

UNIVERSITE CHAHID MOSTEFA BEN BOULAID DE BATNA 2
INSTITUT D'HYGIENE ET SECURITE INDUSTRIELLE (IHSI)
LABORATOIRE DE RECHERCHE EN PREVENTION INDUSTRIELLE (LRPI)



THÈSE

PRESENTEE ET SOUTENUE PAR

Yacine BELMAZOUZI

MAGISTER EN HYGIENE ET SECURITE INDUSTRIELLE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE

DOCTORAT EN SCIENCES

HYGIENE ET SECURITE INDUSTRIELLE

OPTION: GESTION DES RISQUES

**DEVELOPPEMENT ET VALIDATION D'UNE
APPROCHE DE DECISION SOCIOTECHNIQUE
LIEE AUX PROBLEMES D'INDUSTRIALISATION
EN ALGERIE**

Soutenue publiquement le 11/02/2021 devant le Jury composé de :

Dr. Rachid NAIT-SAID, Professeur à l'Université de Batna 2

Président

Dr. Mébarek DJEBABRA, Professeur à l'Université de Batna 2

Rapporteur

Dr. Bachir MOKHTARI, Maitre de Conférences A à l'Université de Laghouat

Examineur

Dr. Belkhir NEGROU, Maitre de Conférences A à l'Université d'Ouargla

Examineur

Dr. Hefaidh HADEF, Maitre de Conférences B à l'Université de Biskra

Invité

DEDICACES

Je dédie ce travail principalement à :

- La mémoire de mes grands-pères (Allal & El Mazouzi B.) et de ma grande-mère (Saadia B.) ;
- Ma grande-mère (Daouia H.) ;
- Mes chers parents (Daouia B. & Mohammed) ;
- Ma chère femme (Halima T.) et ses chers parents (Sayeh & Oum Ikheir K.) ;
- Mes chers sœurs et frères (Amina et son mari « Hamza E. H », Khadidja, Asma, Soheib & Mouaadh) ;
- Ceux et celles qui m'aiment.

...Y. BELMAZOUZI

REMERCIEMENTS

Cette thèse de doctorat est réalisée au sein du Laboratoire de Recherche en Prévention Industrielle (LRPI) de l'Institut d'Hygiène et Sécurité (IHS) de l'Université Chahid Mostefa Ben Boulaid "Batna 2" sous la direction du Professeur Mébarek DJEBABRA que je remercie très vivement pour l'accompagnement durant la période de ma recherche doctorale ainsi que pour ses orientations précieuses et sa rigueur scientifique qui m'ont permis d'achever ce travail dans de bonnes conditions.

Mes remerciements chaleureux vont aux membres du jury qui ont assumé la lourde charge pour expertiser cette thèse. Notamment, le président du Jury, Professeur Rachid NAIT-SAID, et les membres examinateurs : Docteur Bachir MOKHTARI et Docteur Belkhir NEGROU.

Un remerciement est adressé au Docteur Hefaidh HADEF pour ses implications dans l'achèvement de cette thèse de doctorat et d'avoir accepté de participer au Jury en tant qu'invité.

Je tiens à saluer le personnel administratif et les enseignants de l'Institut d'Hygiène et Sécurité ainsi que mes collègues de travail au niveau de la Division HSE de la Direction Régionale Stah - Groupe Sonatrach.

Enfin, mes vifs remerciements sont adressés aux membres de ma petite famille pour leurs encouragements et leurs soutiens continus.

...Y. BELMAZOUZI

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	II
REMERCIEMENTS	III
TABLE DES MATIERES	IV
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	VIII
Liste des abréviations	IX
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : Contexte réglementaire et technique du vieillissement des installations pétro-gazières	
Introduction	7
I.1. Revue législative et réglementaire des installations d'O&G : cas de l'Algérie	7
I.1.1. Définitions des installations d'O&G et caractérisation de leurs activités	7
I.1.2. Régimes d'Autorisation/ Déclaration	10
I.1.3. Contrôle HSE	13
A. Phase de conception	13
B. Phase de construction	13
C. Phase de mise en produit	14
I.1.4. Classifications	16
A. Appareils à pression de gaz	16
B. Appareils à pression de vapeur	17
C. Machines et mécanismes	18
D. Installations de lutte contre l'incendie	19
E. Appareils de levage	19
F. Instruments de mesure	19
G. Canalisation de transport d'hydrocarbures liquides, liquéfiés sous pression et gazeux et ouvrage annexes	20
H. Appareils émettant de bruit	21
I. Appareils électriques	21
I.1.5. Synthèse	22
I.2. Sûreté de fonctionnement des installations d'O&G	23
I.2.1. Fiabilité	24
I.2.2. Disponibilité	26
I.2.3. Maintenabilité	26
I.2.4. Sécurité	27
I.3. A propos du VI-O&G	28
I.3.1. Définitions	28

