet d'estimer si celle-ci est vulnérable ou non. Plus sa vulnérabilité sera importante plus l'entreprise TOTAL devra prendre des mesures préventives et/ou correctives afin de limiter/maitriser voir supprimer les éventuels risques. Cette analyse est primordiale car si celle-ci la contractualisation est mal réalisée alors la définition de la stratégie contractuelle risque d'être mal élaborée et donc engendrer d'autres risques lors de la phase d'exécution.

Afin de calculer la vulnérabilité générale de la phase de contractualisation nous effectuons une moyenne de l'ensemble des vulnérabilités. La vulnérabilité de cette phase est donc environ égale à 1,6.

Risques & Contraintes		Phase contractualisation à la validation SC
Fournisseur (EPC Contracteur)		1,6
R24	Economie et Finance de l'entrepreneur (Bankruptcy)	
R27	Absence de contrôle de la responsabilité (entrepreneur en cascade)	
R28	Risque du fournisseur de se conformer aux contrats	0,67
R29	Attractivité de l'entreprise vis-à-vis des fournisseurs et investisseurs	
R30	Qualification des fournisseurs	
Organisation (EPC Contracteur)		
R31	Risque humain (Compétences, Expériences et Motivations) - Skills & Competences	
R32	Difficulté à mobiliser des ressources (Concurrence des ressources entre projets, surcoût des salariés, opérations simultanées) - Mobilization/Demobilization	
R33	Risque information (Quantité, cohérence, portée...) - Information management (Documentation, Data, Communication)	2
R34	Perte de décision (Capacité à prendre de bonne décision au bon moment, réagir et réorganiser, interfacer, mauvaise gestion des risques, mauvaise prise en compte du retour d'expérience, Attitude contractuelle (flexibilité dans le changement, réactivité face aux demandes du client, attitude face aux litiges)) - Project Management	
R35	Management des ressources (Localisation des équipes, Cohésion des chantiers, Charge de travail, planification des tâches et ressources)	
Pays hôtes		
R36	Non acceptation communauté pays hôte (Par de valorisation d'emploi, Faible pourcentage de paid de l'équipement fabriqué, Par de développement des compétences, Media & Proze, ONG, distribution des richesses, Mauvaise gestion des ressources du pays hôte, Anticipation insuffisante des exigences de la part de TOTAL) - Public Acceptance (Composition plan, Media, Local community, NGOs)	
R37	Non approbation pays hôte : gouvernement (Par de recours aux marchés des fournisseurs locaux, Par d'utilisation de la base industrielle locale, Par de transfert technologique, Les exigences de TOTAL ne sont pas optimisées, Mauvaise gestion des ressources du pays hôte, Anticipation insuffisante des exigences de la part de TOTAL)	
R38	Local Government (Political stability, corruption, politicians influence, conflict of interest? Guerre & Terrorism)	1,33
R39	Juridique & Règlementaire (Efficacité et maturité du système juridique) - Regulation and Law (Stability, election, referendum, change in tariff, quota...)	
R40	Political (Permit, Visa & Work permit, Authorities approval, Fiscal (taxation rates, applicable allowances...), Immigrant, taux de chômage...)	
R41	Impartition d'un ou de fournisseurs par le Pays hôte	
R42	Les exigences du Pays hôte sont trop strictes	
R43	Localisation: Sal (Forage), Mar, Site protégé & réglementé	
R44	Mauvaise condition atmosphérique et/ou marine - Environment (Atmospheric condition, Sea condition, Flora and Fauna, Pollution, Contamination, Waste, Natural Hazards)	
Marché		
R45	Type de marché (Monopoliste, Concurrentiel, Marché en déclin, Marché concurrencé par les méthodes présumées...)	
R46	Mauvaise gestion des achats de la part de TOTAL (analyse des achats par rapport aux fournisseurs, difficulté à prioriser les achats, mauvaise répartition des dépenses, Mauvaise analyse des indicateurs de coût [Décomposition des prix fournisseurs], Méconnaissance des enjeux des familles d'achats, mauvaise identification des parties prenantes à chaque étape du processus achats...)- EPC, LLI	2
R47	Mauvaise gestion des achats de la part du fournisseur	
R48	Mauvaise synergie entre entité de TOTAL par rapport aux fournisseurs	
R49	Business (Evolution des prix, Effet de volume) - Market/Commercial (Business Cycle, Market Situation, Volume capacity)	
Contractuels (survenant en phase contractualisation majoritairement)		
R50	Nombre de contrat constituant l'attelage contractuelle	
R51	Définition du périmètre et des responsabilités entre l'entreprise et ses contracteurs (visibilité...)	
R52	Financier (Mauvaise couverture par rapport aux assurances, crédits) - Financial (Credit, Insurance, Cash Flow Management)	2
R53	Risque (Echange rate, Inflation, Interest rates)	
R54	Enjeux contractuels obligatoires contractants	
R55	Appel d'offre (mauvaise préparation, mauvaise suivi, Critère de sélection des fournisseurs, Mauvaise relation des fournisseurs [Recommandation au auard "RTA"]...)	
R56	Approbation d'un contrat par client, reflétant un différend ou une question (Mauvaise rédaction du contrat)	

Figure 56 Vulnérabilité générale de la phase de contractualisation

La phase de contractualisation est estimée vulnérable et nécessite une attention toute particulière. Si notre analyse aurait été effectuée lors du développement du projet, nos conseils auraient porté principalement sur le fait d'équilibrer les rapports de forces entre TOTAL et ses contracteurs. Pour cela, il est important pour TOTAL de :

- Chercher à bien comprendre le marché afin de ne pas créer eux même l'oligopole voir le monopole à leur contracteur (réalisation de contrats clé main : « gros contrat », réaliser ces contrats par le biais de deux contracteurs, ne pas offrir la possibilité à d'autres contracteurs de rentrer sur le marché, ...) ;
- Chercher à améliorer la collaboration avec les contracteurs en cherchant la solution « gagnant – gagnant ».

5.5.1.2. Exécution

Les vulnérabilités initiales de la phase d'exécution du cas test Pazflor (focalisées sur le FPSO et ses interfaces) (Figure 57), qui correspondent aux vulnérabilités des cellules (voir contrat) de la stratégie contractuelle, sont définies lors de la phase de contractualisation. Le but de cette analyse et d'étudier l'évolution des différentes vulnérabilités afin d'adapter les ressources disponibles et le niveau de surveillance sur les zones contractuelles risquées.

Scénario B		Ph.1 Basic Engineering			Ph.2 Detail Engineering			Ph.3 Procurement			Ph.4 Fabrication / Integration / Tests			Ph.5 Transportation to SITE			Ph.6 Installation (Offshore) / Pré COM			Ph.7 Commissioning		
		Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	Output	Input	Internal	
FPSO	Riser Pull-in System														NA			NA				
	Topsides																					Subcontractors CECELEU
	Hull			SOFRESID																		
	Mooring																					
	Tandem Offloading														NA			NA				
OLS	OLS, OOL...																					
SSPS	PCM and HPU modules																					
	SSU Umbilicals																					IEPA & Assistance from Contractors
SURF	No SSU Umbilicals																					
	Riser																					

Figure 57: Stratégie contractuelle évaluée d'une manière générale (vulnérabilité) – Contracteur DSME

Après estimations de cette stratégie contractuelle, nos conseils auraient porté sur la surveillance des interfaces entre les acteurs liés au projet (contracteurs, Pays hôte, partenaires,...) et les acteurs à mettre en avant lors de prises de décisions importantes. Pour cela, nous proposons de réaliser deux étapes : 1) Modélisation et projet d'analyse des éléments et de leurs interactions, 2) Traitement par clustering.

5.5.2. Pilotage de la contractualisation / Acteurs cruciaux pour les décisions

Après avoir analysé la vulnérabilité de la phase de contractualisation, nous analysons les relations entre les acteurs liés à cette phase afin de mettre en avant les collaborations vulnérables. Celles qui seront estimées les plus vulnérables permettront de mettre en avant les acteurs les définissant. Ceux-ci seront en charge de la surveillance et de prise des décisions lors de la phase de contractualisation.

Pour cela, nous avons identifié conjointement avec les acteurs de l'entreprise TOTAL, une vingtaine d'acteurs ayant une importance durant cette phase. Les acteurs retenus sont aussi bien des acteurs internes à l'entreprise TOTAL mais aussi externe. Il est important d'inclure les acteurs externes (tel que par exemple le Pays Hôte) car ils sont des acteurs clés du projet et de son environnement.

La matrice ci-dessous (Figure 58) représente les vulnérabilités des relations entre acteurs de la phase de contractualisation. Les résultats sont définis à l'aide de l'échelle de vulnérabilité. Cette matrice est symétrique du fait que l'on estime que si un acteur communique avec un autre alors l'autre communique nécessairement avec l'autre. Afin de justifier ce choix nous nous appuyons sur (Watzlawick and al, 1972) qui explique que « l'on ne peut ne pas communiquer ». La matrice étant symétrique, les valeurs des interactions sont identiques qu'elles se situent en haut ou en dessous de la diagonale.

	TOTAL - Support siège Exploration (EXPLO)	TOTAL - Support siège Gisement (GIS)	TOTAL - Support siège forage (FP)	TOTAL - Support siège étude de développement (ED)	TOTAL - Support siège projet & construction (PJC)	TOTAL - Support siège exploitation (EXP)	TOTAL - Support siège contrat & achat (CA)	TOTAL - Support siège logistique (LSO)	TOTAL - Support siège HSE	TOTAL - Direction filiale TOTAL	TOTAL - Acteurs Filiale Sociétal	TOTAL - Acteur Filiale Field Ops (Exploitation - EXP)	DORIS (Contracteur Basic SURF et SSPS)	SOFRESID (Contracteur Basic FPSO et OLS)	Autorités du Pays hôte	Société civile du Pays hôte	SONANGOL	Partenaires (Statoil, BP, ExxonMobil)
TOTAL - Support siège Exploration (EXPLO)	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL - Support siège Gisement (GIS)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL - Support siège forage (FP)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL - Support siège étude de développement (ED)	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL - Support siège projet & construction (PJC)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL - Support siège exploitation (EXP)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL - Support siège contrat & achat (CA)	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL - Support siège logistique (LSO)	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL - Support siège HSE	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL - Direction filiale TOTAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL - Acteurs Filiale Sociétal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL - Acteur Filiale Field Ops (Exploitation - EXP)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
DORIS (Contracteur Basic SURF et SSPS)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
SOFRESID (Contracteur Basic FPSO et OLS)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Autorités du Pays hôte	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Société civile du Pays hôte	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
SONANGOL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Partenaires (Statoil, BP, ExxonMobil)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Figure 58: Illustration de la matrice de vulnérabilité des relations entre acteurs de la phase de contractualisation

Remarque: A l'aide de cette matrice, il est possible de représenter les deux critères représentant la vulnérabilité d'interaction entre deux acteurs : la criticité (importance de la relation) et la maîtrise (capacité à collaborer ensemble). Pour cela, il suffit par exemple d'estimer la criticité sur les cellules au dessus de la diagonale et la maîtrise sur les cellules en dessous de la diagonale de la matrice.

De cette matrice, nous pouvons déduire qu'il y a principalement 5 acteurs importants liés à la phase de contractualisation du fait de leurs vulnérabilités:

- PJC (Projet & Construction – Support siège);
- ED (Etude & Développement – Support siège);
- CA (Contrat & Achat – Support siège);
- SONANGOL (Entreprise publique chargée de l'exploitation et de la production de pétrole et de gaz naturel en Angola - acteurs externes);
- Partenaires (acteurs externes).

Les deux acteurs principaux ayant le plus de poids dans l'élaboration de la stratégie contractuelle sont PJC et SONANGOL. L'importance de SONANGOL a pu être perçue lors de la validation du contracteur pour le contrat FPSO. L'entreprise TOTAL a favorisé le contracteur HHI alors que SONANGOL favorisait DMSE. DMSE a été le contracteur retenu suite à la négociation.

Afin d'améliorer la maîtrise de la phase de contractualisation, nous conseillons de créer un groupe composé des 5 acteurs cités ci-dessus. Ce groupe a pour avantage de créer de la reliance entre ces acteurs et donc de limiter l'éloignement entre eux. Afin que le groupe soit performant, nous conseillons aux acteurs de mettre en avant 5 points:

- Les sources et les interactions risquées afin de comprendre qui sont les acteurs concernés; L'analyse des interactions permet en plus d'analyser la collaboration, de comprendre le jeu d'influence qui peut y avoir entre les acteurs.

- Les niveaux/importances des objectifs afin d'optimiser la cohérence entre les acteurs;
- Les marges pouvant être prises et les évolutions prévisibles afin d'adapter les solutions au court et moyen terme;
- Les résultats à atteindre afin de définir des réponses pertinentes;
- Les acteurs sources et les acteurs pouvant être un frein afin de gérer aux mieux les résistances.

5.5.3. Pilotage de l'exécution du projet / Collaboration entre acteurs

5.5.3.1. Etape 1 : Modélisation et projet d'analyse des éléments et de leurs interactions

L'organisation du projet se décompose sous la forme d'un organigramme, où le premier niveau est le chef de projet et le second niveau correspond au responsable de package. Entre ces deux niveaux sont intégrés les acteurs en soutien des projets de l'entreprise opératrice TOTAL: responsable des risques, responsable du contrôle projet, responsable assurance qualité, etc. D'autres acteurs sont plus ou moins liés au projet et plus précisément avec les petits contrats: les entrepreneurs et les sous-traitants de différents forfaits, les organisations non gouvernementales (ONG), le gouvernement et les communautés environnantes du pays hôte, les partenaires du secteur du pétrole et du gaz, etc. Les équipes étaient principalement situées au siège de la gestion du projet et à proximité des installations des entrepreneurs ou du siège pour les différents forfaits. Par exemple, les bureaux d'études peuvent être dans un endroit et les installations de fabrication dans un autre, ce qui signifie que les équipes de supervision de la société d'exploitation devraient être à différents endroits à différents stades. Le groupe PJC est défini comme étant le PMO (Project Management Office). Néanmoins, aucun ICG (Inter-Group Companies) ne fut élaboré. De nombreuses informations ont été échangées et de nombreuses actions ont été menées entre les différents acteurs: l'équipe de gestion de projet et le Siège, l'équipe de gestion de projet et l'administration centrale de la filiale, l'équipe de gestion de projet et le pays hôte, et l'équipe de gestion de projet et les partenaires. Les exigences et livrables ont été associés avec les principaux intervenants (société, pays d'accueil) et les objectifs clés, tels que le coût, le temps, la production et H3SEQ (santé-sécurité-sécurité-société-environnement-qualité). Les activités ont été structurées suivant la répartition Forfaits x Phases et assemblées dans les contrats. Les acteurs ont été structurés au niveau département dans l'entreprise (département de projet, filiales, management des risques et d'interface, etc.) et au niveau de l'organisation pour les acteurs externes (Autorité Pays Hôte, communautés locales, contracteurs, sous-traitants clés).

Les interactions entre éléments de la matrice ALEAI (Figure 59) ont été estimées. Pour les interactions hétérogènes entre les éléments de différents types, il a été jugé suffisant pour indiquer leur existence. Les défis sont dans les DSMs carrés et dans la manière dont les éléments homogènes sont organisés. La matrice Multi-Domaines obtenue est assez grande (112 éléments), avec une densité de 22% (cellules non nulles), ce qui est assez élevé. En effet, certains acteurs agissent en tant que « hubs », étant reliés à de nombreux autres acteurs et activités.

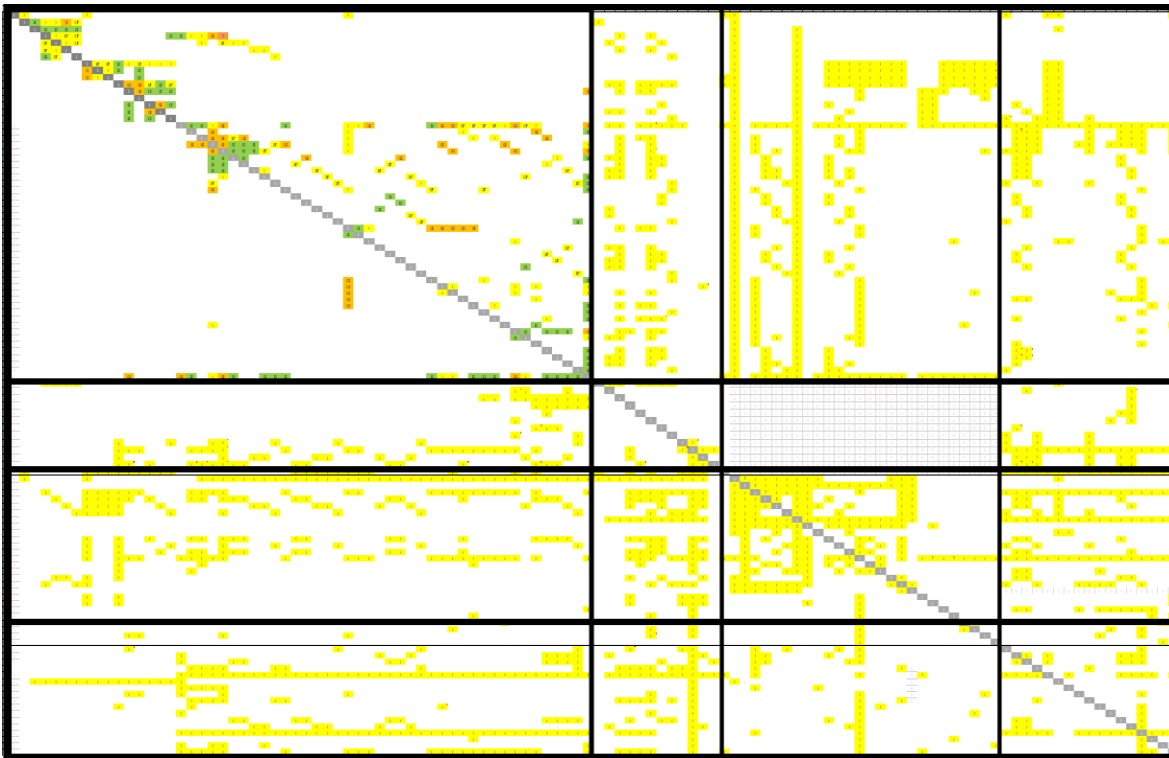


Figure 59: Matrice ALEAI du cas Pazflor focalisé sur le FPSO et ses interfaces

De multiples chaînes et des boucles ont été détectées. Un extrait est affiché sur la section Acteur-Acteur de la matrice ALEAI, avec 2 chaînes et 2 boucles avec possibilité dangereux et / ou des effets d'amplification (Figure 60).

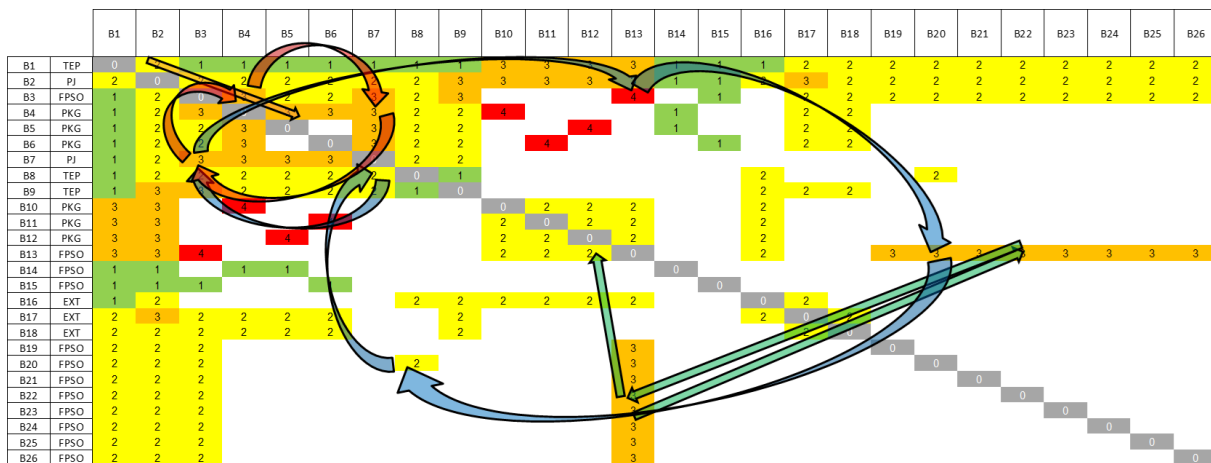


Figure 60: Illustration des phénomènes dangereux identifiés au sein des matrices acteurs/acteurs

La configuration initiale a été organisée par paquets, puis par contrats. Par exemple, B3 est le gestionnaire du package FPSO, B13 est l'entrepreneur principal et B20, B22 et B23 sont (entre autres) des sous-traitants (responsables de la prestation d'un morceau de l'équipement ou pour faire une partie du processus). La Figure 60 illustre les interactions incluses dans les 2 boucles et les chaînes (en rouge). Il montre également les interactions critiques (respectivement des valeurs de 4 dans la Figure 61 en noir, et les valeurs de 3 en bleu clair).

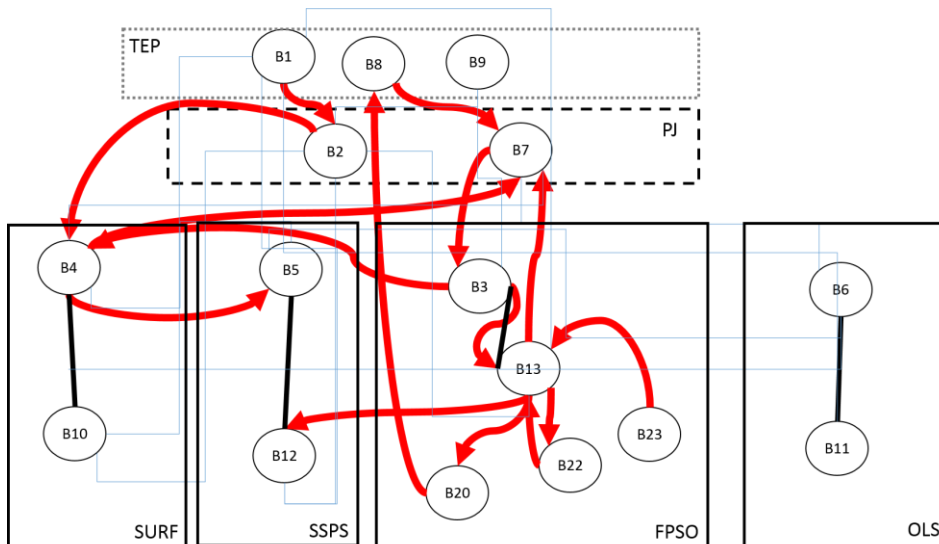


Figure 61: Illustration des principales interactions dans la configuration de l'organisation initiale

Comme le montre la Figure 60 les phénomènes complexes (en rouge) impliquent des acteurs qui sont dans plusieurs entités organisationnelles, situés sur des sites différents, peut-être même sur les différents continents. Cela signifie que la gestion de ces longues chaînes ou des boucles dépendent de la coordination des intérêts différents et potentiellement contradictoires. Le paragraphe suivant présente les conséquences du regroupement sur la gestion de ces phénomènes.

5.5.3.2. Etape 2 : Traitement par clustering

Le regroupement avec inclusion ou non des phénomènes dangereux détectés a donné les résultats suivants. Comme expliqué précédemment, plusieurs configurations sont possibles, avec l'incorporation de phénomènes complexes ou non, avec ou sans contrainte de disjonction, et avec différentes tailles de cluster. Les détails ne sont pas inclus ici, mais il y avait des solutions possibles multiples, avec des inconvénients et des avantages. La Figure 62 montre la solution retenue, qui permet le chevauchement entre les 3 groupes proposés, étant donné que certains acteurs ont été impliqués dans plus d'un phénomène (B3 et B7 pour les boucles 1 et 2, B13 pour la boucle 2 et de la chaîne 2, B4 pour la chaîne 1 et la boucle 1). Ensuite, l'objectif secondaire d'inclure autant que possible les interactions critiques (valeurs de 4, puis 3) a ajouté la nécessité de mettre B5 simultanément dans C1 (car il appartient à la chaîne 1) et C3 (car il est fortement lié à B12).

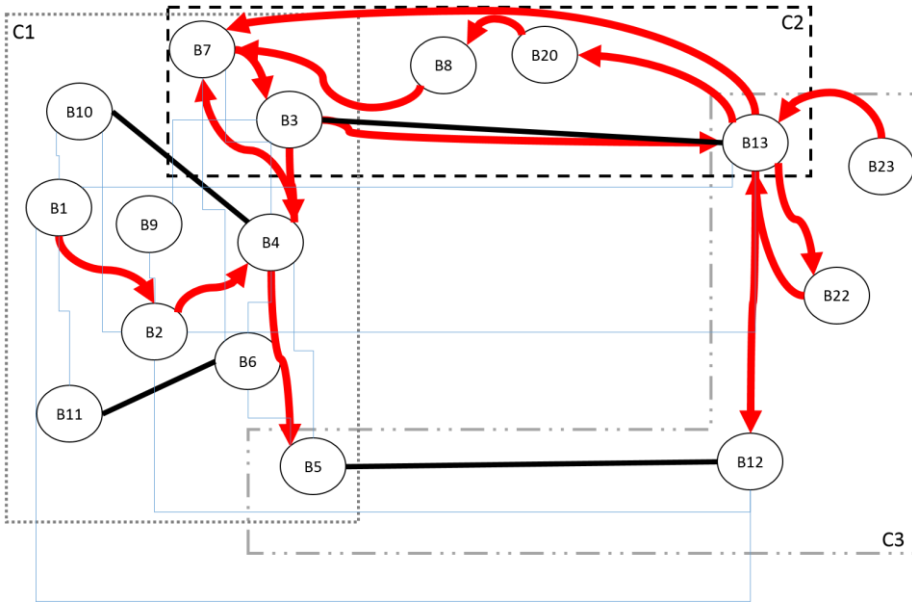


Figure 62: Illustration de la configuration de clustering choisie

Les avantages organisationnels sont illustrés dans les quatre figures suivantes, 63-66, montrant la différence entre la formation initiale et la configuration en cluster. Par exemple, pour la chaîne 1, elle devait être gérée par des acteurs en quatre entités organisationnelles séparées (même si les forfaits sont bien sûr inclus dans le projet PJ, ils sont gérés comme un projet).

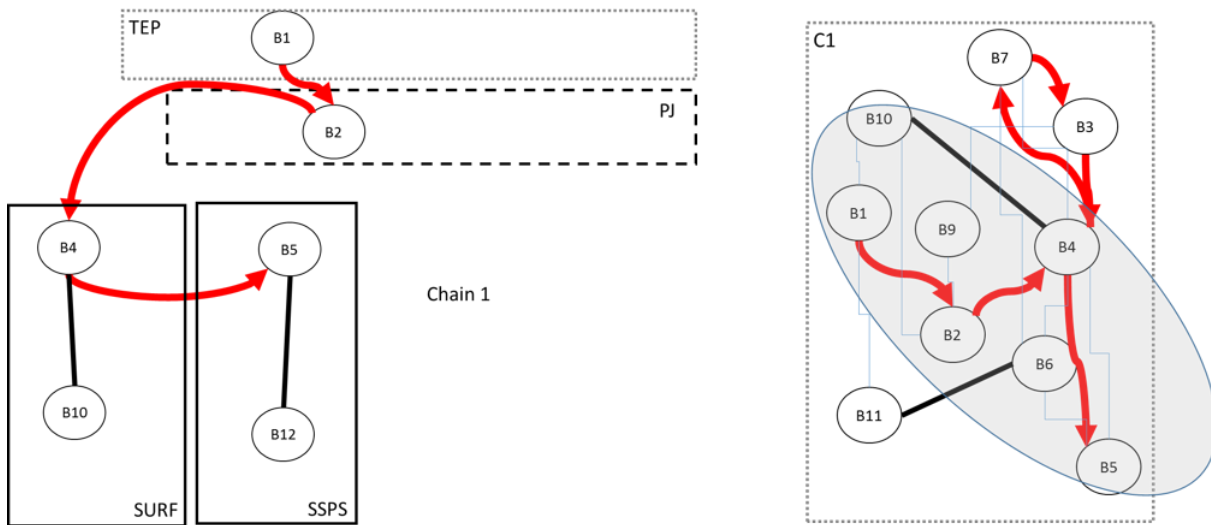


Figure 63: Comparaison des configurations initiales (à droite) et en cluster (à gauche) pour la chaîne 1

En outre, un cluster C1 permet simultanément de gérer la boucle 1 (B4-B3-B7), qui a été initialement divisé en trois entités (Figure 64). Ceci est d'autant plus important pour les boucles, qui sont des phénomènes qui peuvent éventuellement se produire plus d'une fois.

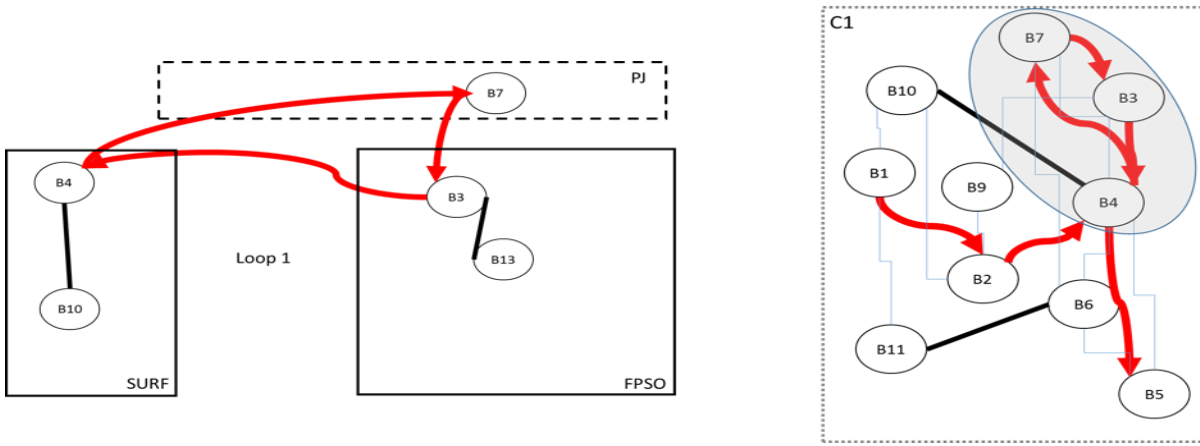


Figure 64 : Comparaison des configurations initiales (à droite) et en cluster (à gauche) pour la boucle 1

Une analyse similaire peut être fait avec la boucle 2, avec 2 acteurs déjà impliqués dans la boucle 1 (acteurs B3 et B7), et trois entités organisationnelles (Figure 65).

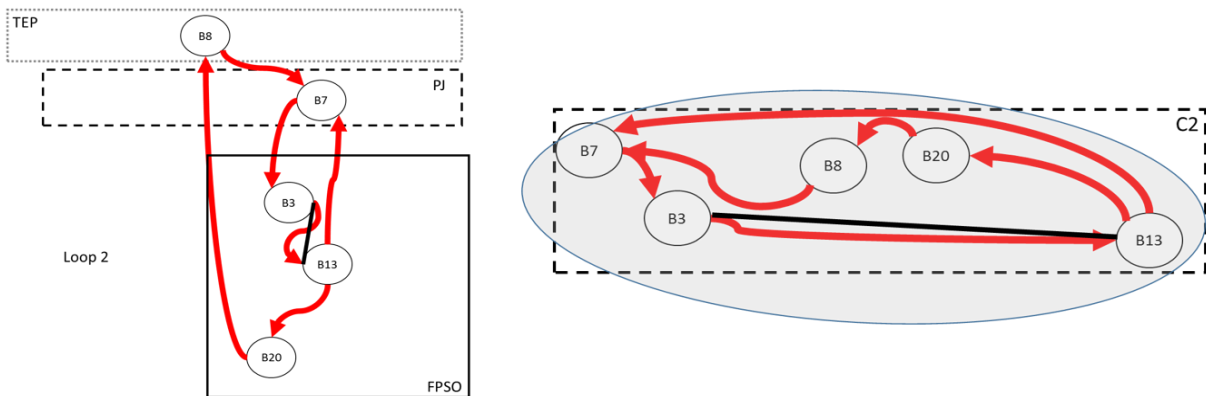


Figure 65: Comparaison des configurations initiales (à droite) et en cluster (à gauche) pour la boucle 2

Le dernier phénomène, la chaîne 2, est moins critique car elle était déjà presque incluse dans l'unité d'organisation unique package FPSO. La seule différence, mais qui pourrait devenir un phénomène surprenant et indésirable, est la conséquence d'un autre paquet, SSPS, avec B12. Le fait d'inclure la connexion entre ces deux paquets en cluster C3 pourrait empêcher les dommages potentiels, non seulement dans le package FPSO, mais ailleurs en dehors de ce paquet (Figure 66).

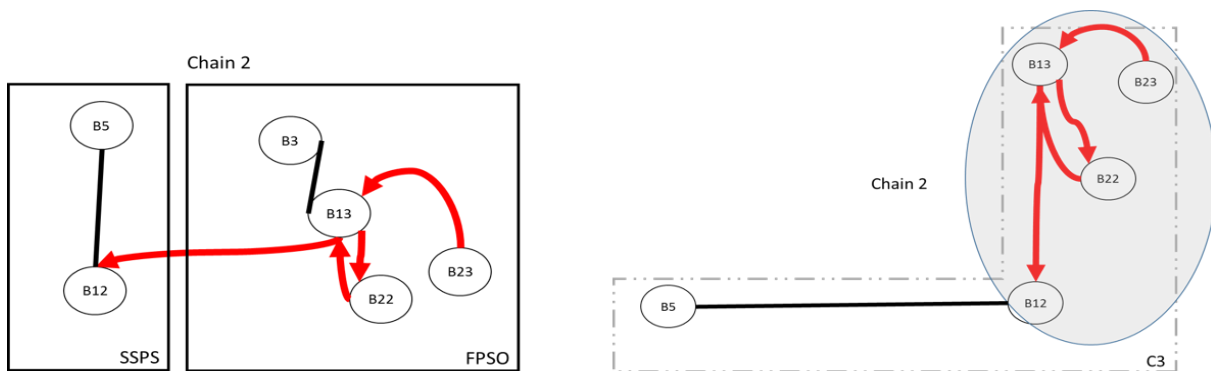


Figure 66: Comparaison des configurations initiales (à droite) et en cluster (à gauche) pour la chaîne 2

5.5.3.3. Etape 3 : Nouvelle vision élaboration groupe de supervision

Dans le chapitre de l'état l'art académique nous avons stipulé que la tendance des entreprises est de créer une multitude de groupes de supervision afin d'améliorer le management des acteurs du projet. Néanmoins, cela est-il vraiment efficace ? Plus les groupes de supervision sont nombreux, plus on augmente les interfaces entre ces groupes et le projet, plus la difficulté à manager les acteurs est importante ?

Afin de répondre à cette contrainte de supervision, nous proposons de se baser sur les résultats du clustering de la matrice des interactions entre acteurs (Figure 67).

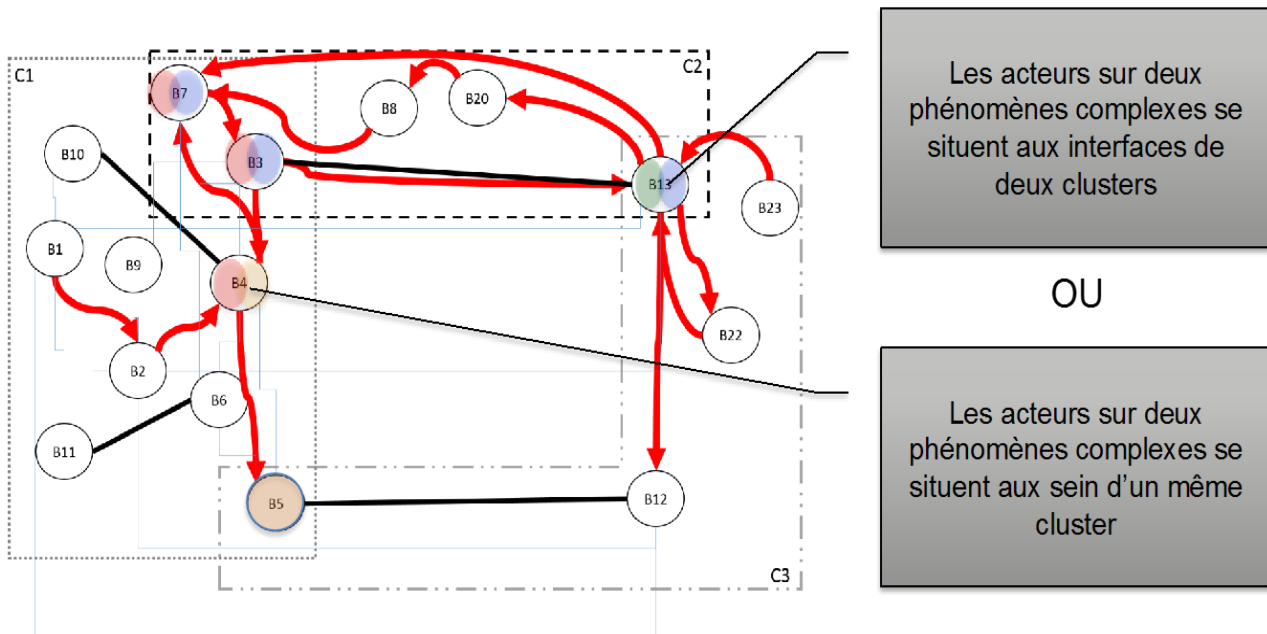


Figure 67: Illustration des membres intégrés dans le groupe de supervision

Nous recherchons les acteurs les plus vulnérables du fait qu'un acteur se situe :

- Sur une interaction vulnérable de niveau 4 ;
- Sur au moins un phénomène complexe ;
- A l'intérieur d'au moins deux clusters.

Par rapport, aux résultats (Figure 67), les acteurs constituant le groupe de supervision sont les suivants : B3, B4, B5, B7, B13. Cette constitution permet au groupe de supervision d'améliorer les prises de décisions du chef projet en se focalisant sur les dangers majeurs du projet tout en faisant collaborer les acteurs en charge de ceux-ci en les regroupant dans un même groupe. Un point important de cette structure est le fait que les acteurs constituent ce groupe ne sont pas obligatoirement des acteurs ayant une position hiérarchique importante au sein du projet mais plutôt les acteurs les plus vulnérables.

Les autres avantages de notre proposition sont :

- Eviter la création de groupes PMO, ICG ou autres ;
- Limiter les efforts de supervision des interactions entre groupes ;
- Eviter les tâches de supervision réalisées en doublons ;
- Savoir d'une manière plus précise qui impact/influence qui et comment éviter/limiter la survenue des risques ;
- Limiter les ressources humaines et financières liés à cette supervision.

5.5.4. Discussion et application managériale

L'exploration des projets a posteriori est toujours difficile, car une analyse de risques a posteriori peut être biaisée par la trajectoire réelle et la connaissance de ce qui est arrivé. Toutefois, l'exploration des projets en cours est pas simple non plus, car il est toujours impossible de comparer deux projets identiques avec / sans l'approche testée. Aucun placebo ne peut être expérimenté dans le cas d'un projet de développement coutant plusieurs milliards de dollars, et deux projets ne sont jamais strictement identiques. La décision a été prise avec les décideurs de l'entreprise TOTAL de mettre en œuvre l'approche sur un projet passé (cas Pazflor) sur lequel beaucoup d'informations étaient disponibles, y compris des informations sur les risques et la façon dont ils ont été gérés, ou non.

Les acteurs ont confirmé a posteriori l'importance de ces phénomènes et leur influence possible, que certains éléments étaient dans la section «ferait différemment» du rapport close-out ou dans leurs propres conclusions de cette expérience.

Ce travail est connecté à plusieurs aspects de la gestion d'un tel projet. Par exemple, Watt et co-auteurs ont souligné la nécessité d'identifier la capacité des entrepreneurs à collaborer et à anticiper à long terme et sur des limites des phénomènes (Watt et al, 2009). Badenfelt fait valoir qu'un comportement de collaboration peut avoir un impact positif sur les résultats projet, en particulier dans le cas des contrats incomplets (Badenfelt, 2011). La situation normale est d'avoir une incertitude dans chaque contrat au moment de sa signature, bien qu'il ne soit pas toujours considéré comme incomplet. Ce travail a aussi un lien avec la planification et la gestion du projet, qui est d'aider l'anticipation des perturbations. Il intègre les éventuelles perturbations dues à des phénomènes complexes, tels que les chaînes de propagation et des boucles d'amplification, pas seulement dans le management des risques du projet, mais aussi dans la gestion de l'organisation du projet, qui a été reconnue comme essentielle au succès du projet (Kuster and al, 2009); (Zhu, et AL, 2004), (Van Marrewijk et al, 2008). Ce travail introduit la possibilité d'avancer un peu plus loin en considérant les parties prenantes, non seulement en les analysant, mais en facilitant leur coordination locale sur les questions mondiales (Jepsen et Eskerod, 2009). Ce document est une façon d'organiser la coordination distribuée aux niveaux inférieurs (Ahern et al, 2013), quelque part entre la vision top-down aveugle (ou au mieux myope) et le bottom-up d'auto-organisation, avec d'éventuelles erreurs dues au manque de vision de haut niveau et des relations indirectes avec des éléments qui sont éloignés (en termes de temps, les frontières organisationnelles et contractuelles, et la géographie). Nous soutenons que l'organisation est là où la communication et la coordination peuvent se faire plus efficacement qu'une seule analyse fondée sur une liste de 500 cents risques analysés par un gestionnaire de risque unique. La conséquence souhaitée est d'aider à générer un plan solide qui garantit la date d'échéance du projet. Cette analyse, basée sur la modélisation réseau, peut être connectée avec des techniques de planification du réseau d'activités classiques et avancées en permettant des tampons d'être plus précise et exacte estimée (Rand, 2000), (Chun-chao, 2008).

5.6. Conclusion du chapitre

Ce chapitre propose une structure organisationnelle du projet complémentaire sur la base de l'objectif de la coordination de multiples et diverses acteurs impliqués dans des éléments multiples et diverses à de multiples points dans le temps. Ce besoin de détecter les phénomènes potentiels associés à la complexité du projet, en anticipant leurs conséquences potentielles et de coordonner les décisions concernant les stratégies de traitement, est le plus important du fait que, dans les projets de développement pétrolier, l'organisation est basée sur de nombreux et divers acteurs liés à des relations contractuelles.

Cette structure vise à prendre en compte la vulnérabilité (force) des relations entre les éléments du projet, et donc entre les acteurs qui contribuent à ces éléments, en tant que contributeurs ou gestionnaires. En outre, elle se concentre sur les phénomènes spécifiques liés à la complexité qui pourraient être les dangers potentiels ou des opportunités possibles, qui ne sont actuellement pas formalisés et gérés par des organisations de projets existants. Les acteurs du projet sont ceux qui remarquent des premiers signaux faibles, mais sont aussi souvent impuissants, et même ne réalisent pas à quel point certains écarts initiaux pourraient nuire à l'ensemble du projet (Weick et Sutcliffe, 2001). Ceci est la raison pour laquelle il vaut la peine de les mettre ensemble pour (essayer de) résoudre collectivement un problème qu'ils ne pouvaient pas traiter individuellement.