TABLE DES MATIERES

I.3.2. Approches scientifiques d'étude du VI-O&G	28
A. Approche fiabiliste	28
B. Approche physique	30
Conclusion	31
CHAPITRE II : Approches de la maîtrise du vieillissement des installations pétro-gazières	
Introduction	32
II.1. Historique du VI-O&G	33
II.2. Standards internationaux relatifs au VI-O&G	35
II.2.1. Identification et hiérarchisation des équipements importants	37
II.2.2. Evaluation du vieillissement des équipements importants	37
II.2.3. Mise en œuvre des parades adéquates	38
II.3. Différentes approches de la maîtrise du VI-O&G	38
II.3.1. Approche basée sur l'anticipation	38
II.3.2. Approche à base de risques : cas du -RBI-	40
II.3.3. Approche basée sur les indicateurs du vieillissement industriel	42
Conclusion	43
CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach	
Introduction	45
III.1. Présentation du champ d'application de la démarche du vieillissement industriel préconisée : cas du Groupe Sonatrach-Algérie	46
III.1.1. Présentation générale du Groupe Sonatrach	46
III.1.2. Principales activités du Groupe Sonatrach	47
A. Activité d'exploration et de production (E&P)	47
B. Activité de transport par canalisation (TRC)	48
C. Activité de liquéfaction et de séparation (LQS)	48
D. Activité de raffinage et de pétrochimie (RPC)	48
E. Activité de commercialisation (COM)	49
III.2. Démarche préconisée pour l'évaluation du vieillissement des installations onshore	49
III.2.1. Construction des indicateurs du vieillissement des installations onshore	49
A. Objectifs du Groupe Sonatrach en matière du vieillissement industriel	49
B. Stratégie de construction des indicateurs du vieillissement des installations onshore	51
III.2.2. Priorisation des indicateurs du vieillissement des installations onshore	58
III.3. Résultats d'application de la démarche préconisée	60
III.4. Discussion des résultats	62
Conclusion	63

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE IV : Proposition d'un modèle en spirale du management des changements	
Introduction	65
IV.1. Présentation du Référentiel MOC du Groupe Sonatrach-Algérie	66
IV.1.1. Présentation générale du référentiel MOC	66
IV.1.2. Présentation détaillée du référentiel MOC	67
A. Etape d'initiation de la modification	67
B. Etape d'évaluation des risques inhérents à la modification suggérée	68
C. Etape d'approbation par le comité d'évaluation technique	69
IV.2. Application du Référentiel MOC à deux projets de modifications	72
IV.2.1. Présentation succincte du champ d'application du MOC	72
IV.2.2. Projet de modification des fonctions instrumentées de sécurité	76
A. Etape d'initiation	76
B. Etape d'évaluation des risques	79
IV.2.3. Projet de modification des deux lignes de collecteur principal	81
A. Etape d'initiation	81
B. Etape d'évaluation des risques	83
C. Etape de gestion de la modification	85
IV.2.4. Commentaires et discussions des deux projets de modification	87
IV.3. Proposition d'un modèle en spirale(s) pour l'enrichissement du Référentiel MOC du Groupe Sonatrach	89
Conclusion	93
CONCLUSION GENERALE	94
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	97
ANNEXE 1 : Définitions et numéros des rubriques	105
ANNEXE 2 : Dossier préliminaire et final "HSE"	108
ANNEXE 3 : Techniques de CND	111
ANNEXE 4 : Modèle du bilan annuel de réalisation HSE	116
ANNEXE 5 : Article scientifique	119
RESUME – ملخص – ABSTRACT	120