La communication, et donc les décisions coordonnées, sont plus simples en raison de l'augmentation de la confiance entre les acteurs qui sont collectivement impliqués dans les problèmes potentiels qui peuvent affecter chacun d'eux. Le but n'est pas de trouver les personnes responsables de défaillances futures, mais de travailler ensemble pour les éviter. Encore une fois, les relations spécifiques en raison de la présence de nombreux contrats ne facilitent pas, par nature, ce type de confiance et de travail collectif. Il ne sera pas facile d'éviter tous les problèmes en raison de ces chaînes d'approvisionnement contractuels, mais c'est un pas dans la bonne direction. Selon (Oehmen et al, 2015), les pratiques de gestion modernes favorisent les «stratégies réductionnistes», tels que KISS (Keep It Simple Stupid). Cependant, le traitement simpliste de projets complexes les transforme souvent en projets chaotiques. Les problèmes rencontrés dans les projets sont plus nuancés et offrent souvent plus d'options que celles qui peuvent être trouvées avec les stratégies réductionnistes, tels que KISS.

Ce travail est l'occasion pour de nouvelles perspectives prometteuses. Tout d'abord, le concept de la vulnérabilité des relations n'est pas générique encore, ce qui signifie que le sens peut être différent selon les types d'éléments qui sont modélisés. Cela implique l'utilisation d'un modèle plus large et peut-être générique basé sur des critères qui peuvent être spécifiquement appliqués à chaque type d'élément. Une étude Delphi internationale, avec un mélange d'universitaires et de praticiens industriels, est en cours au moment où ce chapitre est écrit. Un second point de vue est l'analyse de sensibilité de la capacité de combiner plusieurs objectifs en fonction de multiples structures de matrices modélisées. Ceci est important, car une extension de l'application industrielle à d'autres phases dans le pétrole et de l'installation du gaz du cycle de vie est prévue. Cela signifie que les matrices deviendront plus grandes et peut-être plus complexes, ou éventuellement avec des structures différentes.

CHAPITRE 6

CONCLUSION ACADEMIQUE

6. Conclusion académique

Afin de répondre aux différentes problématiques citées précédemment, nos travaux de recherche se sont focalisés sur les deux axes d'études suivants : définition des stratégies contractuelles les moins vulnérables et amélioration de la coordination entre acteurs liés au projet, qu'ils soient internes à l'entreprise ou externes. Ces deux axes d'études se focalisent sur les deux principales temporalités d'un projet de développement qui sont la phase de contractualisation et d'exécution. Pour cela, nos travaux se sont appuyés sur des approches de management des systèmes complexes et de management des risques.

Notre premier travail de recherche a consisté à déterminer les trois niveaux hiérarchiques utilisés par la suite : le niveau le plus haut, représenté par la stratégie contractuelle du projet ; le niveau intermédiaire du contrat ; et le niveau plus fin de la cellule contractuelle (croisement d'un objet technique et d'une phase). A chacun de ces niveaux, nous nous intéressons aux trois dimensions de la structure d'un projet : la dimension organisationnelle, la dimension temporelle et la dimension produit. Chacune de nos propositions permet de favoriser la mise en relation entre ces différentes dimensions et entre les différents niveaux hiérarchiques. *Comme par exemple, l'étude de l'impact d'un acteur en phase contractualisation focalisé sur un sous-package du FPSO qui peut avoir une conséquence sur la phase d'exécution du package SURF réalisé par un autre acteur.*

Nous estimons que la stratégie contractuelle d'un projet doit être définie comme le premier niveau d'évaluation de la phase exécution d'un projet car elle permet d'avoir une vision commune et systémique de cette phase. L'estimation de chaque cellule de la stratégie contractuelle est le premier apport que nous proposons à l'entreprise TOTAL et au domaine académique du fait qu'à notre connaissance cela n'existe pas dans la littérature.

Le travail de cette thèse a permis aussi de montrer qu'un contrat ne doit pas être perçu comme un document figé du fait que celui-ci est caractérisé par sa propre construction et sa propre dynamique qui peut influencer ou être influencé par les autres contrats ou par l'environnement du projet. Afin d'analyser et estimer les stratégies vulnérables en prenant en compte leurs aspects statiques et dynamiques nous proposons deux approches. La première approche consiste à commencer l'analyse par le niveau global de la stratégie contractuelle puis de descendre jusqu'au niveau local (cellules contractuelles) si il y a présence de vulnérabilités importante au niveau global. Cette première approche permet aux acteurs de réaliser des analyses de risques rapidement afin de montrer les différentes vulnérabilités d'une stratégie contractuelle aux décideurs. La seconde approche se focalise directement sur le niveau local avant d'aggréger les résultats jusqu'au niveau global. L'avantage de cette méthode est que les acteurs analysent un maximum de signaux faibles ce qui permet de proposer des scénarios de stratégies contractuelles les moins vulnérables aux décideurs.

Ce travail permet aussi de mettre en avant le fait que la sélection du contracteur, le choix de rémunération (rémunération unique ou plusieurs rémunérations pour un même contrat) et le périmètre du contrat doivent être analysés d'une manière imbriquée afin de limiter les risques pouvant impacter le projet de développement.

Notre deuxième apport est de modifier la structure de la stratégie contractuelle en estimant pour chaque cellule les vulnérabilités en entrée, en interne et en sortie.

Remarque : nos outils et méthodes sont employés comme une aide à la décision et le bon sens des décideurs doit être toujours utilisé.

Notre deuxième travail de recherche a porté sur l'amélioration de la collaboration entre les acteurs liés au projet, qu'ils soient internes à l'entreprise TOTAL ou externes.

Nous avons mis en avant que le fait de réaliser des groupes inter-entreprises différents à différentes temporalités permet d'optimiser la collaboration, le suivi et la prise de décision tout au long du projet. Pour cela, nous proposons premièrement d'analyser les vulnérabilités des phénomènes complexes : les interactions, les boucles de rétroaction, les chaînes de propagation et les effets multiples... des acteurs et entre acteurs. Deuxièmement, nous proposons suite à ces analyses l'utilisation de la méthode du clustering afin de regrouper les acteurs se situant sur les phénomènes complexes les plus vulnérables pour qu'ils puissent prendre les décisions les plus adaptées au contexte du projet.

La prise en compte de ces phénomènes complexes permet d'aller dans le sens du management des collaborations entre acteurs et d'aider les acteurs à prendre des décisions d'une manière différente. Cela entraîne de plus des changements de principes managériaux, comme le fait que les prises de décisions ne soient pas obligatoirement réalisées par les acteurs du niveau hiérarchique le plus important mais aussi par les acteurs se situant sur les phénomènes complexes les plus vulnérables du projet.

Concernant les perspectives générales de ces travaux de thèse de doctorat, plusieurs points restent à améliorer :

- Capitaliser les retours d'expériences sur différents projets dans différents secteurs afin de mener des études sur les stratégies contractuelles et types de contrats dans différents contextes, les risques identifiés en amont et ceux réellement apparus, les alternatives de décisions qui n'ont pas été retenues...
- Créer un processus d'amélioration continue concernant les analyses que nous proposons :
 - Rechercher à simplifier les analyses des risques ;
 - Chercher à optimiser la consommation de temps malgré des analyses plus fines ;
 - Rechercher à automatiser un maximum de relations entre les matrices ;
- Proposer et tester différentes configurations et paramètres dans les procédures de clustering afin de correspondre au contexte spécifique de chaque projet : par rapport aux caractéristiques des cibles (en particulier leurs vulnérabilités), leur positionnement sur au moins une boucle et /ou une chaîne ainsi que les effets multiples que peut avoir un élément dans son réseau. Quelle est la meilleure méthode de « clustering » à réaliser ? Doit-on prendre en compte l'ensemble des contraintes citées précédemment ou non ?

CHAPITRE 7

CONCLUSION INDUSTRIELLE

7. Conclusion industrielle

Un des points primordiaux durant mes trois années de thèse, était de réaliser des outils et méthodes d'analyse de risques, qui devront être adaptées au contexte des projets complexes et applicables au sein de l'entreprise TOTAL. Notre vision n'était pas de favoriser la complexité des outils et méthodes afin de montrer que nous pouvons rechercher des risques à des niveaux de détails très précis mais plutôt de se focaliser sur l'amélioration du ratio: Performance des analyses et applicabilité.

Nous entendons par les mots performance et applicabilité:

Tableau 11 : Synthèse Performance et Applicabilité

Performance	<ul style="list-style-type: none"> -Analyser un plus grand nombre de signaux faibles d'une manière plus simple et plus rapide : positionnement des éléments risqués dans leur réseau, approche de vulnérabilité ; -Améliorer la quantification des analyses pour qu'elles soient plus proches de la réalité : approche de la vulnérabilité ; méthodes d'agrégations ;
Applicabilité	<ul style="list-style-type: none"> -Le fait qu'il ne soit pas nécessaire d'être hautement diplômé pour réaliser des analyses de risques : simplicité des outils ; -Le fait que les outils et méthodes soient utilisables avec les outils actuellement utilisés au sein de l'entreprise TOTAL ; -Le fait que les outils et méthodes ne demandent pas énormément de temps à être utilisés : fichier Excel, estimation de la charge de travail ; -Le fait que les outils et méthodes ne demandent pas beaucoup de mémoire pour être utilisés : fichier Excel ; -Possibilité de récupérer et réutiliser le retour d'expérience ;

Il faut retenir que pour réaliser ces différentes étapes, nous avons proposé un ensemble d'approches, d'outils et de méthodes, reposant beaucoup sur des modélisations de type matrices, interreliées sur différents niveaux. Celles-ci sont élaborées pour optimiser le ratio performance et applicabilité des analyses de risques au sein des projets complexes. Lors de l'application à un projet spécifique, toutes les étapes ne seront pas nécessairement réalisées et tous les outils ne seront pas spécialement utilisés, leur usage étant réservé au bon vouloir des utilisateurs et à leur connaissance du contexte du projet.

Nos propositions sont en cohérence avec la culture de l'entreprise TOTAL du fait qu'elles s'alignent avec leur volonté de changement et d'être plus performant dans un délai plus court mais aussi elles répondent à leurs besoins en outillant les décideurs afin qu'ils puissent répondre à la complexité des projets en fournissant moins d'effort.

Afin de justifier l'applicabilité des nos outils et méthodes, nous comparons le nombre de cellules (moyenne selon les retours d'expérience et brainstorming au sein de TOTAL) à estimer entre nos outils et le « Risk Register » et estimons la charge de travail nécessaire.

7.1. Estimation d'un nombre de cellules à remplir pour chacune des matrices

7.1.1. Matrice ALEAI (activités, livrables et exigences, acteurs, interaction entre acteurs)

Cette matrice est constituée d'environ 120 critères (activités, livrables&exigences, acteurs, interactions entre acteurs). Etant définie comme une matrice carrée du fait que les critères en lignes sont identiques à ceux des colonnes, cela implique que le nombre total de cellules de la matrice est égal à 120^2 ; **14 400 cellules**.

Afin de mieux structurer le processus d'analyse pour que celui-ci ne soit pas consommateur de temps, l'estimation de la matrice ALEAI doit se faire par niveaux d'importance. Pour cela, de cette matrice nous mettons en valeur trois matrices : Activités/Activités, Acteurs/Acteurs et Acteurs/activités.

Le nombre moyen sur deux gros projets représentatifs de TOTAL (après brainstorming au sein de TOTAL et de CentraleSupélec) de cellules à estimer passe de 14 400 à environ **570 cellules** :

- Matrice Activités/Activités: Environ 250 cellules sur les 4096 cellules au total, ce qui représente un taux de remplissage d'environ 6%.
- Matrice Acteurs/Acteurs: Environ 100 cellules sur les 729 cellules au total, ce qui représente un taux de remplissage d'environ 14%.
- Matrice Acteurs/Activités: Environ 220 cellules sur les 1728 cellules au total, ce qui représente un taux de remplissage d'environ 6%.

Les cellules constituant les autres matrices seront estimées suite au bon sens des acteurs. Cela permet d'analyser les aléas dans un niveau de détail plus fin.

7.1.2. Matrice RCCSC (Risques & Contraintes vs Cellules de la Stratégie Contractuelle)

Contrairement à la matrice ALEAI, celle-ci n'est pas carrée. Le nombre de critères dépend du nombre de contraintes et de risques internes aux cellules. Il est égal en moyenne à 60. Chacun d'eux est analysé par rapport une cellule de la stratégie contractuelle (interne). Sachant qu'il y a environ 7 phases temporelles et 15 workpackages définis, le nombre total de cellules à remplir serait de **6 300**.

Le nombre moyen (après brainstorming au sein de TOTAL et de CentraleSupélec) de cellules à estimer est calculé selon le nombre d'identifications (de cellule égale à 1) dans la matrice. Un risque ou une contrainte peut impacter un workpackage par rapport à une ou plusieurs temporalités. Cela implique donc que certaines cellules de la matrice seront vides : par exemple une mauvaise fabrication ne peut pas entraîner un risque de mauvaise ingénierie. Bien qu'il existe des cellules vides, le nombre de cellules à estimer reste encore important et consommateur de temps.

Afin de réduire cette charge de travail (estimation), nous avons décidé en collaboration avec TOTAL, de structurer la liste des risques et des contraintes par rapport à deux niveaux d'importance (Engineering, Fabrication & Construction, Installation, Commissioning, Procurement, Fournisseur, Organisation des EPC contracteurs, Pays hôte, Marché, Contractuel). Cela permet d'estimer ce premier niveau de critères d'une manière générale, en prenant en comptes les risques et contraintes du second niveau (Figure 68).

		Niveau 1: Cellules regroupées							
		Procurement							
Niveau 1		Topsides	Hull	Mooring	Tandem Offloading	OLS, DOL...	PCM and HPU modules	SSU Umbilicals	No S
Risques & Contraintes									
Procurement (logistique & achat...)"Fourniture"									
R18	Non respect de la quantité commandée								
R19	Non respect de la date de livraison - <i>Delivery Planning (long lead items, interfaces)</i>								
R20	Disponibilité des fournitures et matériels (Pénurie de produits & rarefaction, Banrupt fournisseur)								
R21	Menace de produit de substitution & Contrefaçon								
R22	Capacité de stockage - <i>Material Storage (Stock level, Stock rotation, Time for delivery, Re-order, Storage space and Conditions)</i>	x	x	x	x				
R23	Concurrences de ressources matérielles avec d'autres projets								
R24	Mauvais suivi de l'exécution des commandes d'achats de bien								
R25	Qualité des matériels et équipements - <i>Quality & Reliability (Mean time between failure, Manufacturer warranty, Vendor bankruptcy)</i>								
Fournisseur (EPC Contracteur)									
R26	Economie et Finance de l'entrepreneur (Banruptcy)								

Figure 68: Illustration des deux niveaux d'importances des risques et contraintes (Zoom matrice RCCSC) – Estimation générale

Ceux étant estimés vulnérables devront être évalués dans des niveaux plus fins: niveau 2 (Figure 69).

		Niveau 2: Cellules non regroupées							
		Procurement							
Niveau 1		Topsides	Hull	Mooring	Tandem Offloading	OLS, DOL...	PCM and HPU modules	SSU Umbilicals	No S
Risques & Contraintes									
Procurement (logistique & achat...)"Fourniture"									
R18	Non respect de la quantité commandée	x	x	x	x				
R19	Non respect de la date de livraison - <i>Delivery Planning (long lead items, interfaces)</i>	x	x	x	x				
R20	Disponibilité des fournitures et matériels (Pénurie de produits & rarefaction, Banrupt fournisseur)	x	x	x	x				
R21	Menace de produit de substitution & Contrefaçon	x	x	x	x				
R22	Capacité de stockage - <i>Material Storage (Stock level, Stock rotation, Time for delivery, Re-order, Storage space and Conditions)</i>	x	x	x	x				
R23	Concurrences de ressources matérielles avec d'autres projets	x	x	x	x				
R24	Mauvais suivi de l'exécution des commandes d'achats de bien	x	x	x	x				
R25	Qualité des matériels et équipements - <i>Quality & Reliability (Mean time between failure, Manufacturer warranty, Vendor bankruptcy)</i>	x	x	x	x				
Fournisseur (EPC Contracteur)									
R26	Economie et Finance de l'entrepreneur (Banruptcy)								

Figure 69: Illustration des deux niveaux d'importances des risques et contraintes (Zoom matrice RCCSC) – Estimation détaillée

Il est important que le bon sens des estimateurs reste utilisé. Car un risque de premier niveau peut être jugé non vulnérable alors qu'une de ses composantes de niveaux inférieure peut être très vulnérable. Cela peut provenir du fait que cette vulnérabilité soit camouflée parmi plusieurs critères non vulnérables.

Suite à différents cas test réalisés et majoritairement celui du cas test du projet Pazflor, nous estimons que cette démarche permet d'estimer en moyenne 20% des 6 300 cellules constituant la matrice RCCSC au niveau 2 et environ 5% des cellules au niveau 1 si l'on regroupe les cellules à estimer. Cela représente donc environ 1 260 cellules pour le niveau 2 et environ **315 cellules pour le niveau 1**.

7.1.3. Matrice RSM : Risk Structure Matrix

La matrice RR est définie comme une matrice carrée où le nombre de critères (comprenant les risques et les contraintes) au niveau des lignes et le même que celui des colonnes. Ces critères sont les mêmes que ceux définis pour la matrice RCCSC. Sachant qu'il y a en moyenne 60 critères définis, cela implique que la matrice RR est composée de **3 600 cellules**.

La matrice RR est en moyenne remplie à 5%. Cela représente environ entre **180 cellules** à estimer. Les différentes estimations seront réalisées en option, selon le bon sens des utilisateurs. Cette matrice est utilisée au niveau de détail le plus bas et sert davantage à identifier la propagation d'un risque dans son réseau qu'à estimer l'impact (analyse de vulnérabilité) qu'un critère (risque, contrainte) a sur un autre.

7.1.4. Nombre de cellules estimées en moyenne par rapport aux autres sous-matrices de l'ALEAI

Afin de mieux étudier (niveau plus détaillé) les aléas/dysfonctionnements liés aux activités, acteurs, les personnes en charge des analyses peuvent s'aider des autres sous-matrices de la matrice ALEAI. Après réalisation de cas tests, nous estimons que le nombre moyen de cellules estimées sur l'ensemble de ces sous-matrices est d'environ **50**. Ces estimations sont liées avec les activités et acteurs les plus vulnérables mais aussi au bon sens des personnes qui les réalisent.

7.1.5. Nombre de cellules concernant l'ensemble des matrices (80%)

Le nombre total de cellules des trois matrices pouvant être rempli est d'environ, $14\,400 + 6\,300 + 3\,600 = \mathbf{24\,300}$.

Le nombre moyen à estimer lors d'un projet de développement pétrolier est d'environ, $570 + 315 + 180 + 50 = \mathbf{1\,115}$.

7.1.6. Nombre de cellules spécifiques (20%)

Les 1 115 cellules estimées ci-dessus représentent les 80% des cellules connues de la loi de Pareto. Cependant, chacun des projets étant spécifiques, il y a 20% de cellules spécifiques (risques, contraintes, activités, acteurs...) à identifier et estimer. Cela représente environ **225 cellules**.

7.1.7. Nombre de cellules à estimer au total

Le nombre de cellules à estimer en moyenne lors de la réalisation des analyses de risques d'un projet est d'environ **1 340 cellules**.

7.2. Consommation moyenne du temps de travail de notre démarche générale

Afin de calculer la charge moyenne de travail à effectuer, nous estimons premièrement le temps moyen qu'il faudrait pour identifier les 225 cellules (20%) concernant les risques spécifiques puis le temps pour estimer les **1 340 cellules**.

Consommation de temps pour identifier et estimer les 225 cellules spécifiques :

La plupart des cellules spécifiques sont connues et facilement identifiables et estimables par les acteurs liés au projet. Néanmoins, lors de leur identification, les acteurs prennent du temps pour converger sur la définition et la priorisation des cellules spécifiques à identifier. Nous pouvons remarquer suite aux retours d'expériences provenant des projets de l'entreprise TOTAL et plus particulièrement des « Risk Register » que les risques et les contraintes... sont souvent définies d'une manière différente alors qu'ils représentent le même aléa. Cette divergence entraîne généralement une différenciation des causes et des conséquences liées aux risques mais engendre aussi une différenciation concernant leurs estimations.

Afin de bien estimer la charge de travail concernant les 225 cellules spécifiques nous prenons en compte ce temps lié à la convergence des acteurs. Pour cela, nous estimons un temps moyen par cellule de 10 minutes (temps calculer à l'aide d'un petit groupe de travail).

La consommation moyenne pour identifier les 225 cellules spécifiques est donc de 225×10 minutes = 2 250 minutes \approx 38 heures \approx **6 jours** (1 journée = 7heures).

Suite au retour d'expérience acquis durant les 3 années de thèse, nous estimons la loi de Pareto très pénalisante. Nous estimons plutôt le taux de cellules spécifiques à 10% maximum. Néanmoins, nous continuons d'estimer la charge de travail avec les 20% de la loi de Pareto afin de se pénaliser (ajout d'une marge de liberté).

Consommation de temps pour estimer les 1 115 cellules :

Pour estimer cette charge de travail nous estimons qu'il faut environ 6 minutes (temps calculer à l'aide d'un petit groupe de travail) pour que les acteurs convergent sur l'estimation d'une cellule. Cela représente donc environ $1\ 115 \times 6 = 6\ 690$ minutes \approx 112 heures \approx **16 jours**.

Cette charge de travail (16 jours) étant conséquente, nous proposons différentes solutions qui ont été réfléchies conjointement avec l'entreprise TOTAL :

- Pour chaque cellule, nous conseillons d'automatiser le fait que les acteurs puissent voir l'estimation moyenne des cellules par rapport aux retours d'expérience des anciens projets similaires. Nous estimons que la charge de travail peut être divisée par 1,5. Cela représente donc un temps moyen de 4 minutes par cellule. $1\ 115 \times 4 = 4\ 460$ minutes \approx 74 heures \approx **11 jours**.
- De cette première proposition nous proposons une automatisation des calculs de criticité et de vulnérabilité. Celle-ci a pour objectif de soulager les utilisateurs par rapport au fait de ne pas regarder à chaque fois les tableaux représentant les échelles d'estimation. La charge de travail gagnée par cette proposition est minime mais soulage énormément l'utilisateur (moins de travaux répétitifs). Nous estimons gagner 30 secondes en moyenne. $1\ 115 \times 3,30$ minutes = 3 680 minutes \approx **9 jours**.
- Notre troisième proposition consiste à créer un groupe du management de la performance (ce groupe sera défini dans le chapitre 6 du mémoire) intégrant les métiers fonctionnels (en support des métiers opérationnels). Celui-ci sera constitué des responsables des risques, des responsables des interfaces, d'analystes des données... Chacune de ces personnes sera dédiée à la recherche d'informations mais aussi à l'assistance aux acteurs lors des phases d'identification, analyse et traitement des risques. Ce groupe identifie à l'avance les personnes adaptées à évaluer certaines cellules afin de limiter le temps de divergence entre les personnes. Nous estimons le gain moyen concernant la charge de travail à 30 secondes. Le gain de temps

n'est pas particulièrement important car celle-ci dépend majoritairement des personnes qui estiment les cellules. On passe donc de 3,30 minutes à 3 minutes et de 9 jours à **environ 8 jours**.

Consommation de temps totale :

La charge de travail générale est donc estimée à environ 6 jours + 8 jours = 14 jours soit **environ 3 semaines de travail cumulées** (1 semaine = 5jours).

Afin de réduire la charge de travail de 3 semaines, les groupes de personnes interviewés par le groupe du management de la performance peuvent être interrogés parallèlement. La consommation de temps de travail dépendra principalement du nombre de groupes créés et de personnes les constituants (Tableau 12) mais aussi des groupes qui seront interrogés parallèlement. On peut donc en déduire par rapport au « Risk Register » (actuellement réalisé au sein de l'entreprise TOTAL) que la charge de travail est moins conséquente.

Tableau 12 : Liste de personnes pouvant participer aux groupes de travail sur l'analyse des risques

Project directeur d'ancien projet	Acteur SURF Umbilicals
Health safety & environment d'ancien projet	Acteur SURF Tie in spools
Angola project representative d'ancien projet	Acteur SURF Riser
Development & Planning d'ancien projet	Acteur SURF Gas Export Pipeline
External Relations A d'ancien projet	Acteur SURF Flowlines
External Relations B d'ancien projet	Acteur Wells Reservoir
Deputy project director d'ancien projet	Acteur Wells Rig
Quality assurance d'ancien projet	Acteur OLS
Project control d'ancien projet	Acteur ED - Planning
Ancien Responsable package SURF d'ancien projet	Acteur ED - developpement
Ancien Responsable package FPSO d'ancien projet	Acteur LOG
Ancien Responsable package SSPS d'ancien projet	Acteur PJC
Ancien Responsable package Wells d'ancien projet	Acteur CA Contrat
Ancien Responsable Field Operations d'ancien projet	Acteur CA Evaluation Bidder
Ancien Responsable Geosciences d'ancien projet	Acreur EXP
Acteur SSPS Manifod	Acteur Explo
Acteur SSPS Wellhead	Acteur HSE
Acteur SSPS X-trees	Acteur SIL
Acteur SSPS PCM and HPU modules	Risk Manager A d'ancien projet similaire
Acteur SSPS Gaz export SSIV	Risk Manager B d'ancien projet similaire
Acteur SSPS Jumper	Acteur du Towing
Acteur SSPS séparateur SSU	Acteur construction Yard
Acteur FPSO Hull	Acteur levage équipement loud
Acteur FPSO Topside	Human ressources d'ancien projet
Acteur FPSO Mooring	
Acteur FPSO Turret	

7.3. Nombre de cellules (moyen) estimées actuellement lors de la réalisation d'un projet de développement pétrolier à l'aide du « Risk Register »

Suite à l'analyse de différents « Risk Register », nous avons déduits que le nombre de scénarios risqués (risque, causes, conséquences, mitigations) identifiés est environ égale à **500**.

Tableau 13: Exemple d'un « Risk Register » réalisé au sein de l'entreprise TOTAL

Scenario							Impact														
Risk Tilt	Package	Phase	Risk Causes	Risk Consequences	Mitigation	Actors	a-Safety	b-Environment	c-Security	d-Work disturbances	e-Reputation	f-MAP	g-1st year	h-CAPEX	i-OPEX	j-Loss of production	k-Delay on First Oil	Impact max	Proba	Exposure (Impact max X Proba)	

Concernant leur estimation, les scénarios risqués sont évalués à l'aide du Tableau 13. Pour chacun d'eux, on estime l'impact que celui peut avoir par rapport à différentes valeurs.

L'ensemble de ces estimations représente environ, 500 scénarios risqués X 12 cellules à estimer = **6 000 cellules**, soit **presque 4,5 fois** plus que notre démarche générale (environ **1 340 cellules**).

ANNEXE 1

DESCRIPTION DETAILLEE DES MODULES D'UNE INSTALLATION PETROLIERE OFFSHORE

FPSO (Floating production storage and offloading):

Le FPSO est un navire flottant de production d' « Oil and Gas », de stockage et de déchargement d'hydrocarbure. Les FPSO sont majoritairement utilisés dans les régions du monde dites de mer profonde (Offshore) du fait qu'ils sont simples à installer et permettent d'exporter les hydrocarbures facilement. Ils se composent d'une coque (hull), d'installations de surface (topsides) et d'autres équipements pour se connecter à la partie sous-marine et aux tankers.

Hull - package FPSO:

La Hull (coque) est l'équipement premier du FPSO. Elle permet d'assurer la flottabilité et l'étanchéité de celui-ci mais aussi de pouvoir soutenir une quantité importante d'équipements comme les topsides, les quartiers de contrôle commande...

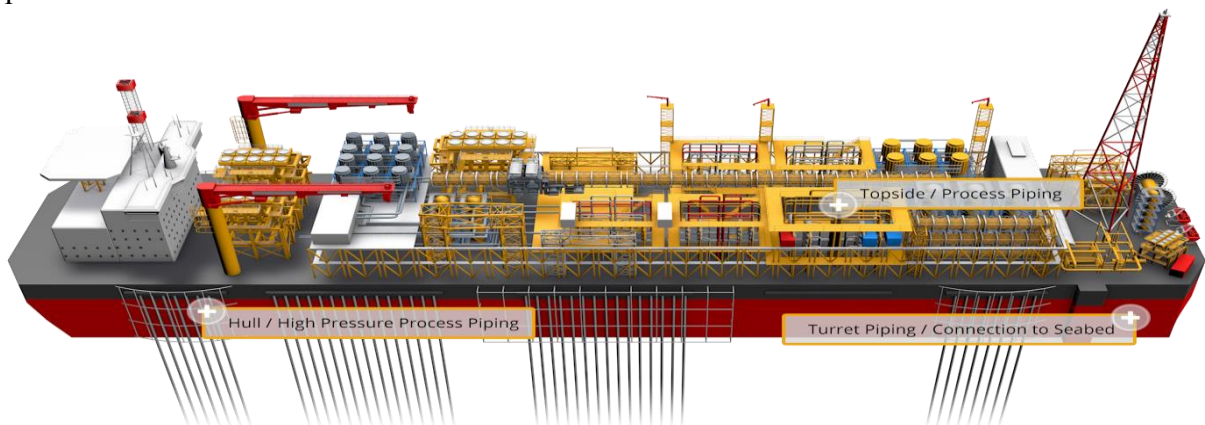


Figure 70: Exemple de FPSO: Floating production storage and offloading - Hull

Topsides -package FPSO (et SSPS en partie):

Ils représentent la majeure partie des éléments qui viendront prendre place sur la coque du FPSO. Ils correspondent aux installations de surface permettant d'assurer le forage et/ou la production et/ou le traitement d'hydrocarbures en mer.



Figure 71: Exemple d'illustration de topsides

Riser Pull-in System - package FPSO:

Il s'agit de l'équipement permettant de réaliser les opérations de tirage des risers des fonds-marins (voir définition plus tard) au FPSO.



Figure 72: Exemple d'illustration d'un Riser Pull-in System

Buoy - package OLS/OLT (OffLoading System / Oil Loading Terminal):

La « Buoy » (bouée) est un équipement permettant de faire la liaison entre le FPSO et le Tanker afin de transférer le pétrole en toute sécurité (éviter une collision entre le FPSO et le Tanker).

Celle-ci représente un poids de 1 150 tonnes et a un diamètre d'environ 19m. Le coût de fabrication de la « Buoy » et de ses équipements (constituant le package OLS/OLT) est d'environ 240 million de dollars.



Figure 73: Illustration de la Buoy du projet Pazflor

La seconde partie d'un projet est représentée par les packages sous-marins : SURF (ou UFR), SPS (ou SSPS) et le Drilling (Forage) qui ne sera pas pris en compte dans le cas test de notre mémoire. Bien que le FPSO soit le package le plus imposant au niveau de la visibilité du projet Pazflor, les packages SURF et SSPS ne sont pas à négliger.

L'ensemble de ces packages représente plusieurs milliers de tonnes d'équipements sous-marins. Ce sont aussi 49 puits forés à une profondeur entre 600 et 1200 mètres de profondeur et disposés sur une surface de 600 km², ce qui représente environ 6 fois la surface de la capitale Française: Paris.

Les coûts de développement concernant ces deux modules pour le projet Pazflor sont d'environ :

- SURF : 1,15 milliards de dollars ;
- SSPS : 2,15 milliards de dollars.

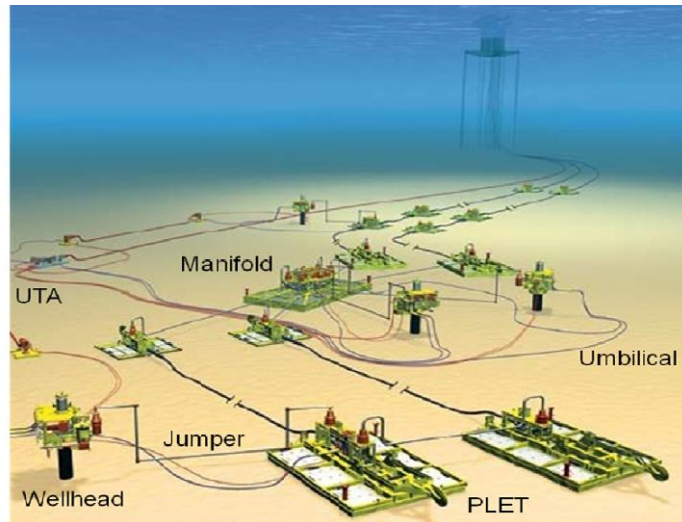


Figure 74: Subsea system (système pétrolier sous-marin)

Riser– package SURF/UFR (Subsea Umbilicals Risers and Flowlines / Umbilicals Flowlines & Riser):

Il s'agit d'une conduite ou ensemble de conduites rigides ou flexibles utilisées en tant que liaison fond-surface pour le transfert des hydrocarbures produits du fond marin vers l'unité de production en surface, et le transfert de fluides d'injection ou de contrôle de l'unité de production en surface vers les réservoirs sous-marins.

Flowline– package SURF:

Un Flowline est une conduite hydraulique qui permet de transporter les fluides de production ou d'injection. Ceux-ci reposent sur le fond marin et mesurent entre quelques centaines de mètres voire plusieurs kilomètres.

Umbilical– package SSPS/SPS (Separateur Subsea Production System / Subsea Production System):

Les « Umbilicals » sont des câbles utilisés afin de fournir de l'énergie (électrique, hydraulique) et des produits chimiques aux équipements suivants : wellhead (tête de puits sous-marins), manifolds (collecteurs sous-marins) et tout système sous-marin nécessitant un contrôle à distance.

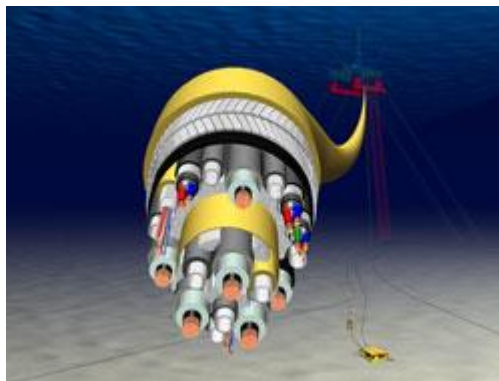


Figure 75: Exemple d'illustration d'un Umbilical

Wellhead – package SSPS:

Un Wellhead est un des équipements les plus importants concernant la sécurité. Il a pour mission d'assurer l'étanchéité, de retenir et réguler la pression se trouvant dans les puits et le réservoir. Cette régulation pression est liée directement avec la capacité de « Oil and Gas » produit.

Un Wellhead est constitué de 3 parties principales :

- La tête de tubage (casing head, casing spool)
- La tête de tubing (tubing head)
- La tête de production (X mas tree)



Figure 76: Illustration d'un X-mas Tree du projet Pazflor

SSU (Subsea Storage Unit) – package SSPS:

Un SSU est une grande nouveauté dans le secteur pétrolier. Il a pour but de séparer l'huile, le gaz et l'eau au niveau sous-marin (environ 800 mètres de profondeur) et non plus au niveau des plates-formes pétrolières se situant en surface.

« Cette innovation technologique majeure répond au défi de la production difficile de l'huile lourde et visqueuse de trois des quatre champs de ce gigantesque développement de l'offshore profond angolais. Le système de production sous-marin des trois champs miocènes de Pazflor met en œuvre trois unités de séparation sous-marines. Chacune d'entre elles associe quatre modules relevables

séparément: un ballon de séparation du gaz et des liquides, deux pompes hybrides d'activation des liquides et un manifold distribuant les effluents entre séparateur et pompes. Les pompes hybrides, spécifiquement développées pour Pazflor, sont aussi une première mondiale : elles combinent technologies multiphasique, compatible avec la présence d'une fraction de gaz dans les liquides, et centrifuge, assurant l'amélioration du rendement » source site internet TOTAL.



Figure 77: Exemple d'illustration d'un SSU du projet Pazflor

Manifold – package SSPS:

Un manifold est un collecteur sous-marin qui permet de collecter les fluides provenant de plusieurs têtes de puits afin de les redistribuer dans diverses directions (Principalement vers le FPSO).

Un manifold pèse environ 40 tonnes et mesure plusieurs de mètres en longueur et largeur.



Figure 78: Illustration d'un manifold du projet Pazflor

Mooring :

Il s'agit d'un élément permettant d'amarrer le FPSO afin que celui reste bien positionné pour les éléments du « subsea system ».

Tandem Offloading :

C'est un équipement permettant de décharger le pétrole et le gaz du FSPO vers le Tanker.

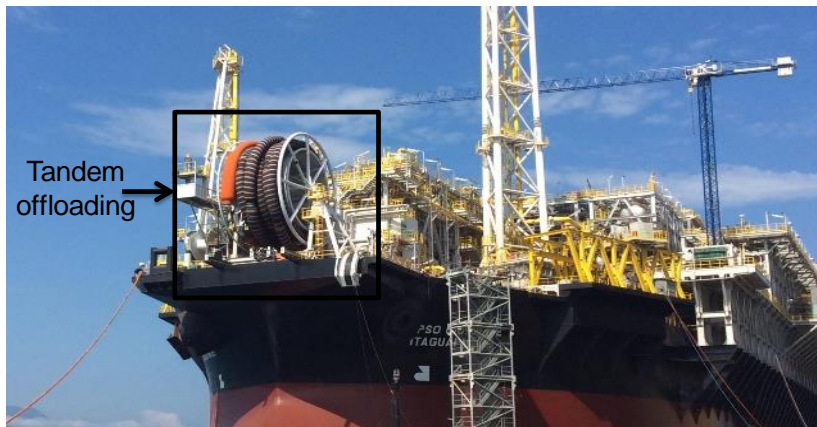


Figure 79: Exemple de Tandem Offloading

ANNEXE 2

CHOIX DU MODE DE REMUNERATION

Tableau 14 : Liste des choix du mode de rémunération

Cost plus fixed fee / Cost reimbursed	Les frais de l'entrepreneur sont engagés sur une base remboursable, dont une redevance est ajoutée (fixe ou pourcentage). Appuyé par (Gray et Larson, 2007). Ce sont des contrats ayant un prix coûtant majoré qui allouent tous les risques financiers pour le client.
Cost plus percentage fee	L'entrepreneur est remboursé de tous les frais vérifiés et payé des frais de pourcentage supplémentaire.
Cost plus incentive fee	All justified costs are paid. Final fee depends on actual compared to target cost, delivery and/or performance achievements. Ce type de rémunération est utilisé pour modérer les exigences de développement à haut risque où le périmètre du travail est difficile à détailler précisément ce qui compliquera donc l'analyse des coûts.
Incentive/ Disincentive for time reduction (Target Price chez TOTAL)	Un prix fixe ou une fourchette de prix est convenue. Normalement, si l'entrepreneur transmet un prix en dessous du prix cible de l'opérateur, celui-ci est récompensé.
Fixed price incentive	L'entrepreneur est payé les coûts réels et un accord sur les frais, mais garantit un coût total maximum.
Lump sum / fixed price	C'est la méthode la moins transparente des différents types de rémunération. Le prix est du contrat est transmis sans connaissance de la structure de coûts de l'entrepreneur. (Gray et Larson, 2007): « recommandé pour les projets bien définis <i>qui comportent des coûts prévisibles et un minimum de risque</i> ». Pour l'entrepreneur il est très difficile de réclamer du temps et coûts supplémentaires (Pícha et al, 2015).
Unit price method	L'entrepreneur engage à prix fixes pour les unités pré-spécifié d'éléments de travail. Le paiement est la somme-produit des prix unitaires et les unités utilisées.
Lump Sum based on Open Book	C'est un prix forfaitaire (rémunération du contracteur pour un ensemble d'activité liées au périmètre contractuel, quelles que soient les les quantités d'équipements livrées...). Il y a possibilité de voir la structure des coûts qui est derrière le prix indiqué.
Target Price with Firming	Identique au prix cible, excepté qu'il y a une période de «fermeté» au cours de laquelle l'entrepreneur doit préciser l'estimation de son prix cible. Après une nouvelle négociation, le prix cible est convenue.
Rates	Le mode de mesure est basé sur une unité de paiement, généralement le temps, le poids, etc. Le tarif comprend la marge de l'entrepreneur.
Profit Sharing Arrangement	L'entrepreneur est payé en alignement avec le bénéfice que l'installation génère après la mise en service.
Leasing	La location est surtout utilisée pour EPF, FSO, Etc

ANNEXE 3

METHODES D'IDENTIFICATION DES RISQUES

Méthode QQQQPC:

Cette méthode permet de récupérer l'ensemble des informations sur un périmètre pour identifier les aspects essentiels (Canonne et Petit, 2013) d'un sujet étudié. (Bertoluci, 2001) stipule que cette méthode permet de comprendre le problème, connaître les causes, de passer à l'action en bâtissant « le plan d'action de la solution proposée ». L'avantage de cette méthode est qu'elle permet de rentrer dans le détail d'un sujet. Cependant, elle est consommatrice de temps quand il faut l'utiliser sur plusieurs sujets (idées, risques...).

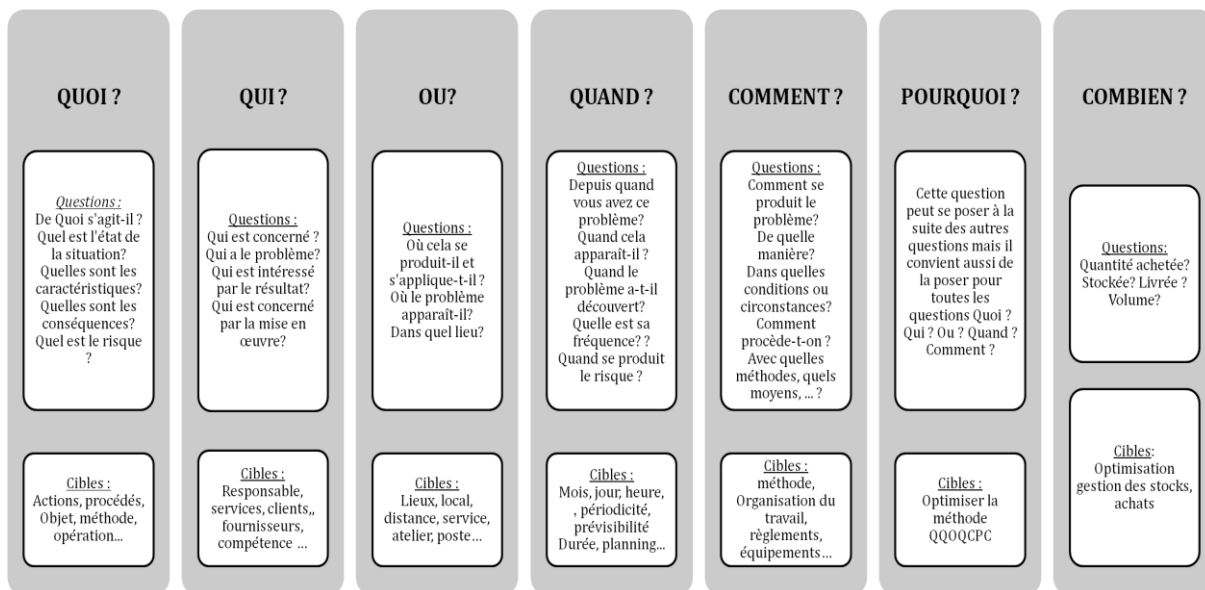


Figure 80: Méthode QQQQPC

Brainstorming:

Permet de tirer parti de la capacité créative des participants, très utilisée pour l'identification initiale pour les projets complexes. La méthode brainstorming est l'une des méthodes les plus connues pour la pensée créative (Isaksen, 1998). (Litcanu et al, 2015) listent différents avantages d'utiliser la méthode brainstorming:

- Rapidité et facilité pour obtenir de nouvelles idées et solutions;
- Réduction des coûts par l'usage de la méthode;
- Applicabilité dans pratiquement tous les domaines;
- Permet de stimuler la participation active des participants tout en créant la possibilité de contagion des idées;
- Développe la créativité, la spontanéité, la confiance en soi par le biais du processus d'évaluation différée;
- Développe la capacité à travailler en équipe.