LISTE DES FIGURES

Figure A. Demande mondiale en énergie de 2019 à 2040	1
Figure B. Principales tendances de la demande mondiale en énergie d'O&G	2
Figure C. Modèle de la recherche et articulations des travaux de thèse	6
Figure I.1. Transformateur triphasique	8
Figure I.2. Puits producteur de pétrole	8
Figure I.3. Cycle de chaîne du secteur d'O&G	9
Figure I.4. Chronologie législative et réglementaire du VI-O&G	23
Figure I.5. Dégradation d'un équipement durant la durée de vie	24
Figure I.6. Allure de la courbe de la fiabilité d'un équipement	25
Figure I.7. Allure de la courbe de la disponibilité d'un équipement	26
Figure I.8. Allure de la courbe de la maintenabilité d'un équipement	27
Figure I.9. Courbe de l'approche fiabiliste "Courbe en baignoire"	29
Figure I.10. Evolution associée à l'approche physique	30
Figure II.1. Informations relatives à la démarche d'anticipation	38
Figure II.2. Lien entre les acteurs de la gestion des connaissances et la logigramme d'AVISE	39
Figure II.3. Organigramme des tâches pour RIMAP	41
Figure III.1. Politiques de maintenance des équipements	53
Figure III.2. Structure de DE N°14-349	55
Figure III.3. Illustration des distances à l'idéal et à l'anti-idéal	58
Figure III.4. Hiérarchisation des indicateurs du vieillissement des sites retenus	62
Figure IV.1. Interaction de MOC avec les éléments du HSE-MS	66
Figure IV.2. Etapes du processus de MOC	67
Figure IV.3. Grille d'évaluation des risques générés par une modification	68
Figure IV.4. Acteurs impliqués dans un projet de modification gouverné par MOC	71
Figure IV.5. Plan d'implantation des champs de site de Stah	72
Figure IV.6. Traitement de gaz au niveau de CPF	73
Figure IV.7. Schéma des zones de procédé de SBF	74
Figure IV.8. Principaux blocs d'EPF	75
Figure IV.9. Schéma P&ID des slugcatchers	77
Figure IV.10. Diagramme causes-effets des FIS étudiées	78
Figure IV.11. Schéma d'acheminement entre M1 et CPF	81
Figure IV.12. Schéma de skid proposé	82
Figure IV.13. Approbation de la modification par CET	86
Figure IV.14. Modèle de la spirale d'une modification engagée	91
Figure IV.15. Modèle des spirales d'une modification engagée	91
Figure IV.16. Extraction des solutions pour l'EPM	92
Figure IV.17. Mémoire de "CM" partagée	93

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1. Nomenclature des IC en Algérie	11
Tableau I.2. Exemple de la nomenclature des installations d'O&G	12
Tableau I.3. Domaines de tension	22
Tableau I.4. Textes législatifs et réglementaires des autres constituants du secteur d'O&G	22
Tableau I.5. Contrôles associés de l'approche physique	31
Tableau I.6. Comparaison entre la modélisation fiabiliste et physique	31
Tableau II.1. Accidents dû au VI-O&G entre 2006 et 2018 au niveau de l'Algérie	34
Tableau II.2. Inspection réglementaire des APG	35
Tableau II.3. Inspection réglementaire des APV	35
Tableau II.4. Inspection des capacités sous pression	36
Tableau II.5. Inspection des tuyauteries sous pression	36
Tableau II.6. Grandes tendances des études de vieillissement	38
Tableau III.1. Extrait des données des sites retenus	60
Tableau III.2. Quantification des indicateurs de vieillissement des sites étudiés	61
Tableau IV.1. Exemples de modifications suggérées au niveau du champ d'Alrar	76
Tableau IV.2. AVM de projet de modification des FIS	78
Tableau IV.3. Evaluation de la nécessité d'évaluation poussée (premier projet)	79
Tableau IV.4. Evaluation des risques par une check-list (premier projet)	80
Tableau IV.5. Etude HAZOP (premier projet de modification)	80
Tableau IV.6. AVM de projet de modification des lignes de collecteur principal	82
Tableau IV.7. Evaluation de la nécessité d'évaluation poussée (second projet)	83
Tableau IV.8. Evaluation des risques par une check-list (second projet)	84
Tableau IV.9. Etude HAZOP (second projet de modification)	85