Sa réalisation s'effectue en faisant participer plusieurs acteurs liés aux sujets étudiés ou aux questions qui demandent réflexion. (Cooper, 2005) définissent les personnes qui pourraient être inclus lors d'un Brainstorming:

- Le responsable de projet et l'équipe de projet,
- Sponsors du projet et représentants des sites,
- Ingénieurs métiers,
- Experts ayant des connaissances spécifiques,
- Responsable H3SEQ (Hygiène, Sécurité, Sûreté, Santé, Environnement et Qualité),
- Personnes ayant une expérience dans des projets similaires antérieurs ou actuels,
- Les utilisateurs des résultats du projet,
- Les principales parties prenantes qui ont besoin d'avoir confiance dans le projet.

(Dorval, 1999) stipule qu'il est préférable que le Brainstorming lors de la recherche de résolution créative concernant un problème se réalise par le biais d'un petit groupe pour qu'il soit plus efficace. (Bolin et Neuman, 2006) mettent en valeur le fait que cette méthode ne prend pas en compte la personnalité et la performance du groupe.

Delphi :

La méthode Delphi est souvent utilisée dans la gestion de projet ou lors de prévisions économiques. Elle est réalisée au moyen de questionnaires anonymes directs et envoyés à un grand nombre de participants plus particulièrement à des experts afin de collecter une importante quantité d'informations pertinentes et d'atteindre un consensus des experts (Landeta, 2006); (Linstone et Turoff, 2002); (Foth et al, 2016) ; (Ballantyne et al, 2016). Une des particularités de cette méthode est que les participants n'interagissent pas directement entre eux (Boulkedid et Al, 2011).

Cependant, Elle est relativement lourde car elle se déroule sur plusieurs étapes (Garrod et Fyall, 2005) et nécessite un certain nombre d'experts afin qu'ils puissent identifier un maximum d'information tout en ne complexifiant pas le travail de synthèse qui peut vite devenir peut trop riche. La première étape consiste à envoyer un questionnaire (les questions doivent être ciblées, précises et éventuellement quantifiables) aux différents participants identifiés. Les résultats seront examinés et synthétisés puis renvoyés aux participants afin qu'ils puissent avoir une vision des divergences et convergences entre eux mais aussi rebondir sur les résultats de cette synthèse. Ce processus se déroule en générale sur 4 étapes afin de réduire les positions contradictoires en visant à opposer les réponses divergences en rapprochant leurs arguments, avant de clôturer la méthode Delphi et renvoyer les résultats finaux aux participants.

(Woudenberg, 1991) explique qu'une des grandes limites de la méthode Delphi est de pas fournir un espace de discussions et de débats afin de faire échanger les participants par rapport à leurs différences d'opinion. (Kea et Sun, 2015) mettent en avant le fait que de faire participer que des experts peuvent emmener la méthode Delphi à ne se focaliser que sur des points précis et non sur une vision globale. La méthode Delphi reste trop peu utilisée pour réaliser un travail de reliance au niveau macroscopique (systémique).

NGT nominal group technique:

La méthode NGT est structurée par des interactions « face-to-face » (Foth et al, 2016). Le processus de cette méthode se décompose en plusieurs étapes:

- Réflexions (15 à 20 minutes): les participants réfléchissent et posent leurs risques sur feuille sans consulter ou discuter avec d'autres.
- Partage des risques (15-30 minutes): l'animateur prend en compte et archive chaque risque. Il n'y a aucun débat à cette étape et les participants sont encouragés à approfondir n'importe quels nouveaux risques résultant des autres risques énoncés.

- Discussion de groupe (30-45 minutes): échanges de points de vue. L'animateur s'assure que chaque personne contribue et que le temps de discussion ne dure pas. Il est important d'assurer que le processus est aussi neutre que possible, évitant le jugement et la critique.
- Vote et classement : Ceci implique la convergence et la priorisation aux risques enregistrés par rapport à la question originelle. Vote anonyme.

L'un des avantages de cette méthode sont de faire participer un nombre assez important de personnes (environ 15 personnes) afin d'identifier un grand nombre de risques pouvant impacter un projet. Par rapport à la méthode Delphi, celle-ci permet la discussion et le débat entre les participants (Murphy et al, 1998). Néanmoins, avec cette méthode, il est très difficile de travailler sur plusieurs sujets au sein de la même réunion.

Limites :

Concernant l'identification, (Foth et al, 2016) expliquent que ces méthodes ont certaines limites : la difficulté à définir la mesure du consensus et ce qui caractérise un expert et comment bien composer / sélectionner le groupe de participants. (Crips et al, 1997) stipulent que les méthodes Delphi et NGT ne sont pas standardisées et utilisées de manières cohérentes mais explique aussi que la littérature révèle un manque remarquable de détail fourni par des chercheurs. Les limites que nous avons rencontrées lors des analyses Delphi est premièrement le nombre de réponses des participants au premier tour qui est extrêmement faible (<10%). Deuxièmement, la fiabilité et la pertinence des réponses dépendent fortement de l'importance de la question par rapport aux intérêts que les participants y portent. Enfin, la difficulté à rédiger des questions bien cadrées engendre une structure finale des réponses qui reste souvent trop évasive et ne permet pas d'avoir une bonne représentation de réalité d'une manière générale.

ANNEXE 4

METHODES ANALYSE DES RISQUES EXISTANTES

APR – Analyse Préliminaires des Risques :

L’outil APR a été développé au début des années 1960 par les secteurs aéronautique et militaire aux Etats-Unis. L’analyse préliminaire des risques « est une technique d’identification et d’analyse de la fréquence du danger qui peut être utilisée lors des phases amont de la conception pour identifier les dangers et évaluer leur criticité ». Les principaux objectifs de cette méthode sont d’identifier et d’estimer la gravité des scénarios risqués qui peuvent avoir des impacts négatifs sur des cibles telles que des personnes, des biens et l’environnement (Baybutt, 2013a). (Baybutt, 2013b) stipule que le fait que cette méthode soit menée par des groupes de personnes, celles-ci est soumis à d’éventuelles défaillances influencées par des facteurs humains. (Baybutt, 2015) approfondit ce point en expliquant que « l’expérience et les caractéristiques personnelles des participants jouent un rôle essentiel dans la qualité des études APR ».

1 - Identifier les dangers				2 - Estimer les risques			3 - Prévenir les risques	
Danger Cause du dommage	Situation Dangereuse Opérateur+ cause	Evènement dangereux Déclencheur AT	Domage Lésion	Gravité 1 à 4	Probabilité 1 à 4	Priorité 1 à 4	Prévention existantes	Mesures de prévention à mettre en œuvre

Figure 81: Exemple de tableau basé sur la méthode APR

Cette méthode met en avant la notion de scénarios risqués ce qui correspond à une approche plus systémique des aléas d’un projet. Cependant, elle ne permet pas de décrire finement les dépendances qui conduisent à un accident. L’estimation effectuée englobe les causes et conséquences du danger.

FTA - Arbres de défaillance:

Tout comme la méthode APR, elle fut inventée au début des années 60 aux Etats-Unis par la compagnie Bell Téléphone sur une demande de l’US Air Force pour évaluer le système mise à feu. L’objectif majeur de cette méthode est d’identifier les causes des événements redoutés (Bourouni, 2013): mise en évidence des relations causes-effets en estimant la probabilité que l’événement se matérialise. Cette méthode est effectuée avant la mise en service d’un produit (proactive) et/ou comprendre la matérialisation d’un événement dangereux a posteriori (réactive). La méthode des « Arbres de défaillance » sont construites en utilisant deux types de connexion logique: les portes « Et » et « Ou ».

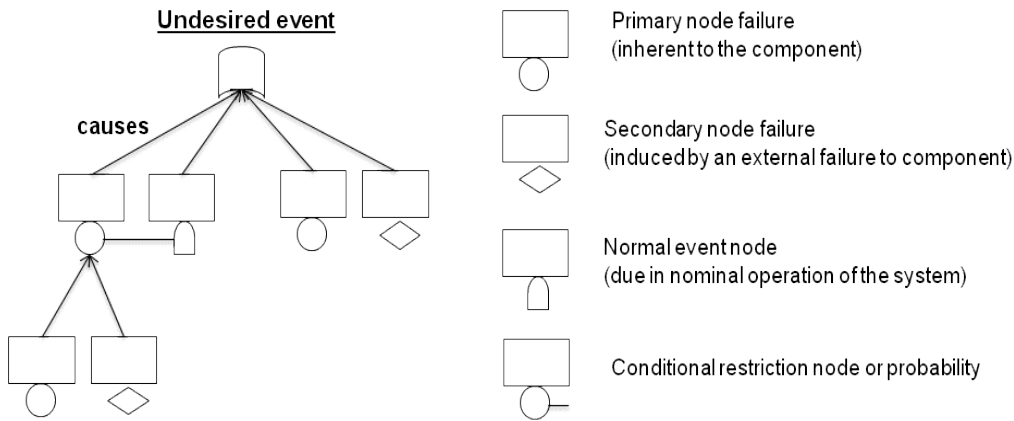


Figure 82: Exemple de représentation basée sur la méthode FTA

La méthode FTA met en avant la notion d'événements redoutés ce qui correspond à une approche plus fine que la méthode APR. Cependant, l'estimation se concentre uniquement sur la probabilité qu'un événement se matérialise. Elle montre ses limites « pour le calcul de la disponibilité des systèmes complexes (composants stand-by, les interactions entre les composants, etc.) » (Bouroumi, 2013).

ETA - Arbre d'Evènements:

L'analyse par Arbre d'Evènements a été mise au point au début des années 1970 pour permettre d'évaluer les risques liés à l'exploitation des centrales nucléaires. Elle a pour but de décrire les scénarios dangereux à partir d'un événement initiateur. Cette méthode est souvent utilisée quand les événements sont considérés comme ponctuels dans le temps. De chacun des événements, des branches sont étudiées pour comprendre s'il y a création d'une opportunité ou d'un risque lié au système.

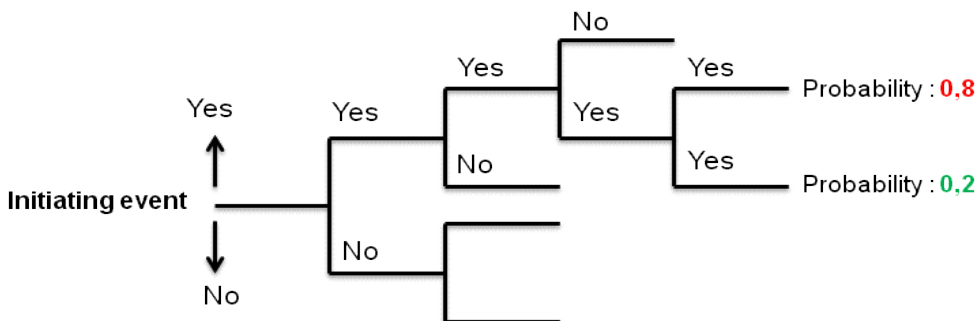


Figure 83: Exemple de représentation basée sur la méthode ETA

En évaluant la probabilité d'occurrence de chaque événement, la méthode permet d'estimer le chemin de propagation qui a le plus de chance survenir.

AMDEC - Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité :

L'AMDEC est une méthode fonctionnelle qui s'appuie sur la méthode AMDE (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets) en y incorporant l'évaluation de la criticité des défaillances. Elle a été développée dans les années 1960 dans les secteurs de l'armement nucléaire mais aussi de l'aéronautique. Cette méthode est définie comme une approche séquentielle par « phases projet » (Giard, 1991). L'AMDEC a pour objectifs d'identifier les modes de défaillance, les causes et conséquences éventuelles de chaque mode mais aussi d'évaluer la criticité de ces conséquences. Celle-ci est souvent réalisée avec des unités de mesures différentes ce qui pose des problèmes pour hiérarchiser et traiter les risques. Depuis 1977, (Rowe, 1977) souligne ce point et propose d'évaluer les conséquences dans une unité de mesure commune.

La figure ci-dessous représente une AMDEC de manière générale. On peut rencontrer d'autres représentations qui prennent en compte d'autres colonnes comme :

- Le suivi de la prestation
- Le responsable du mode de défaillance
- La phase de vie
- Des observations
- ...

Potential failure mode	Potential cause(s)	Potential effects	(P) Probability (estimate)	(D) Detection	(S) Severity	Risk Level (C) Criticity = (P) X (D) X (S)	Mitigations

Figure 84: Exemple de tableau basé sur la méthode AMDEC

Les limites de celle-ci sont:

- Méthode lourde, fastidieuse et présentant des incertitudes (Bouaziz et al, 2012);
- « La mono-criticité de l'AMDEC est insuffisante pour la pertinence d'une prise de décision » (Romdhane et al, 2007);
- Les conséquences sont souvent évaluées dans des unités différentes;
- Forte tendance à évaluer un scénario qu'un événement dangereux (cité par un « risk manager » de TOTAL);
- Difficulté à prendre en compte les phénomènes de dépendances et de dynamique du système étudié.

(Michel et al, 2013) expliquent que les méthodes « AMDEC et APR sont comparables et complémentaires; la poursuite de l'utilisation annuelle de l'AMDEC permet d'évaluer plus précisément sur le terrain les actions mises en œuvre et leur efficacité et de maintenir l'intérêt d'un système déclaratif auprès des acteurs de terrain ».

HAZOP - Hazard and Operability Study :

La méthode HAZOP a été créée par la société Impérial Chemical Industries au début des années 1970 afin de pouvoir évaluer les dysfonctionnements d'origine humaine et matérielle qui ont des effets sur le système. L'objectif de cette méthode est d'analyser les éventuelles dérives des paramètres liés au système afin de les hiérarchiser et de les éliminer.

Guide word	Deviation	Causes	Effects	Existing protection	Actions items or recommendations

Figure 85: Exemple de tableau basé sur la méthode HAZOP

(Dunjó, 2010) informe suite à sa revue de littérature que la méthode HAZOP est très souvent utilisée pour analyser les systèmes physiques industriels plutôt que pour analyser les systèmes humains et/ou de management. De plus, cette méthode montre ses limites lors des analyses d'événements résultant de plusieurs causes.

(Post, 2001) a réfléchi à combiner les méthodes PHAs, HAZOP et FMEA afin de proposer une méthode combinant études et fiabilités. D'autres personnes se sont focalisées sur cette démarche comme (Trammel et Davis, 2001) qui ont combiné les avantages des méthodes HAZOP et FMEA afin de maximiser leur efficacité, tout en utilisant la méthode PHA hybride pour identifier les faiblesses de conception et d'augmenter la disponibilité du système.

MOSAR - Méthode Organisée et Systémique d'Analyse des Risques:

La méthode MOSAR a été créée par P. Perilhon salarié du Centre d'énergie atomique (CEA). Elle a pour caractéristique de ressembler à une analyse fonctionnelle du fait qu'elle a pour but de décomposer un système en sous-système indépendamment mais aussi avec ceux qui sont interactions entre eux afin de les étudier. Son processus est décomposé en deux visions, celle que l'ensemble des entreprises analysent: la vision microscopique mais aussi celle qui est négligé et pourtant qui est très importante celle représentant la vision macroscopique (s'appuie sur le modèle Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes (MADS)). Cette vision est appuyée par (De Rosnay, 1977) qui explique que le microscope est l'instrument qui permet de mieux comprendre et agir sur un système et que pour les grands responsables de l'industrie cet outil est aussi précieux que le télescope pour les astrophysiciens.

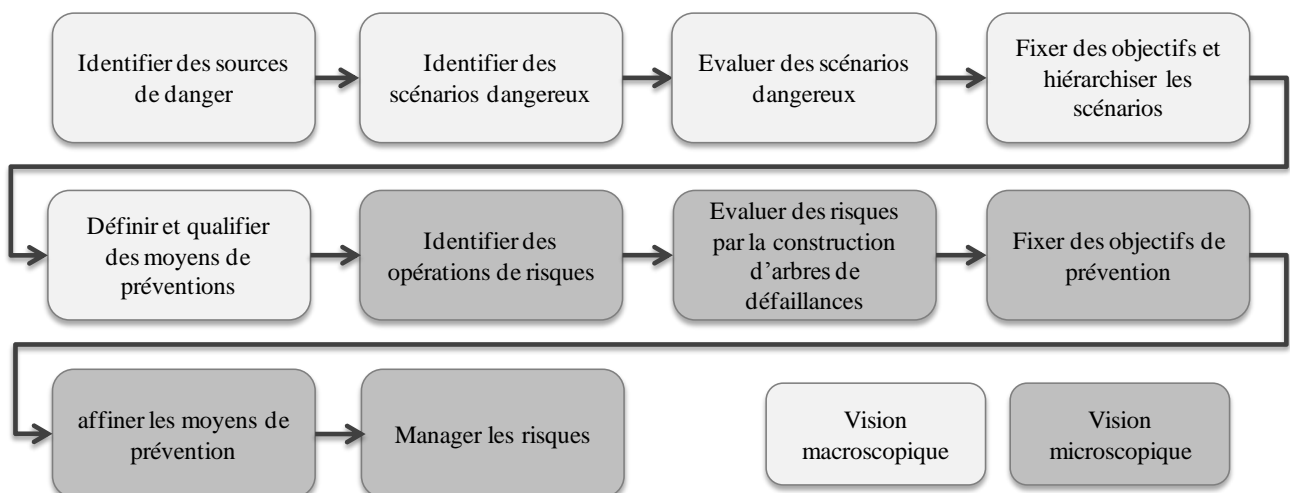


Figure 86: Processus de la méthode MOSAR

MADS - Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes :

La méthode MADS fût créée dans les années 80 par 3 enseignants de l'IUT de Bordeaux TALENCE (Jean Dos Santos, Michel Lesbats et Yves Dutuit) et 3 ingénieurs du Commissariat à l'Energie Atomique (Jean-Michel Penalva, Laurent Coudouneau, Pierre Perilhon). Elle se base sur l'approche systémique de (Le Moigne, 1994) et a pour objectif d'analyser les éléments d'un système dans leur ensemble en prenant en compte leurs interactions. La méthode MADS est considérée plutôt comme un outil d'aide à la compréhension qu'un outil d'analyse de risque. Elle se complémente souvent avec la méthode MOSAR.

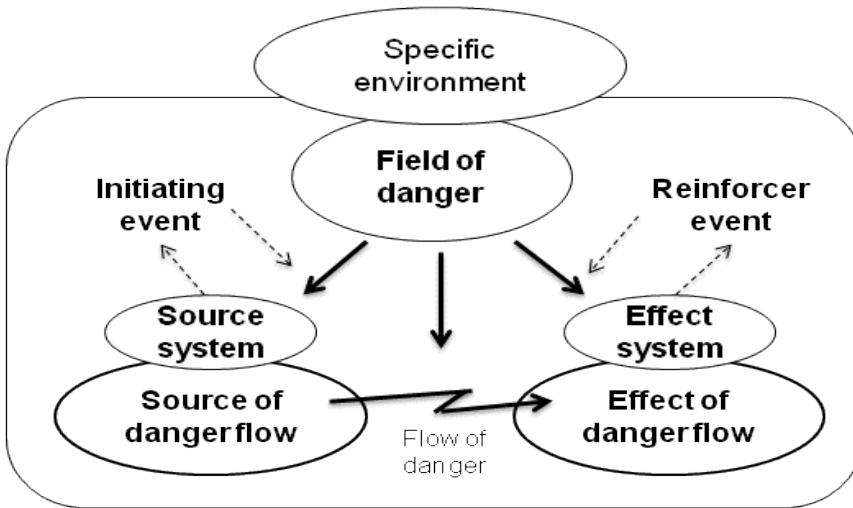


Figure 87: Modélisation MADS

Approche cindynique:

Cette approche a pris forme depuis quelques années et est couramment appelée « science du danger ». La cindynique est une approche systémique et multidimensionnelle basée sur le modèle suivant (Kerven et al, 1991); (Wybo, 1998) :

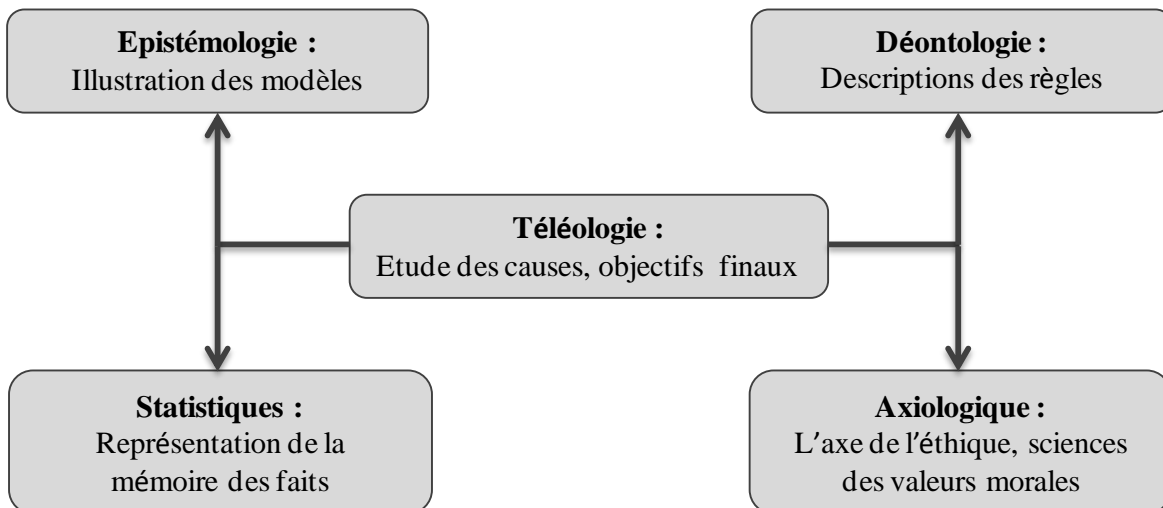


Figure 88: Hyperespace du danger et ces cinq axes

La cindynique met en valeur « La perception du danger est relative à la situation et à l'acteur qui la perçoit » (Kerven, 1999). Elle s'utilise principalement pour étudier les risques dans l'industrie. Elle permet d'analyser les risques qu'un système encours avec une vision plus philosophique mais aussi

d'estimer la cohérence des éventuelles mises en place d'actions de protections. A chaque acteur ou groupes d'acteurs du projet, une image de l'hyperespace du danger est définie.

RSM – Risk Structure Matrix :

La RSM découle de la méthode DSM (Design Structure Matrix) qui fût introduite par (Stewart, 1981). Cette méthode permet d'analyser les interactions et les dépendances entre éléments/Objets (Marle et al, 2013); (Yand et Zou, 2014). (Thompson, 1967) explique qu'il existe 3 types: indépendante (les risques ne sont pas reliés entre eux), dépendante (impact direct entre deux risques) et interdépendante (les risques sont caractérisés par une relation mutuellement dépendants, directement ou indirectement : boucle).

Comparaison des methodes:

Tableau 15 : Comparaison des méthodes

	Avantages	Inconvénients	Approche	Evénement envisagé
PHA - Preliminary Hazard Analysis	Permettre une identification rapide des situations dangereuses	Ne permet pas de décrire finement les dépendances qui conduisent à un accident	Inductive, Déterministe et qualitative, systémique	Indépendantes
	Peu de temps pour réaliser la méthode			
	Très simple d'utilisation	Nécessite l'utilisation ultérieure d'AMDEC ou Arbre de défaillances		
	Ne nécessitant pas un niveau de description détaillé du système			
FTA - Fault Tree Analysis	La représentation graphique facilite la compréhension du système	Pas d'analyse des dépendances entre événements: l'occurrence dépend que d'un événement	Déductive	Combinées
	Permet de se focaliser sur les événements redoutés	Analyse binaire et non dynamique: la temporalité n'est pas prise en compte		
ETA - Event Tree Analysis	Permet de suivre le déroulement d'un scénario	Evalue uniquement la probabilité d'occurrence	Inductive	Combinées

	<p>Permet de connaître le nombre d'événement avant d'atteindre l'événement redouté</p>	<p>Le développement des arbres d'événements utiles exige un bon analyste pour générer la structure initiale (Cooper, 2005)</p>		
	<p>-Permet d'utiliser l'approche déductive et inductive après avoir construit l'arbre.</p>			
<p>FMECA (AMDEC) - Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis</p>	<p>Permet de d'obtenir une puissante base d'information</p>	<p>Méthode efficace si une analyse fonctionnelle est réalisée en amont</p>	<p>Inductive</p>	<p>Indépendantes</p>
	<p>Peut être utilisée tout au long de la vie du système étudié afin de le corriger pour l'améliorer</p>	<p>Méthode lourde et couteuse</p>		
	<p>Peut être utilisée pour analyser un produit, un processus ou procédé, une prestation de service, une organisation...</p>	<p>Les conséquences sont souvent évaluées dans des unités différentes</p>		
	<p>Bon outil de management et de communication: participation de plusieurs personnes aux compétences diverses</p>	<p>Forte tendance à évaluer un scénario qu'un événement dangereux</p>		
		<p>Difficulté à prendre en compte les phénomènes de dépendances et de dynamique du système étudié: seule la notion de défaillance binaire est prise en compte</p>		

HAZOP - Hazard and Operability Study	Permet de faire travailler et fédérer une multitude de personnes ayant des compétences et de l'expérience différente	Très peu utilisée pour analyser les systèmes humains et/ou de management.	Inductive	Indépendantes
	Permet d'analyser de manière approfondie les risques ayant des phénomènes physiques (opérationnels)	Difficulté d'analyser les événements résultant de plusieurs aléas.		
MOSAR - Méthode Organisée et Systémique d'Analyse des Risques	Permet d'avoir une approche déterministe complétée par une approche probabiliste	Demande une charge de travail importante	Inductive	Combinées
	Capitalisation	Complexes pour des projets de grande ampleur		
MADS - Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes	Intègre le retour d'expérience	Lourdeur de la représentation graphique	Inductive	Combinées
	Meilleure compréhension du système: éléments internes et externes	Absence de règles claires		
Approche cindynique	Prise en compte des facteurs comportementaux des parties prenantes	Manque d'opérationnalité: loin de la réalité du terrain	Inductive	Indépendantes
		Certaines personnes réfutent le raisonnement téléologique du fait qu'il stipule que l'effet ne peut précéder la cause ce qui implique l'existence d'une cause finale et donc va à l'encontre du principe de continuité du temps		

RSM : Risk Structure Matrix	<p>Différenciation entre les sources et les cibles,</p> <p>Mise en avant des interactions entre les sources et les cibles</p> <p>Permet d'analyser le positionnement des éléments dans leur réseau</p>	Méthode consommatrice de temps si il n'y a pas un travail de collaboration	Inductive et systémique	Combinées
-----------------------------	--	--	-------------------------	-----------

ANNEXE 5

LISTES DES RISQUES ET CONTRAINTES LIÉS AUX CELLULES CONTRACTUELLES

Tableau 16 : Liste de risques et de contraintes liés aux cellules contractuelles (interne)

Engineering	
R1	Erreur de dimensionnement - Design criteria (Consistency, Lack of data, Change in specifications)
R2	Nombre de composants (à concevoir, construire, installer à contrôler) - Quantities Définition (Ratios, Basis for calculation, Scaling factors, interfaces...)
R3	Absence de duplication / standardisation du matériels fabriqués
R4	Mauvaise sélection des composants (étanchéité, flexibilité...) - Material selection (Corrosion, Erosion, Incompatibility)
R5	Innovation, nouvelle technologie - Innovation (Technology maturity, Design lead time...)
R6	Changes in scope (Late modifications, Re-design, Re-work, Compatibility, Maturité du design)
R7	Caractéristiques forage / fluide / réservoir - Reservoir dynamics, Fluid characteristics...
Fabrication & Construction	
R8	Fiabilité : Infrastructures & Matériels
R9	Capacité de production & fabrication (Concurrences de ressources matérielles avec d'autres projets)
R10	Disponibilité & Accès aux sites (Difficultés pour avoir accès aux installations existantes et en construction, Difficultés pour assurer l'accès au site)
Installation	
R11	Site selection and preparation (Civil works, Earth movements, Foundations, Piling, Load capacity ...)
R12	Opérations simultanées - SIMOPS (Hot works permits, Shut down partiel, forage, POB capacity) et COMOPS (Commande operation)
R13	Heavy lifting (Lifting means availability, Exceptional loads)
R14	Vessels availability and capability (Special vessels, Surfers, ROV, Heave compensation...)
R15	Navigation (Transport d'infrastructures, Collision, Remorquage, Piraterie...) - Transport & Logistics (Transportation infrastructures & Means, loading/Unloading, Waste Management, Storage, Exceptional loads, Towing)
R16	Connectivity and interfaces (Pipes, Cables, Transmission, Electrical, Hydraulics, Gaseous, Data...)
Commissioning	
R17	Commissioning & Hand over (Equipment Contrôle and Test, Reworks, Start-up, Handover to operations)
Procurement (logistique & achat...) "Fourniture"	
R18	Non respect de la quantité commandée
R19	Non respect de la date de livraison - Delivery Planning (long lead items, interfaces)
R20	Disponibilité des fournitures et matériels (Pénurie de produits & raréfaction, Banckruptcy fournisseur)
R21	Menace de produit de substitution & Contrefaçon
R22	Capacité de stockage - Material Storage (Stock level, Stock rotation, Time for delivery, Re-order, Storage space and Conditions)

R23	Concurrences de ressources matérielles avec d'autres projets
R24	Mauvais suivi de l'exécution des commandes d'achats de bien
R25	Qualité des matériels et équipements - Quality & Reliability (Mean time between failure, Manufacturer warranty, Vendor bankruptcy)
Fournisseur (EPC Contracteur)	
R26	Economie et Finance de l'entrepreneur (Banruptcy)
R27	Attitude contractuelle (flexibilité dans les changements, réactivité face aux demandes du client, attitude face aux litiges)
R28	Absence de contrôle de la sous-traitance (entrepreneur en cascade)
R29	Refus du fournisseur de se conformer aux contrats
R30	Attractivité de l'entreprise vis-à-vis des fournisseurs et inversement
R31	Qualification des fournisseurs
Organisation (EPC Contracteur)	
R32	Risque humain (Compétences, Expériences et Motivations) - Skills & Compétences
R33	Difficultés à mobiliser des ressources (Concurrence des ressources entre projets, turnover des salariés, opérations simultanées) - Mobilisation/Démobilisation
R34	Risque information (Quantité, cohérence, perte...) - Information management (Documentation, Data, Communication)
R35	Prise de décision (Capacité à prendre de bonnes décisions au bon moment, rôles et responsabilités, interfaces, mauvaise gestion des risques, mauvaise prise en compte du retour d'expérience) - Project Management
R36	Management des ressources (Localisation des équipes, Cohabitation sur chantier, Charge de travail, planification des tâches et ressources)
Pays hôte	
R37	Non acceptation communauté pays hôte (Pas de valorisation d'emploi, Faible pourcentage du poids des équipements fabriqués, Pas de développement des compétences, Media & Presse, ONGs, distribution des richesses, Mauvaise gestion des ressources du pays hôte, Anticipation insuffisante des exigences de la part de TOTAL) - Public Acceptance (Compensation plans, Media, Local community, NGOs)
R38	Non approbation pays hôte: gouvernement (Pas de recours aux marchés des fournisseurs locaux, Pas d'utilisation de la base industrielle locale, Pas de transfert technologique, Les exigences de TOTAL sont trop optimistes, Mauvaise gestion des ressources du pays hôte, Anticipation insuffisante des exigences de la part de TOTAL)
R39	Local Government (Political stability, corruption, politicians influence, conflicts of interest)
R40	Juridique & Réglementaire (Efficacité et maturité du système juridique) - Regulations and laws (Stability, election, referendum, changes in tariffs, quotas...)
R41	Political (Permits, Visa & Works permits, Authorities approval, Fiscal [taxation rates, applicable allowances ...], douanes, taux de chômage, Guerre & Terrorisme...)
R42	Imposition d'un ou de fournisseur(s) par le Pays hôte
R43	Les exigences du Pays hôte sont trop optimistes
R44	Localisation: Sol (forage), Mer, Site protégés & réglementés
R45	Mauvaise conditions atmosphérique et/ou marines - Environment (Atmospheric conditions, Sea conditions, Flora and Fauna, Pollution, Contamination, Waste, Natural Hazards)
Marché	
R46	Type de marché (Monopoliste, Concurrentiel, Marché en déclin, Marché concernant les matières premières...)

R47	Mauvaise gestion des achats de la part de TOTAL (analyse des achats par rapport aux fournisseurs, difficultés à prioriser les achats, mauvaise répartition des dépenses, Mauvaise analyse des inducteurs de coût [Décomposition des prix fournisseurs], Méconnaissance des enjeux des familles d'achats, mauvaise identification des parties prenantes à chaque étape du processus achats...) - EPC, LLI
R48	Mauvaise gestion des achats de la part du fournisseur
R49	Mauvaises synergies entre entités de TOTAL par rapport aux fournisseurs
R50	Business (Evolution des prix, Effet de volume) - Market/Commercial (Business Cycle, Market Situation, Volume capacity)
<u>Contractuelle (survenant en phase contractualisation majoritairement)</u>	
R51	Nombre de contrat constituant la stratégie contractuelle
R52	Définition du périmètre et des responsabilités entre l'entreprise et ses contracteurs (visibilité...)
R53	Financier (Mauvaise couverture par rapport aux assurances, crédit) - Financial (Credit, Insurance, Cash Flow Management)
R54	Rates (Exchange rate, Inflation, Interest rates)
R55	Exigences contractuelles obligatoires contraignantes
R56	Appel d'offre (mauvaise préparation, mauvais suivi, Critère de sélection des fournisseurs, Mauvaise sélection des fournisseurs [Recommandation to award "RTA"]...)
R57	Approbation d'un contrat pas clair, reflétant pas fidèlement la négociation (Mauvaise rédaction du contrat)

GLOSSAIRE

Ce document sert de recueil pour l'ensemble des termes importants et/ou spécifiques au secteur pétrolier et gazier et plus particulièrement à l'entreprise TOTAL. Afin de simplifier la recherche et de rendre celle-ci plus agréable, les termes sont rangés par ordre alphabétique. Les mots définis dans le glossaire ne sont pas forcément définis de la même manière qu'un dictionnaire, du fait que ceux-ci sont élaborés par rapport au contexte dans lequel ils se situent et sont utilisés.

..... B

Bidder : Ce terme anglais signifie soumissionnaires en français. Dans notre contexte, un soumissionnaire représente une entreprise qui répond à un appel d'offre.

..... C

Change Order : Il s'agit d'une instruction formelle, notifiée par le client et acceptée par le titulaire d'un marché, de procéder à une modification des prestations de ce dernier. Cet ordre entraîne l'établissement d'un avenant s'il y a modification des clauses contractuelles (prix, délai, garantie, etc.). La procédure d'ordre de modification est souvent sujette à discussion lors de la négociation d'un contrat d'ingénierie ou d'enssembler.

Un « Change Order » est un document écrit qui permet à un contracteur de stipuler les modifications à apporter à un contrat de construction (Cushman et Butler, 1994) ; (Hansen, 1994) ; (Barber et al, 2000) ; (Arain et Low, 2006).

Cible : Nous définissons une cible comme le point d'arrivée, d'impact d'un événement.

Commissioning : Il s'agit de l'ensemble des opérations (vérifications et tests) à effectuer sur une unité (ou partie d'unité), préalablement au démarrage de celle-ci.

Compensated Call For Tender (CCFT): Appel d'offres rémunérées.

Complexité : Il est donc primordial dans ce mémoire de bien définir ce mot afin qu'il ne soit pas utilisé comme un mot « fourre-tout ».

Pour (Edgar, 1977), « la complexité s'impose d'abord comme impossibilité de simplifier ; elle surgit là où l'unité complexe produit ses émergences, là où se perdent les distinctions et clartés, là où les désordres et les incertitudes perturbent les phénomènes, là où le sujet-observateur surprend son propre visage dans l'objet de son observation, là où les antinomies font divaguer le cours du raisonnement... ». De ces faits, la complexité est différente de la complication.

Dans nos travaux de recherche, la complexité ne provient pas principalement de la multitude d'éléments, ni même du nombre important de décompositions possibles d'un élément. Elle provient de la diversité et du nombre d'interactions entre éléments qui augmentent fortement la combinatoire des scénarios risqués possibles à analyser pour tenter d'étudier l'ensemble des comportements possible du projet. Cette combinatoire accroît le taux d'incertitudes (imprévisibilité) liés aux comportements du projet et plus particulièrement au comportement récursif des éléments constituant le projet.

Le terme de complexité sera abordé plus en détail au sein du mémoire (Chapitre 2).

Complexité projet : «*La complexité projet est la caractéristique d'un projet qui le rend difficile à comprendre, anticiper et maîtriser dans son comportement global, même lorsqu'une quantité raisonnable d'informations est connue sur le projet. Elle est directement impactée par des facteurs liés à la taille du projet, la diversité du projet, les interdépendances du projet et le contexte du projet* » (Vidal, 2009), adapté de (Edmonds, 1999).

Consortium : Un consortium est un regroupement d'entreprises afin de soumettre des offres et gérer la production à grande échelle, plutôt que de faire cavalier seul. Le pays hôte approuvera une seule entreprise du consortium comme contracteur.

Contracteur : Ce mot représente la soumissionnaire sélectionné à la fin de l'appel d'offre par l'entreprise cliente.

..... D

Décision : Le terme de décision est un terme qui est perçu de deux manières différentes dans la littérature :

- Premièrement, la CNRTL (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales) définit une décision comme une « activité de l'esprit et son résultat, une action de décider quelque chose ou de se décider, après délibération individuelle ou collective; p. méton ». Il se focalise sur le résultat de la décision.
- Deuxièmement, (Simon, 1976) ; (Simon, 1979) ; (Harrison, 1999) distinguent le processus de décision de son résultat.

Dans ce mémoire de thèse, quand nous parlerons de décisions (Aide à la décision), nous parlons aussi bien son processus que son résultat.

..... E

Efficacité : Pour définir l'efficacité, il faut faire intervenir la notion de moyenne. Une chose est efficace lorsqu'elle dépasse la valeur de sa moyenne. Ce mot met en relation par exemple ce que l'on doit respecter (exigences) et ce qui est respecté. Si nous respectons moins de choses que la moyenne, alors nous ne sommes pas efficaces. L'efficacité d'une chose se rapporte obligatoirement à une évaluation qualitative ou quantitative.

Élément : Dans ce mémoire, le terme d'élément sera défini par rapport à la définition de (Klir, 1969) qui définit un élément comme « une composante du système. Cependant, la perception du mot élément engendre souvent des erreurs car ses caractéristiques temporelles, comportementales et fonctionnelles sont souvent non prises en compte ».

État d'un système : L'état d'un système est défini par un moment fixé, où à ce moment précis le système est défini par l'ensemble des valeurs de ses variables.

Évènement : Dans la définition du risque, le mot « événement » permet d'aborder d'une manière globale la source, la transition (interaction) et la cible le constituant. (Moles, 1972) explique d'un « événement est par définition imprévisible. Il est caractérisé par un certain nombre de facteurs au sens même de l'analyse du contenu : son degré d'imprévisibilité, sa grandeur, son taux d'implication, son intelligibilité, son taux d'implication pour un certain nombre d'individus... ».

Dans ce mémoire un événement est défini par les mises en relations d'une cause, d'une cible et de leur interaction.

..... F

FEED (Front-End Engineering & Design): L'ingénierie de base couvre, en amont des services d'ingénierie de détail, les services d'étude ayant pour objet de finaliser les études de procédé d'installations concernées par un projet.

..... I

Interaction : nous définissons une interaction comme l'influence d'un élément sur un autre. Elle est par nature directionnelle, avec une certaine intensité, et peut être réciproque (avec des intensités identiques ou différentes).

..... L

Liquidated damage : Ce terme anglais signifie en français «dommages-intérêts ». Ils sont destinés à compenser entièrement les pertes subies, y compris subjective et d'autres pertes difficiles à prouver (De Geest et Wuyts, 2000).

Lump sum : Ce terme anglais signifie prix/montant forfaitaire en français. La (Circulaire du 5 octobre 1987) explique que : « Le prix forfaitaire ou global est celui qui rémunère le titulaire pour une prestation ou un ensemble de prestations, indépendamment des quantités mises en œuvre pour leur réalisation. Pour que le prix soit considéré comme forfaitaire, il faut qu'il soit indiqué comme tel dans le marché. La fixation d'un prix forfaitaire est recommandée pour toutes les prestations dont la consistance peut être bien définie au moment de la conclusion du marché ».

..... M

Modélisation : Une modélisation est définie par (Birou, 1966) comme un « système physique, mathématique ou logique représentant les structures essentielles d'une réalité et capable à son niveau d'en expliquer ou d'en reproduire dynamiquement le fonctionnement ».

..... O

Open Book Tender (OBT): Dans un OBT, l'acheteur et le contracteur se mettent d'accord sur quels seront les coûts rémunérables et quelle est la marge que le contracteur pourra ajouter à ces coûts. Le projet est ensuite facturé au contracteur sur la base des coûts réels encourus plus la marge convenue. Un OBT est principalement utilisé pour veiller à ce qu'un prix compétitif soit obtenu lorsque le travail est difficile à spécifier précisément à l'avance, ou si l'acheteur n'est pas prêt à payer pour la prime de risque que les contracteurs ajoutent généralement en donnant des prix fixes.

..... P

Projet : « Un projet est un effort temporaire exercé dans le but de créer un produit, un service ou un résultat unique » (PMI, 2013).

..... R

Reliance : À la notion de connexion, la reliance incorpore la notion du sens, de la finalité, et de l'insertion dans un système (Barbier, 2004).

Risque : Le risque représente un « danger éventuel, plus ou moins prévisible, inhérent à une situation ou à une activité » (CNRTL). (IFACI, 2005) explique qu'un risque correspond à l'impact négatif d'un événement qui peut « freiner la création de valeur ou détruire la valeur existante ». Le PMBOK définit le risque comme « un événement ou situation dont la concrétisation, incertaine, aurait un impact négatif ou positif sur les objectifs du projet » (PMI, 2013). Dans cette thèse, nous garderons la définition du PMBOK qui permet de regrouper l'ensemble de ses aspects, l'atteinte des objectifs du projet étant intimement liée à sa création de valeur.

..... S

Scénario : Un scénario est défini par les mises en relation d'une cause, d'une cible, d'une conséquence et de leurs interactions. Cela revient à définir un événement et sa conséquence.
Source : nous définissons une source comme l'origine, le point de départ d'un événement.

Sous-traitance : L'AFNOR définit la sous-traitance comme « Toutes les opérations concernant pour un cycle de production déterminé une ou plusieurs des opérations de conception, d'élaboration, de fabrication, de mise en œuvre ou de maintenance de produit, dont une entreprise, dite donneur d'ordres, confie la réalisation à une entreprise, dite sous-traitant, tenue de se conformer exactement aux directives ou spécifications techniques que ce donneur d'ordres arrête en dernier ressort ».