LISTE DES ABREVIATIONS

AC	Amélioration Continue
AM	Autorisation Ministérielle
APG	Appareils à Pression de Gaz
APV	Appareils à Pression de Vapeur
ARH	Autorité de Régulation des Hydrocarbures
ATEX	Atmosphère Explosive
AVM	Analyse de la Validité de la Modification
CET	Comité d'Evaluation Technique
CM	Code de la Modification
CND	Contrôle Non Destructif
CPF	Central Processing Facilities
D	Déclaration
D/A-M	Diffusion/ Archivage de la Modification
DCS	Distributed Control System
DE	Décret Exécutif
EC	Etablissements Classés
EDD	Etude Des Dangers
EIE	Etude d'Impact Environnemental
EPF	Early Production Facilities
EPM	Expertise de Plan de Modification
ESD	Emergency Shutdown
EST	Experts de la Structure Technique
FIS	Fonction Instrumentée de la Sécurité
FP	Facteurs Potentiels
HAZOP	Hazard and Operability study
HSE	Health, Safety and Environment
HSE-MS	Health, Safety and Environment – Management System
IC	Installations Classées
LCM	Lettre de la Clôture de la Modification
MO	Maitre de l'Ouvrage
MOC	Management Of Change
NIE	Notice d'Impact Environnemental
Os	Objectif Stratégique du Groupe Sonatrach sur l'horizon 2030
O&G	Oil and Gas (Pétro-gaz)
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
PM	Plan (ou dossier) de la Modification
PMV	Programme de Maîtrise du Vieillissement
RBI	Risk-Based Inspection
REX	Retour d'Expérience
RIMAP	Risk-Based Inspection and Maintenance Procedures

LISTE DES ABREVIATIONS

RM	Requête de la Modification
RPD	Rapport sur les Produits Dangereux
SBF	Separation and Boosting Facilities
SdF	Sûreté de Fonctionnement
SGS	Système de Gestion de la Sécurité
SMI-QSE	Système de Management Intégré – Qualité, Sécurité et Environnement
SRM	Structure chargée de la Réalisation de la Modification
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
VI-O&G	Vieillessement des Installations d'O&G
VM	Validité de la Modification

INTRODUCTION GENERALE

Face à la croissance démographique et l'expansion économique au niveau mondial, une augmentation de la demande en énergie de pétro-gaz (Oil and Gas "O&G", en anglais) devient de plus en plus remarquable. Le secteur de cette énergie vit, depuis les années 2000, des évolutions majeures qui transforment les équilibres mondiaux de l'offre et de la demande. A ce propos, la figure A inspirée du rapport de référence "édition 2020 des perspectives énergétiques mondiales"¹ de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), a montré que la demande mondiale en O&G est, non seulement, en croissance mais elle prime également sur les autres énergies.