Stratégie contractuelle :

Le terme de « stratégie contractuelle » est perçu par les acteurs de TOTAL de deux manières différentes.

Premièrement : La stratégie contractuelle définit la stratégie processus de passation des marchés, le modèle de compensation et d'exécution qui sera utilisé pour un projet. Elle soutiendra les principaux moteurs du projet en termes d'activité (de la stratégie et les intérêts d'ensemble de l'entreprise, le retour sur investissement, dans le pays le développement de valeur, etc.), de partage et de la répartition des risques (entre l'entreprise et les entrepreneurs), de coûts et de délais. Les éléments clés d'une stratégie contractuelle sont les suivantes:

- Répartition de la portée des travaux du projet en phases et forfaits
- Types de contrats
- Les modèles de rémunération
- Liste des soumissionnaires
- Stratégie d'appels d'offres
- Définition des interfaces packages

Deuxièmement : La stratégie contractuelle est perçue comme un « plan de management des contrats et approvisionnement ». L'aspect stratégie du terme n'est pas mis en valeur dans cette vision du fait de la non prise en compte :

- Des précises de décision. (Dupont et al, 2015) : « Ensemble cohérent de décisions que se propose de prendre un agent assumant des responsabilités, face aux diverses éventualités qu'il est conduit à envisager, tant du fait des circonstances extérieures qu'en vertu d'hypothèses portant sur le comportement d'autres agents intéressés par de telles décisions » ;
- De l'autorité exercée sur les contracteurs. (Baudry, 1993) explique que la stratégie contractuelle modifie le moyen de l'autorité exercé sur les contracteurs et qu'elle « tend à renforcer l'intégration du vendeur, car comme le contrat représente une garantie, une

assurance, le sous-traitant mettra une grande partie de son potentiel de production au service de son co-contractant, accroissant sa dépendance économique » ;

- De l'aspect temporel du projet (du court au long terme).

Dans ce mémoire, nous définissons une stratégie contractuelle par la définition suivante :

Ensemble de décisions cohérentes prises par rapport aux ambitions sur du long terme, aux activités à réaliser sur du court terme en planifiant des objectifs à atteindre dans un moyen terme selon les moyens et ressources disponibles mais aussi par rapport aux responsabilités définies entre l'entreprise et ses contracteurs.

Système : « *Un système peut être défini comme un objet qui, dans un environnement donné, cherche à atteindre des objectifs (pôle téléologique) en réalisant des activités (pôle fonctionnel) alors que sa structure interne (pôle ontologique) évolue au cours du temps (pôle génétique) sans perdre son identité propre* » (Vidal et al, 2007).

Systemique : “*Nouvelle discipline qui regroupe les démarches théoriques, pratiques et méthodologiques, relatives à l'étude de ce qui est reconnu comme trop complexe pour pouvoir être abordé de façon réductionniste, et qui pose des problèmes de frontières, de relations internes et externes, de structure, de lois ou de propriétés émergentes caractérisant le système comme tel, ou des problèmes de mode d'observation, de représentation, de modélisation ou de simulation d'une totalité complexe*” (Donnadieu et al. 2003).

La systémique est définie comme la science des systèmes (Le Moigne et Simon, 1991) qui fournit une méthode de modélisation (Avenier, 1992) d'éléments et de phénomènes afin de créer un système général (Le Moigne, 1994) construit sur des objectifs « projectifs » (Edgar, 1990). Cette science permet d'étudier la dynamique complexe (Minzberg, 1982) et (Le Moigne, 1994) d'un système général dépendante de son environnement (met en avant l'aspect temporelle d'un système) par une vision globale où un élément influence au moins un autre élément voir s'auto influence (Fortin, 2005).

..... T

Transition : nous définissons une transition comme le passage d'un état à un autre.

BIBLIOGRAPHIE

- Abramovici, M. (1997). La prise en compte des facteurs organisationnels dans les méthodes d'analyse des risques. Note de Recherche GRID n 96, 7.
- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 268-281. AFNOR, dans SESSI, 1989.
- Aggarwal, K.K. et al., (2007). Investigating Effect of Design Metrics on Fault Proneness in Object-Oriented Systems. *Journal of Object Technology*, 6(10), pp.127–141.
- Ahern, T., Leavy, B. & Byrne, P.J., (2013). Complex project management as complex problem solving: A distributed knowledge management perspective. *International Journal of Project Management*, 32(8), pp.1371–1381.
- Albrechtsen, E., & Hovden, J., (2014). Management of emerging accident risk in the building and construction industry. In: Paper Presented at Working on safety.
- Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form* (Vol. 5). Harvard University Press.
- Allison, E. H., Perry, A. L., Badjeck, M. C., Neil Adger, W., Brown, K., Conway, D & Dulvy, N. K. (2009). Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. *Fish and fisheries*, 10(2), 173-196.
- Antoniou, F., Aretoulis, G. N., Konstantinidis, D., & Kalfakakou, G. P. (2013). Complexity in the evaluation of contract types employed for the construction of highway projects. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 74, 448-458.
- Arain, F.M., Low, S.P., (2006). Developers' views of potential causes of variation orders for institutional buildings in Singapore. *Archit. Sci. Rev.* 49 (1), 59–74.
- Aubry, M., Hobbs, B., & Thuillier, D. (2007). A new framework for understanding organisational project management through the PMO. *International journal of project management*, 25(4), 328-336.
- Aubry, M., Müller, R., Hobbs, B., & Blomquist, T. (2010). Project management offices in transition. *International Journal of Project Management*, 28(8), 766-778.
- Avenier, M. J. (1992). Recherche-action et épistémologies constructivistes, modélisation systémique et organisations socio-économiques complexes: quelques «boucles étranges» fécondes. *Revue internationale de systémique*, 6(4), 403-420.
- Baccarini, D., (1996). The concept of project complexity—a review. *International Journal of Project Management*, 14(4), pp.201–204.
- Badenfelt, U., 2011. Fixing the contract after the contract is fixed: A study of incomplete contracts in IT and construction projects. *International Journal of Project Management*, 29(5), pp.568–576.
- Barber, P., Graves, A., Hall, M., Sheath, D., & Tomkins, C. (2000). Quality failure costs in civil engineering projects. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 17(4/5), 479-492.

- Barbier, R. (2004). Flash existentiel et reliance. *Le journal des chercheurs*.
- Bajari, P., & Tadelis, S. (2001). Incentives versus transaction costs: A theory of procurement contracts. *RAND Journal of Economics*, 387-407.
- Ballantyne, R., Hughes, K., & Bond, N. (2016). Using a Delphi approach to identify managers' preferences for visitor interpretation at Canterbury Cathedral World Heritage Site. *Tourism Management*, 54, 72-80.
- Bartolomei, J. E., Hastings, D. E., de Neufville, R., & Rhodes, D. H. (2012). Engineering Systems Multiple-Domain Matrix: An organizing framework for modeling large-scale complex systems. *Systems Engineering*, 15(1), 41-61.
- Baudry, B. (1993). Partenariat et sous-traitance: une approche par la théorie des incitations. *Revue d'économie industrielle*, 66(1), 51-68.
- Baybutt, P. (2013a). Analytical Methods in Process Safety Management and System Safety Engineering—Process Hazard Analysis. *Handbook of Loss Prevention Engineering*, Volume 1&2, 501-553.
- Baybutt, P. (2013b). The role of people and human factors in performing process hazard analysis and layers of protection analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(6), 1352-1365.
- Baybutt, P. (2015). Competency requirements for process hazard analysis (PHA) teams. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 33, 151-158.
- Bellalah, M. (2005). Gestion des risques de taux d'intérêt et de change. De Boeck Supérieur.
- Bénard, A., & Fontan, A. L. (1994). La gestion des risques dans l'entreprise: management de l'incertitude. Eyrolles.
- Bernard, F., Salviac, E., & Bernard, F. (2009). Fonction achats: controle interne et gestion des risques. Editions Maxima.
- Bertoluci, G. (2001). Proposition d'une méthode d'amélioration de la cohérence des processus industriels (Doctoral dissertation, Arts et Métiers ParisTech).
- Birou, A. (1966). Modèle. *Vocabulaire pratique des sciences sociales*.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (1994). At risk. Natural hazards, people's vulnerability and disasters.
- Blažević, G., Mišić, S., & Šimac, M. (2014). Importance of Managing PMO in Croatian PM Market. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 119, 949-956.
- Bolin, A. U. & Neuman, G.A. (2006). The relationships among personality, process, and performance in interactive brainstorming groups. *Journal of Business and Psychology*, 20, 565-585.
- Borjesson, F., & Hölttä-Otto, K. (2014). A module generation algorithm for product architecture based on component interactions and strategic drivers. *Research in Engineering Design*, 25(1), 31-51.

- Bosch-Rekvelde, M. et al., (2011). Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework. *International Journal of Project Management*, 29(6), pp.728–739.
- Bonjour, E., Harmel, G., Micaëlli, J. P., & Dulmet, M. (2010). Simulating change propagation between product architecture and development organisation. *International Journal of Mass Customisation*, 3(3), 288-310.
- Bonjour, E., Deniaud, S., & Micaëlli, J. P. (2013). A method for jointly drawing up the functional and design architectures of complex systems during the preliminary system-definition phase. *Journal of Engineering Design*, 24(4), 305-319
- Bouaziz, M. F., Zamaï, E., & Hubac, S. (2012). Modélisation de l'état de santé d'un équipement de fabrication par une méthode probabiliste. In *Proceedings of 9th International Conference on Modeling, Optimization and SIMulation*.
- Boulkedid, R., Abdoul, H., Loustau, M., Sibony, O., & Alberti, C. (2011). Using and reporting the Delphi method for selecting healthcare quality indicators: a systematic review. *PLoS one*, 6(6), e20476.
- Bourouni, K. (2013). Availability assessment of a reverse osmosis plant: comparison between reliability block diagram and fault tree analysis methods. *Desalination*, 313, 66-76.
- Bregman, R. L. (1993). The effect of extended payment terms on purchasing decisions. *Computers in industry*, 22(3), 311-318.
- Briand, L.C., Daly, J. & Wüst, J., 1999. A Unified Framework for Coupling Measurement in Object-Oriented Systems. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 25(1), pp.91–121.
- Browning, T. R., (2001). Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: a review and new directions. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48(3), 292-306.
- Burrows, R. et al., (2010). The Impact of Coupling on the Fault-Proneness of Aspect-Oriented Programs: An Empirical Study. In *Proceedings of the IEEE 21st International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE 2010)*. San Jose, CA.
- Caron, F., Fumagalli, M. & Rigamonti, A., (2007). Engineering and contracting projects: A value at risk based approach to portfolio balancing. *International Journal of Project Management*, 25(6), pp.569–578.
- Canonne, S., & Petit, P. (2013). *La boîte à outils de l'Acheteur-2e éd.* Dunod.
- Carretta, C., & Ragain, G. (1999). "Maîtrise des risques dans le programme Ariane 5 Plus". *Congrès Francophone du Management de Projet*.
- Cedergren, A., (2013). Implementing recommendations from accident investigations: A case study of inter-organizational challenges. *Accident Analysis and Prevention*, 53, 133–141.
- Chambers, R. (1983) - *Rural Development: Putting the Last First* - Longman, London.
- Chantepie, G. (2010). L'efficacité attendue du contrat » : rev. *Contrats*, n.1, p. 347.

- Chapman, C., & Ward, S. (1996). *Project risk management: processes, techniques and insights*. John Wiley.
- Chapman, C. (1997). Project risk analysis and management—PRAM the generic process. *International Journal of Project Management*, 15(5), 273-281.
- Chun-Chao, C., (2008). Buffer Sizing and Critical Chain Project Management. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, (5:029).
- Chow, P.T., Cheung, S.O. & Chan, K.Y., 2012. Trust-building in construction contracting: Mechanism and expectation. *International Journal of Project Management*, 30(8), pp.927–937.
- Chung, K. S. K., & Crawford, L. (2016). The Role of Social Networks Theory and Methodology for Project Stakeholder Management. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 226, 372-380.
- Circulaire du 5 octobre 1987 relative à la détermination des prix initiaux et des prix de règlement dans les marchés publics - NOR : ECOM8710070C - JO du 24 octobre 1987.
- Clivillé, V. (2004). *Approche systémique et méthode multicritère pour la définition d'un système d'indicateurs de performance (Doctoral dissertation, Chambéry)*.
- CNRTL, www.cnrtl.fr
- Cooper, D. F., & Chapman, C. B. (1987). *Risk analysis for large projects: models, methods, and cases*. John Wiley & Sons Inc.
- Cooper, D.F., Grey, S., Raymond, G and WalkerGopal, P., (2005). *Project Risk Management Guidelines*. John Wiley & Sons Ltd.
- Courtot, H. (1999). *La gestion des risques dans les projets*.
- Cover, T. M., & Thomas, J. A. (2012). *Elements of information theory*. John Wiley & Sons.
- Crips, J., Pelletier, D., Duffield, C., Adams, A., & Nagy, S. U. E. (1997). The Delphi method? *Nursing research*, 46(2), 116-118.
- Cushman, R. F., & Butler, S. D. (1994). *Construction change order claims*. Wiley Law Publications.
- Dai, C. X., & Wells, W. G. (2004). An exploration of project management office features and their relationship to project performance. *International Journal of Project Management*, 22(7), 523-532.
- Danilovic, M., & Browning, T. (2004, September). A formal approach for domain mapping matrices (DMM) to complement design structure matrices (DSM). In *The Sixth Design Structure Matrix (DSM) International Workshop* (pp. 1-23).
- Danilovic, M. & Browning, T.R., (2007). Managing complex product development projects with Design structure matrices and domain mapping matrices. *International Journal of Project Management*, 25, pp.300–314.
- Deharo, G. (2011). *Ingénierie contractuelle et performance de l'entreprise : perspective économique et dynamique de droit des contrats*.

- De Geest, G., & Wuyts, F. (2000). Penalty clauses and liquidated damages. *Encyclopedia of law and economics*, 3, 141-161.
- De Rosnay, J. (1977). *Le microscope. Vers une vision globale*.
- Descartes, R. (1905). *Discours de la méthode: 1637*. G. Gröber (Ed.). Heitz.
- Desportes, V., & Cuhe, B. (2007). *Décider dans l'incertitude*. Broché.
- Desroches, A., Baudrin, D., & Dadoun, M. (2009). *L'analyse préliminaire des risques: principes et pratiques*. Hermes science publications.
- Didier, C., & Salmon, R. (2004, June). Evaluation du risque d'apparition d'un fontis en surface: un modèle volumétrique probabiliste. In *Journées nationales de géotechnique et de géologie* (pp. 451-461).
- Donnadieu, G., Durand, D., Neel, D., Nunez, E., & Saint-Paul, L. (2003). *L'Approche systémique: de quoi s'agit-il?*. Diffusion de la pensée systémique.
- Dorval, K. B. (1999, December). Strengthening the 'Heartbeat' of creative problem solving-Strategies for facilitating small groups. In *Prepaid for 6th European Conference on Creativity and Innovation*.
- Druilhe, S., (2003). *Les contrats pétroliers à la portée de tous. Publiez Ce Que Vous Payez*.
- Dunjó, J., Fthenakis, V., Vílchez, J. A., & Arnaldos, J. (2010). Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. *Journal of hazardous materials*, 173(1), 19-32.
- Dupont, L., Morel, L., Brissel, L., Chery, O., Camargo, M., Hubert, J., ... & Lacroix, J. (2015). *Rapport final de la Tâche 1 du Projet INCERDD «prise en compte des INCertitudes pour des Décisions Durables»-ANR Ville Durable (Doctoral dissertation, Université de Lorraine; INERIS; université Savoie Mont Blanc; Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand; Université de Bordeaux; Prefet de Meurthe et Moselle; Grand Nancy; ADUAN)*.
- Edgar, M. (1977). *La méthode*. Paris, Seuil, 3.
- Edgar, M. (1980). *La vie de la vie (Vol. 2)*. Éditions du Seuil.
- Edgar, M. (1988). Le défi de la complexité. *Revue Chimères*, 5(6).
- Edgar, M. (1990). *Introduction à la pensée complexe*. Paris: Le Seuil.
- Edmonds, B. (1999) - *Syntactic measures of complexity - Thesis of the University of Manchester for the degree of doctor of philosophy in the faculty of arts*.
- Edwards, P. J., & Bowen, P. A. (1998). Risk and risk management in construction: a review and future directions for research. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 5(4), 339-349.
- Ennaouri, I. (2010). *Modélisation de la dégradation hydraulique et structurale des réseaux sanitaires et pluviaux (Doctoral dissertation, École Polytechnique de Montréal)*.

- Eppinger, S. D. (2002). Patterns of product development interactions.
- Eppinger, S. D., & Browning, T. R., (2012). Design structure matrix methods and applications. MIT press.
- Eweje, J., Turner, R., & Müller, R., (2012). Maximizing strategic value from megaprojects: The influence of information-feed on decision-making by the project manager. *International Journal of Project Management*, 30(6), 639–651.
- Fang, C., Marle, F., & Vidal, L. A. (2010). Modelling risk interactions to re-evaluate risks in project management. In *DSM 2010: Proceedings of the 12th International DSM Conference*, Cambridge, UK, 22.-23.07. 2010.
- Fang, C., (2011). Modeling and Analyzing Propagation Behavior in Complex Risk Network: A Decision Support System for Project Risk Management.
- Fang, C. & Marle, F., (2012). Dealing with project complexity by matrix-based propagation modelling for project risk analysis. *Journal of Engineering Design*, (September), pp.1–18.
- Feng, W. (2013). Strategic Management for Large Engineering Projects: the Stakeholder Value Network Approach, 356.
- Filippone, M., Camastra, F., Masulli, F., & Rovetta, S. (2008). A survey of kernel and spectral methods for clustering. *Pattern recognition*, 41(1), 176-190.
- Frisch, F. (1999). Les études qualitatives. Les Ed. D'organisation.
- Fortin, R. (2005). Comprendre la complexité: introduction à La Méthode d'Edgar Morin. Presses Université Laval.
- Foth, T., Efstathiou, N., Vanderspank-Wright, B., Ufholz, L. A., Dütthorn, N., Zimansky, M., & Humphrey-Murto, S. (2016). The Use of Delphi and Nominal Group Technique in Nursing Education: A Review. *International Journal of Nursing Studies*.
- Fu, Y., Li, M., & Chen, F. (2012). Impact propagation and risk assessment of requirement changes for software development projects based on design structure matrix. *International Journal of Project Management*, 30(3), 363-373.
- Fumey, M. (2001). Méthode d'Evaluation des Risques Agrégés: application au choix des investissements de renouvellement d'installations (Doctoral dissertation)).
- Garrette, B., & Dussauge, P. (1995), *Les Stratégies d'Alliance*, Paris, Les Editions d'Organisation.
- Garrod, B., & Fyall, A. (2005). Revisiting Delphi: The Delphi technique in tourism research. *Tourism research methods: Integrating theory with practice*, 85.
- Gautier J., (2005). “Développement d’un outil d’aide à la décision environnemental durable pour une grande ville.” Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, École polytechnique de Montréal.
- Giard, V. (1991). *Gestion de Projet*, ECOSIP, Collection Gestion. Economica, Paris.
- Grey, S. (1995). *Practical risk assessment for project management (Vol. 25)*. Wiley.

- Gray, C.F., & Larson, E.W. (2007). *Management de projet*.
- Gourc, D. (1999). *Filemanagement des risques en contexte projet: Quelles problématiques*. Ecole d'été «Gestion scientifique du risque, 6-10.
- Gourc, D., Vacher, B., & Pingaud, H. (2001). *Manager les risques en projets: de la prise de conscience à la mise en confiance*. *Communication et organisation*, (20).
- Guide, A. (2001). *Project Management Body of Knowledge (PMBOK® GUIDE)*. In Project Management Institute.
- Guimera, R., & Amaral, L., (2004). *Modeling the world-wide airport network*. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems* 38.
- Guitouni, A., & Martel, J. M. (1998). *Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method*. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501-521.
- Haimes, Y. Y. (2009). *Risk Modeling, Assessment, and Management*, Hoboken, Wiley.
- Hansen, F. E. (1994). *Change order management for construction projects*. *Cost Engineering-Ann Arbor then Morgantown*, 36, 25-25.
- Harrison, E. F. (1999). *The managerial decision-making process*. Houghton Mifflin College Div.
- Hartono, B., Sulisty, S. R., Praftiwi, P. P., & Hasmoro, D. (2014). *Project risk: Theoretical concepts and stakeholders' perspectives*. *International Journal of Project Management*, 32(3), 400-411.
- Hill, G. M. (2013). *The complete project management office handbook*. CRC Press.
- Hillson, D. (2005). *Describing probability: The limitations of natural language*. Project Management Institute.
- Hobbs, B., & Aubry M. (2007). *A multi-phase research program investigating project management offices (PMOs): The Results of Phase 1*. *Project Manage J.* 38(1), 74–86.
- Howard, W.E., Bell, L.C., & McCormick, R.E. (1997). *Economic principales of contractor compensation*. *Journal of Management in Engineering*, 13(5), 81-89.
- IEEE Standard 1220™, 2005. *Standard for application and Management of the Systems Engineering Process*. IEEE Computer Society, Revision of IEEE Standard 1220-1998.
- IFACI, PWC, Landwell. (2005). *Le management des risques de l'entreprise, Cadre de référence, Techniques d'application, COSO II Report*.
- ISO/CEI Guide 51, 1999
- Isaksen, S. G. (1998). *A review of brainstorming research: Six critical issues for inquiry*. Creative Research Unit, Creative Problem Solving Group-Buffalo.
- Jaber, H., Marle, F., & Jankovic, M., (2015). *Improving Collaborative Decision Making in New Product Development Projects Using Clustering Algorithms*. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 62(4), 475-483.