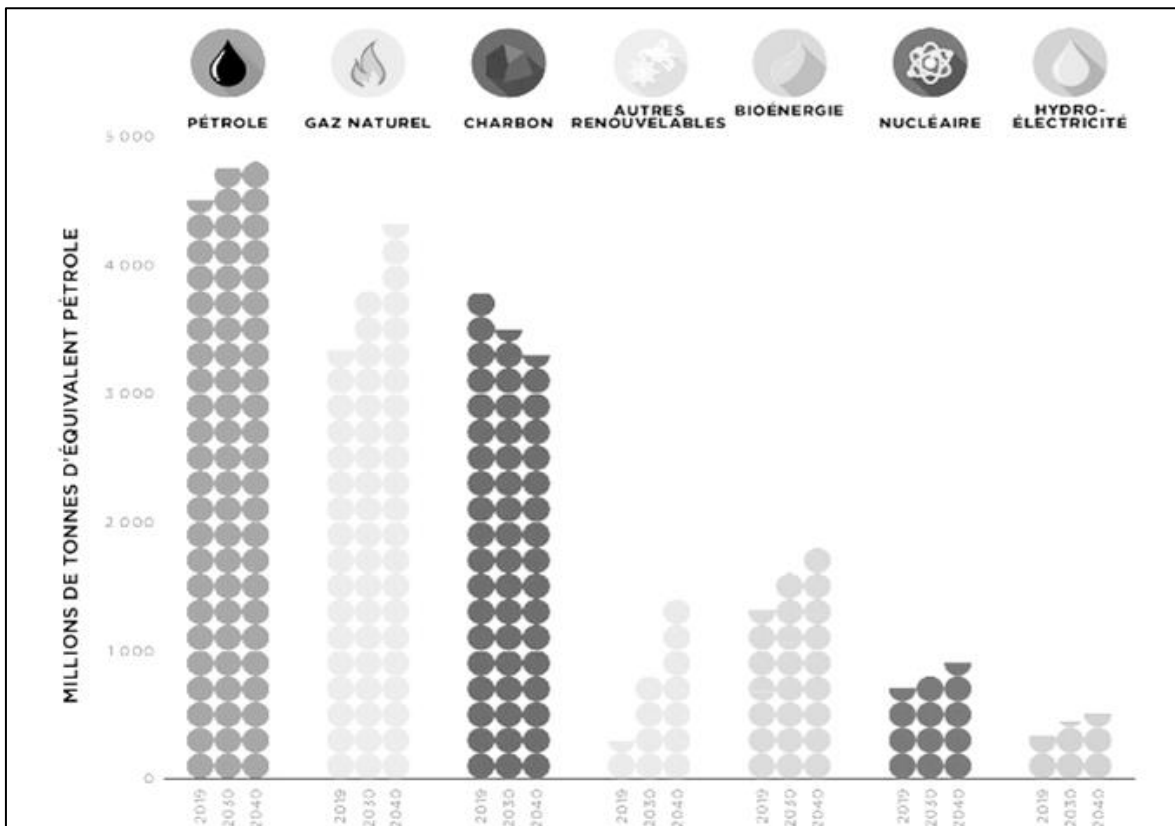


Figure A. Demande mondiale en énergie de 2019 à 2040.

¹ Le site web : <https://www.capp.ca/fr/energie/besoins-energetiques-mondiaux/> (Dernière consultation : 01.11.2020).

Dans le même contexte, l'Association "Algeria-Watch"² a confirmé dans son article rédigé le 29.10.2019 que la demande interne de l'Algérie en gaz et en produits pétroliers a connu une croissance supérieure à 7 % ; ce qui engendre à l'horizon 2025-2030, un déficit dans le marché national en terme d'offre/demande.

Par ailleurs, Hey (2017) a déjà soulevé la présence des enjeux auxquels les exploitants du secteur d'O&G étaient confrontés jusqu'à ce jour et qui se caractérisent, essentiellement, par deux tendances : la première axée sur l'exploitation optimale de ces ressources tout en restant rentable (maintien des spécifications techniques des produits finis) et la seconde est relative à la réduction de l'impact des opérations sur l'environnement (adoption de nouvelles normes de l'environnement et de la sécurité).

L'autre rapport des perspectives énergétiques de la société "Exxon Mobil Corporation"³ a indiqué que les enjeux en matière de la demande majeure en énergie d'O&G dominant jusqu'à l'année 2040 se focaliseront essentiellement sur l'assurance de la quantité et la qualité des produits finis tout en minimisant les dépenses des taxes associées aux émissions du monoxyde de carbone -CO₂- (figure B).

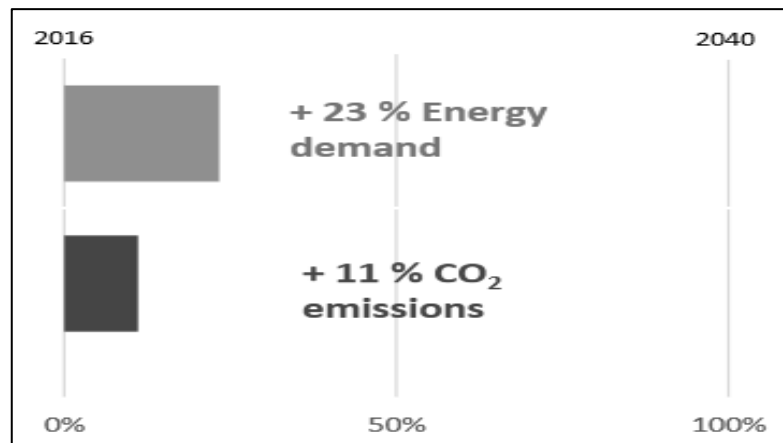


Figure B. Principales tendances de la demande mondiale en énergie d'O&G (UFIP, 2019).