- Jepsen, A.L. & Eskerod, P., (2009). Stakeholder analysis in projects: challenges in using current guidelines in the real world. *International Journal of Project Management*, 27(4), pp.335–343.
- Kamdern, J. S. (2004). *Méthodes analytiques pour le Risque des Portefeuilles Financiers* (Doctoral dissertation, Université de Reims-Champagne Ardenne).
- Kea, B., & Sun, B. C. A. (2015). Consensus development for healthcare professionals. *Internal and emergency medicine*, 10(3), 373-383.
- Kervern, G. Y., Rubise, P., Cousteau, J. Y., & Laborit, H. (1991). *L'archipel du danger: introduction aux cindyniques*.
- Kervern, G. Y. (1995). *Eléments fondamentaux des cindyniques*. Economica.
- Kerven, G. Y. (1999). Le point sur les Cindyniques au 1 septembre 1999, *Sciences du danger*. Ecole d'été «Gestion scientifique du risque, 6-10.
- Killen, C.P. & Kjaer, C., (2012). Understanding project interdependencies: the role of visual representation, culture and process. *International Journal of Project Management*, 30(5), pp.554–566.
- Klein Woolthuis, R., Hillebrand, B. & Nooteboom, B., 2005. Trust, Contract and Relationship Development. *Organization Studies*, 26(6), pp.813–840.
- Kleindorfer, S.G., (2005). Managing Disruption Risks in Supply Chains. *Production and Operations Management*, 14(1), pp.53–68.
- Klir, G. J., & Valach, M. (1965). *Cybernetic modeling*, (trad. anglaise 1967). SNTL, Prague.
- Klir, G. J. (1969). *Approach to general systems theory*.
- Kochan, T.A., Smith, M., Wells, J.C., & Rebitzer, J.B., 1994. Human resource strategies and contingent workers: The case of safety and health in the petrochemical industry. *Human Resource Management*, 33(1), 55-77.
- Kourilsky, F. (2003). *Un nouvel esprit scientifique. Ingénierie de l'interdisciplinarité*.
- Kuster, J., Jannach, D. & Gerhard, F., (2009). Extending the RCPSP for Modeling and Solving Disruption Management Problems. *Applied Intelligence*, 31(3), pp.234–253.
- Kutsch, E., & Hall, M. (2010). Deliberate ignorance in project risk management. *International journal of project management*, 28(3), 245-255.
- Kwak, Y. & Anbari, F., (2009). Analyzing project management research: Perspectives from top management journals. *International Journal of Project Management*, 27(5), pp.435–446.
- Lam, K. C., Wang, D., Lee, P. T., & Tsang, Y. T. (2007). Modelling risk allocation decision in construction contracts. *International Journal of Project Management*, 25(5), 485-493.
- Landeta, J. (2006). Current validity of the Delphi method in social sciences. *Technological forecasting and social change*, 73(5), 467-482.

- Latham, M. (1994). Constructing the team: joint review of procurement and contractual arrangements in the United Kingdom construction industry. Final Rep.
- Larson, E.W., & Gray, C.F. (2010). Project management: the managerial process. McGraw-Hill Education-Europe, Fifth edition.
- Lau, E. & Rowlinson, S., (2009). Interpersonal Trust and Inter-Firm Trust in Construction Projects. *Construction Management and Economics*, 27(6), pp.539–554.
- Legros, D. (2009). Maîtrise des risques dans les systèmes de transport: proposition d'une nouvelle approche de modélisation dynamique (Doctoral dissertation, École Nationale Supérieure des Mines de Paris).
- Le Moigne, J. L., (1990). La mémoire du réseau: tout s'écoule... et pourtant. *Flux*, 6(2), 25-32.
- Le Moigne, J. L., & Simon, H. A. (1991). Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel. Dunod.
- Le Moigne, J. L. (1994). La théorie du système général: théorie de la modélisation. jeanlouis le moigne-ae mcx.
- Lesca, H., & Lesca, N. (2011). Les signaux faibles et la veille anticipative pour les décideurs: méthodes et applications. Lavoisier.
- Lindsay, P. H., & Norman, D. A. (1980). Traitement de l'information et comportement humain: une introduction à la psychologie. Editions Etudes vivantes.
- Linstone, H. A., & Turoff, M. (2002). The Delphi Method. Techniques and applications, 53.
- Litcanu, M., Prostean, O., Oros, C., & Mnerie, A. V. (2015). Brain-Writing Vs. Brainstorming Case Study For Power Engineering Education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 191, 387-390.
- Love, P.E.D., Park, M. & Han, S., (2013). System Dynamics Modeling in the Project Environment. *Mathematical and Computer Modelling*, 9(57), pp.2029–2031.
- Lyons, T. (2003). Project risk management in the construction industry: a review. Australian Institute of Quantity Surveyors.
- MacCormack, A., Baldwin, C.Y. & Rusnak, J., (2008). The Impact of Component Modularity on Design Evolution: Evidence from the Software Industry,
- Maders, H. P., & Masselin, J. L. (2009). Piloter les risques d'un projet. Editions Eyrolles.
- Madni, A. M. (2007). Designing for resilience. ISTI Lecture Notes on Advanced Topics in Systems Engineering.
- Magar, F. (2010). Ingénierie juridique : pratique des clauses de rencontre et renégociation. Dalloz, p.1959.
- Mahmoud-Jouini, S. B., & Calvi, R. (2004). Les coopérations inter-entreprises dans les projets de développement. *Faire de la recherche en gestion de projet*, pp-161.

- Marle, F., & Vidal, L. (2008). Potential applications of DSM principles in project risk management. In *DSM 2008: Proceedings of the 10th International DSM Conference*, Stockholm, Sweden, 11.-12.11. 2008.
- Marle, F. & Vidal, L.-A., (2011). Project Risk Management Processes: Improving Coordination Using a Clustering Approach. *Research in Engineering Design*, 22, pp.189–206.
- Marle, F. & Vidal, L.-A., (2013). Forming Risk Clusters in Projects to Improve Coordination between Risk Owners. *Journal of Management in Engineering*, 30(4), p.06014001.
- Marle, F., Vidal, L. A., & Bocquet, J. C. (2013). Interactions-based risk clustering methodologies and algorithms for complex project management. *International Journal of Production Economics*, 142(2), 225-234.
- Marle, F., & Vidal, L. A. (2013). Forming risk clusters in projects to improve coordination between risk owners. *Journal of Management in Engineering*, 30(4), 06014001.
- Marle, F. & Vidal, L.-A., (2016). *Managing Complex, High-Risk Projects*, Springer.
- Marsh, D. (2000). The programme and project support office. In: Turner, Rodney J., Simister, Stephen J. (Eds), *Handbook of Project Management*. England, Gower, Aldershot, pp. 131-144.
- Maylor, H., Turner, N. & Murray-Webster, R., 2013. How hard can it be? Actively managing complexity in technology projects. *Research-Technology Management*, 56(4), pp.45–51.
- Maystre, L. Y., Pictet, J., & Simos, J. (1994). *Méthodes multicritères ELECTRE: description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale (Vol. 8)*. PPUR presses polytechniques.
- Mazeaud, D. (1999). Loyauté, Solidarité, Fraternité : la nouvelle devise contractuelle. In *L'avenir du droit, Mélanges Terré*, Dalloz. PUF. Juris-Class, p.603.
- Mazouni, M. H. (2008). *Pour une meilleure approche du management des risques: de la modélisation ontologique du processus accidentel au système interactif d'aide à la décision (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL)*.
- Mena, S. B. (2000). Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 4(2), 83-93.
- Michel, S., Gouvitsos, J., & Ferrera-Tourenc, V. (2013). Confrontation analyse prédictive des risques (APR) et analyse des modes de défaillance et de leur criticité (AMDEC) dans les laboratoires IH de l'EFS AM. *Transfusion clinique et biologique*, 3(20), 356-357.
- Mikkola, J. H., & Gassmann, O. (2003). Managing modularity of product architectures: toward an integrated theory. *IEEE transactions on Engineering Management*, 50(2), 204-218.
- Minzberg, H. (1982). *Structure et dynamique des organisations*. Paris: Les éditions d'organisation.
- Mintzberg, H. (1989). *Mintzberg on management: Inside our strange our strange world of organizations*. New York: The Free Press.
- Milch, V., & Laumann, K., 2016. Inter-organizational complexity and organizational accident risk: A literature review. *Safety science*, 2016, vol. 82, p. 9-17.

- Moles, A. A. (1972). Notes pour une typologie des événements. *Communications*, 18(1), 90-96.
- Müller, R., (2009). *Project Governance*. Gower Publishing Ltd, Farnham.
- Munier, B., & Taverdet-Popiolek, N. (1999). Choix multicritères dans le risque et variables multidimensionnelles: proposition de méthode et application aux réseaux de transport d'énergie. *Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle*, 33(4), 543-568.
- Murphy, M. K., Black, N. A., Lamping, D. L., McKee, C. M., Sanderson, C. F., Askham, J., & Marteau, T. (1998). Consensus development methods, and their use in clinical guideline development. *Health technology assessment (Winchester, England)*, 2(3).
- Nenonen, S., & Vasara, J., (2013). Safety management in multiemployer worksites in the manufacturing industry: Opinions on co-operation and problems encountered. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19(2), 167–183.
- Novak, S., & Eppinger, S. D. (2001). Sourcing by Design : Product Supply Chain Complexity the. *Management Science*, 47(1), 189–204.
- Oehmen, J. et al., (2015). *Complexity Management for Projects, Programmes, and Portfolios: An Engineering Systems Perspective*, Project Management Institute (white paper).
- Parrod, N. et al., (2007). Cooperative Subcontracting Relationship within a Project Supply Chain: A Simulation Approach. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15(2), pp.137–152.
- Pender, S. (2001). Managing incomplete knowledge: Why risk management is not sufficient. *International Journal of Project Management*, 19(2), 79-87.
- Perrow, C., (1984). *Normal accidents: Living with high-risk technologies*. NY: Basic Books.
- Petit, P. (2008). *Toute la fonction achats: savoirs, savoir-faire, savoir-être*. Dunod.
- Pícha, J., Tomek, A., & Löwitt, H. (2015). Application of EPC contracts in international power projects. *Procedia Engineering*, 123, 397-404.
- Pimmler, T. U., & Eppinger, S. D. (1994). Integration analysis of product decompositions.
- Pitsis, T.S. et al., (2014). Governing projects under complexity: theory and practice in project management. *International Journal of Project Management*, 32(8), pp.1285–1290.
- PMI. (2013). *Project Management Institute*.
- Post, R. L. (2001). HazRop: an approach to combining HAZOP and RCM. *Hydrocarbon processing*, 80(5), 69-76.
- Rand, G., (2000). *Critical Chain: the Theory of Constraints Applied to Project Management*. *International Journal of Project Management*, 18(3), pp.173–177.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, (3), 257-266.

- Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge university press.
- Romdhane, T. B., Ammar, F. B., & Badreddine, A. (2007). Une approche par la logique floue pour l'optimisation multicritère de la prise de décision appliquée à l'AMDEC. *Journal of Decision Systems*, 16(4), 505-544.
- Rouvière, F. (2010). La remise en cause du contrat par le juge. L'efficacité du contrat. Aix-en-Provence, France. Dalloz, p.41-56.
- Rowe, W. D. (1977). *Anatomy of risk*. John Wiley.
- Roy, B. (1985). *Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision*, Collection Gestion, Série Production et techniques quantitatives appliquées à la gestion. Economica, Paris.
- Roy B. et Slowinski R. (2013) - Questions guiding the choice of a Multicriteria decision aiding method – Cahier du LAMSADE
- Rugers, J. A., & Haley, H.D. (1996). Project risks and risk allocation. *Cost Engineering*, 38(9), 27–30.
- Salomon, V. A., & Montevechi, J. A. B. (2001, August). A compilation of comparisons on the analytic hierarchy process and others multiple criteria decision making methods: some cases developed in Brazil. In 6th International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Bern.
- Santana, E. A. (1996). Múltiplos critérios: uma alternativa, apesar das fragilidades das soluções. Santa Catarina: UFSC, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas.
- Schärlig, A. (1985). *Décider sur plusieurs critères: panorama de l'aide à la décision multicritère* (Vol. 1). PPUR presses polytechniques.
- Schwind, N., Magnin, M., Inoue, K., Okimoto, T., Sato, T., Minami, K., & Maruyama, H. (2016). Formalization of resilience for constraint-based dynamic systems. *Journal of Realable Intelligent Environments*. 2:17-35.
- Shi, L. (2001). The convergence of vulnerable characteristics and health insurance in the US. *Social science & medicine*, 53(4), 519-529.
- Simon, H. A. (1976). *Administrative behavior; a study of decision-making processes in administrative organization-3*.
- Simon, H. A. (1979). Rational decision making in business organizations. *The American economic review*, 69(4), 493-513.
- Simon, H. A. (1979). *Models of thought* (Vol. 1). Yale University Press.
- Simon, H. A. (1991). Bounded rationality and organizational learning. *Organization science*, 2(1), 125-134.
- Sinha, S., Thomson, A.I. and Kumar, B. (2001) - A complexity index for the design process - International Conference on Engineering Design, ICED'01, Vol.1, Glasgow, pp.157-163, Professional Engineering Publishing, Bury St Edmunds.

- Sosa, M. E., Eppinger, S. D., & Rowles, C. M. (2003). Identifying modular and integrative systems and their impact on design team interactions. *Journal of Mechanical Design*, 125(2), 240-252.
- Steward, D. V. (1981). The design structure system: A method for managing the design of complex systems. *Engineering Management, IEEE Transactions on*, (3), 71-74.
- Stoddart-Stones, R. (1988). Development of project management systems for major projects. *Project Management*, 6(1), 34-38.
- Svejvig, P. & Andersen, P., (2014). Rethinking project management: A structured literature review with a critical look at the brave new world. *International Journal of Project Management*, 33(2), pp.278-290.
- Teboul, G. (2010). La prévision en droit des affaires : utopie ou nécessité ? *Gazette du palais. Actes de colloque*, n°364, p.4.
- Thebeau, R. E. (2001). Knowledge management of system interfaces and interactions from product development processes (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Thomas, H. (2008). Vulnérabilité, fragilité, précarité, résilience, etc. *Recueil Alexandries*.
- Thomas, J., & Mullaly, M. (2008). Researching the value of project management. *Project Management Institute, Inc., Editor .Newtown Square, PA*.
- Thompson, J. D. (1967). *Organizations in action: Social science bases of administrative theory*. Transaction publishers.
- Thompson, P., & Perry, J. G. (1992). *Engineering construction risks: A guide to project risk analysis and assessment implications for project clients and project managers*. Thomas Telford.
- Tonni, I., & Oliver, R. (2013). A Delphi approach to define learning outcomes and assessment. *European Journal of Dental Education*, 17(1), e173-e180.
- Trammell, S. R., & Davis, B. J. (2001). Using a modified HAZOP/FMEA methodology for assessing system risk. In *Engineering Management for Applied Technology, 2001. EMAT 2001. Proceedings. 2nd International Workshop on* (pp. 47-53). IEEE.
- Turner, J. R., & Simister, S. J. (2001). Project contract management and a theory of organization. *International journal of project management*, 19(8), 457-464.
- Van de Ven, A.H., & Garud, R. (1994). The eco-evolution of technical and institutional events in the development of an innovation. In: Baum JAC, Singh JV, editors. *Evolutionary Dynamics of Organization*. New-York: Oxford University Press. p.425-443.
- Van Marrewijk, A. et al., (2008). Managing public-private megaprojects: Paradoxes, complexity, and project design. *International Journal of Project Management*, 26, pp.591-600.
- Vidal, L.A., Marle, F. and Bocquet, J.C. (2007) - Modelling project complexity - *International Conference on Engineering Design, ICED'07, Paris, France*.
- Vidal, L. A. (2009). Thinking project management in the age of complexity. Particular implications on project risk management (Doctoral dissertation, Ecole Centrale Paris).

- Vidal, L.-A., & Marle, F. (2012). A systems thinking approach for project vulnerability management. *Kybernetes*, 41(1/2), 206–228.
- Vidalie, A., (1994). Vietnam : le parcours du Combattant, Enjeux Les Echos, Publié en Mars.
- Von Bertalanffy, L. (1968). *General systems theory: Foundations, development, applications*. New York: Braziller.
- Ward, S., & Chapman, C. (1994). Choosing contractor payment terms. *International Journal of Project Management*, 12(4), 216-221.
- Ward, S., & Chapman, C. (2003). Transforming project risk management into project uncertainty management. *International Journal of Project Management*, 21(2), 97-105.
- Watt, D.J., Kayis, B. & Willey, K., (2009). Identifying key factors in the evaluation of tenders for projects and services. *International Journal of Project Management*, 27(3), pp.250–260.
- Watzlawick, P., Beavin, J. H., Jackson, D. D., & Morche, J. (1972). *Une logique de la communication*.
- Wearne, S. (1989). *Civil engineering contracts*.
- Weick, K.E. & Sutcliffe, K.M., (2001). *Managing the Unexpected: Assuring High Performance in an Age of Complexity*, San Francisco, CA: Wiley.
- Whitty, S.J. & Maylor, H., (2009). And then came Complex Project Management. *International Journal of Project Management*, 27(3), pp.304–310.
- WIE, J. D. (1999). Against risk. *Risk Decision and Policy*, 4(1), 57-73.
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics* (p. 112). Paris: Hermann.
- Williams, T. M. (1996). The two-dimensionality of project risk. *International Journal of Project Management*, 14(3), 185-186.
- Williamson, O. E. (1979). Transaction-cost economics: the governance of contractual relations. *The journal of law & economics*, 22(2), 233-261.
- Williamson, O. E. (2012). The University of Chicago The Booth School of Business, The University of Chicago law school *Transaction-Cost Economics : The Governance of Contractual Relations* transaction-cost economics: the governance of contractual relations, 22(2), 233–261.
- Worren, N., (2012). *Organisation Design: Re-defining complex systems*, Pearson.
- Woudenberg, F. (1991). An evaluation of Delphi. *Technological forecasting and social change*, 40(2), 131-150.
- Wybo, J. L. (1998). *Introduction aux cindyniques*.
- Yang, Q., Yao, T., Lu, T., & Zhang, B. (2014). An overlapping-based design structure matrix for measuring interaction strength and clustering analysis in product development project. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 61(1), 159-170.

- Yang, R. J., & Zou, P. X. (2014). Stakeholder-associated risks and their interactions in complex green building projects: A social network model. *Building and Environment*, 73, 208-222.
- Yang, R. J., Zou, P. X., & Wang, J. (2016). Modelling stakeholder-associated risk networks in green building projects. *International journal of project management*, 34(1), 66-81.
- Zanakis, S. H., Solomon, A., Wishart, N., & Dublisch, S. (1998). Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods. *European journal of operational research*, 107(3), 507-529.
- Zheng, J., Roehrich, J.K. & Lewis, M. a., (2008). The dynamics of contractual and relational governance: Evidence from long-term public–private procurement arrangements. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 14(1), pp.43–54.
- Zhu, G., Bard, J.F. & Yu, G., (2004). Disruption Management for Resource-Constrained Project Scheduling. *Journal of the Operational Research Society*, 56(4), pp.365–381.

Titre : Aide à la maîtrise des risques liés à la contractualisation et l'exécution d'un projet complexe pétrolier

Mots clés : Contractualisation, Execution, Risques, Projet complexe

Résumé : Dans le cadre de projets pétroliers fortement externalisés, il a été demandé de modifier le processus et l'organisation du management des risques liés à cette sous-traitance dans le projet en phase contractualisation et exécution, tout en réduisant les risques de surcoûts et de retard sur le planning initial qui se produisent principalement après la signature des contrats.

Les types de contrats actuels (EPC lump sum, EPCC remboursable ...) sont définis d'une manière statique pour tenter de figer les exigences et les paramètres du contrat. Toutefois, les risques peuvent survenir au cours du processus de développement du contrat, avec des conséquences beaucoup plus graves qui se produisent lors de l'exécution du contrat. Les types de contrats actuellement utilisés sont-ils encore adaptés au contexte actuel ?

Le projet étant constitué de plusieurs contrats et un contrat faisant intervenir plusieurs parties prenantes, il existe donc une multitude d'interactions entre les acteurs. Elles prennent place à l'intérieure d'un contrat, mais aussi entre les contrats et peuvent se produire avec des temporalités synchrones ou asynchrones. Nous proposerons dans ce mémoire, une nouvelle approche et des moyens pour : aider les décideurs à anticiper les risques associés à ces interactions (à un niveau de détail se focalisant sur les contrats et la stratégie contractuelle), réduire les risques associés à ces interactions multi-phases, multi-domaines et en particulier multi-acteurs.

Enfin, le mémoire sera conclu par une conclusion industrielle et académique explicitant aussi les perspectives à donner.

Title : Helps to control risks associated with contracting and execution of an oil complex project

Keywords : Contracting, Execution, Risks, Complex project

Abstract: In the context of highly outsourced oil projects, it was requested to modify the process and the organization of the risk management related to this subcontracting in the project in contracting and execution phase, while reducing risks Incremental costs and delays in initial planning that occurs after the contracts are signed.

The current contract types are defined in a static way for the purposes of parameters and contract parameters. However, risks can arise during the contract development process, with the far more serious consequences that occur during the performance of the contract. Are the types of contracts currently in use still adapted to the current context?

Since the project consists of several contracts and a multi-stakeholder contract, there is a multitude of interactions between stakeholders. They take place inside a contract, but also in contracts and can be produced with synchronic or asynchronous synonyms. We propose in this paper a new approach and means to: help decision-makers anticipate the risks associated with interactions (at a level of detail focusing on contracts and contractual strategy), reduce risks associated with multi-phase interactions, Multi-domain and in particular multi-actor.

Finally, the dissertation will be concluded by an industrial and academic conclusion also explaining the prospects to be given.