Rappelons que pour le cas de l'Algérie, le secteur d'O&G est dominé par le Groupe Sonatrach⁴ et que ces enjeux (figure B) sont principalement concrétisés par la loi N°99-09⁵ relative à "la maîtrise de l'énergie" et la loi N°03-10⁶ liée à "la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable".

Cependant, il est important de souligner que malgré les prescriptions exigées par les dispositions de ces lois, ces enjeux demeurent difficiles surtout dans une situation entachée d'incertitudes⁷ et où les installations d'O&G se trouvent dans un état de vieillissement

² Le site web : <https://algeria-watch.org/> (Dernière consultation : 01.12.2019).

³ Est une société américaine sise à Irving (Etats-Unis). Elle est spécialisée dans le raffinage, la commercialisation et la transformation d'O&G.

⁴ Société nationale pour la recherche, la production, le transport, transformation et la commercialisation des hydrocarbures.

⁵ Loi N°99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999.

⁶ Loi N°03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003.

⁷ Ce terme est défini par le manque conscient de connaissance d'un sujet, relative à un objet, non encore parfaitement défini, dans un contexte nécessitant une décision/action (Brunet & Longcôté, 2018).

avancé. Cet état concerne une phase de vie des installations d'O&G âgées dans la majorité des pays mais également des situations dans lesquelles les performances de la sécurité énergétique (l'économie et la sécurité) sont touchées.

Pour faire face à cette situation alarmante, le Gouvernement Algérien s'est engagé récemment dans le déploiement d'un plan d'action stratégique matérialisé par la mise en exécution de deux Décrets Exécutifs (DE) qui sont : le "DE N°14-349"⁸ fixant les conditions de la mise en conformité des installations d'O&G et leurs équipements et le "DE N°15-09"⁹ fixant les modalités d'approbation des études de dangers (EDD) spécifiques au secteur d'O&G et leur contenu.

Le premier DE a pour but de mettre à niveau les opérations, les installations d'O&G et leurs équipements conformément aux textes législatifs et réglementaires cadrés par les normes et les standards techniques de la sécurité industrielle, de la prévention et de la gestion des risques majeurs et de la protection de l'environnement.

Pour le second DE, il exige la mise en œuvre des instructions relatives à la gestion et à la maîtrise des risques associés au Vieillessement des Installation d'O&G (VI-O&G) dans le cadre du contrôle des opérations et de l'exploitation.

Certes, les instructions du DE N°15-09 sont intéressantes pour la maîtrise du vieillissement dans un secteur aussi stratégique pour l'Algérie qu'est celui de l'O&G. Cependant, ces instructions sont d'ordre général où le législateur Algérien a laissé l'intervalle de concertation ouvert devant les exploitants du secteur d'O&G pour créer des procédures permettant de rendre ces instructions opérationnelles et efficaces.

Indépendamment du VI-O&G, ce phénomène du vieillissement industriel a attiré l'attention des scientifiques du domaine où des approches scientifiques ont fait l'objet de développements intéressants et avaient comme but ultime la maîtrise du vieillissement industriel. Ce qu'est remarquable dans l'ensemble de ces approches est leur complémentarité.

D'où la première hypothèse de notre travail :

H1 – Est-il possible de capitaliser la complémentarité entre les approches scientifiques du VI-O&G sous forme d'une approche mixte dédiée au VI-O&G en Algérie ?

Une seconde hypothèse qui découle de la précédente s'impose, à savoir :

H2 – Est-il possible de mettre en évidence l'interdépendance entre "le vieillissement industriel" et "la modernisation des installations âgées" ?

La présente thèse de doctorat a pour objectif principal de fournir des éléments de réponses à ces deux hypothèses.

⁸ DE N°14-349 du 15 Safar 1436 correspondant au 8 décembre 2014.

⁹ DE N°15-09 du 23 Rabie El Aouel 1436 correspondant au 14 janvier 2015.

Pour atteindre cet objectif, le point de départ est de considérer les installations industrielles (objet de notre étude) comme étant des "systèmes sociotechniques critiques" dont leurs défaillances peuvent engendrer des conséquences conséquentes sur tous les plans (économique, sécuritaire et social). En conséquences, différentes approches en matière de sécurité des installations industrielles ont été développées (Léger, 2009) (approches : technique, humaine, organisationnelle et systémique).

Ces approches ont conduit à l'usage de notions permettant l'étude des systèmes sociotechniques (Ruault, 2015 ; Hassan, 2002). Nous citons, à titre de rappel, les notions de : "robustesse", "résilience", "régulation", "configuration"...etc.

Par ailleurs, l'état de vieillissement de ces systèmes va remettre en cause les modes de management de la sécurité misent en place pour prévenir l'occurrence des accidents et la gravité de leurs conséquences (Bragatto & al, 2020 ; Milazzo & Bragatto, 2019 ; Milazzo & al, 2018). L'enjeu est de proposer, pour ces systèmes, un nouveau mode de management conduisant à optimiser l'efficacité de la sécurité.

Le présent travail de "recherche appliquée" vise à analyser le phénomène de vieillissement industriel dans les systèmes sociotechniques dotés d'une grande complexité. Cette analyse a pour finalité de répondre à la question clé suivante : Quel mode de management est le plus adapté pour gérer et contrôler les risques de vieillissement industriel dans les systèmes sociotechniques complexes ?.

Pour tenter de répondre à cette question, le présent manuscrit est structuré en quatre chapitres :

- **Le chapitre I** s'attache à la présentation de la problématique du VI-O&G. Il est composé de trois grandes sections dont la première porte sur les aspects législatifs et réglementaires des installations d'O&G en Algérie. Cette revue réglementaire, qu'est abordée en terme d'approche à "obligations de moyens", s'intéresse, donc, aux régimes d'Autorisation d'exploitation des installations d'O&G ainsi que la classification de leurs équipements. La deuxième section est orientée à la présentation d'une approche scientifique (connue sous l'appellation "à obligations de résultats") des mêmes installations où l'aspect "sûreté de fonctionnement (SdF) des installations d'O&G" est détaillé. Enfin, la dernière section portera sur le phénomène du VI-O&G où l'on rappelle : sa définition ainsi que sa caractérisation.
- **Le chapitre II** permet, dans sa première section, d'évoquer les origines du VI-O&G où un extrait des accidents majeurs permet de mettre en exergue l'ampleur du phénomène du VI-O&G. Dans la deuxième section, nous nous focalisons sur les pratiques des industriels où le principe de l'approche standard (normative) du vieillissement industriel est détaillé. La troisième section présente les trois tendances d'approches de vieillissement industriel (anticipation, à base de risques et indicateurs) qui sont suivies d'une discussion relative à leurs apports multiples ainsi que leurs limites respectives. Cette discussion permet de valider notre première hypothèse de recherche.

- **Le chapitre III** est consacré à l'approche à base d'indicateurs où nous proposons une méthode de construction des indicateurs du vieillissement industriel que nous avons appliquée sur un ensemble de sites du Groupe Sonatrach. Ces indicateurs sont ensuite priorisés par le biais de l'algorithme TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) que nous avons utilisé. Cette priorisation d'indicateurs de vieillissement constitue une aide à la décision en matière de maîtrise du VI-O&G.

- **Le chapitre IV** a pour but d'exploiter les résultats de la priorisation des indicateurs de vieillissement industriel et plus particulièrement "la gestion des changements (modifications)" gouvernés par des pratiques techniques, humaines et organisationnelles. S'intégrant dans ce contexte, l'objet de ce dernier chapitre est d'effectuer une "étude critique" de référentiel "gestion des modifications du Groupe Sonatrach", dans le but de mieux maîtriser ces pratiques comme l'exige le DE N°15-09.

Evidemment, ces quatre chapitres sont suivis par une conclusion générale qui dresse un bilan de nos travaux : les limites de notre étude ainsi que les perspectives envisageables.

Enfin, un complément d'informations est fourni en annexes de la présente thèse de doctorat.

Pour une meilleure visualisation de la structuration de la présente thèse de doctorat, la figure C de la page suivante présente de manière schématisée, l'articulation de nos travaux répartis sur les quatre chapitres évoqués ci-dessus.

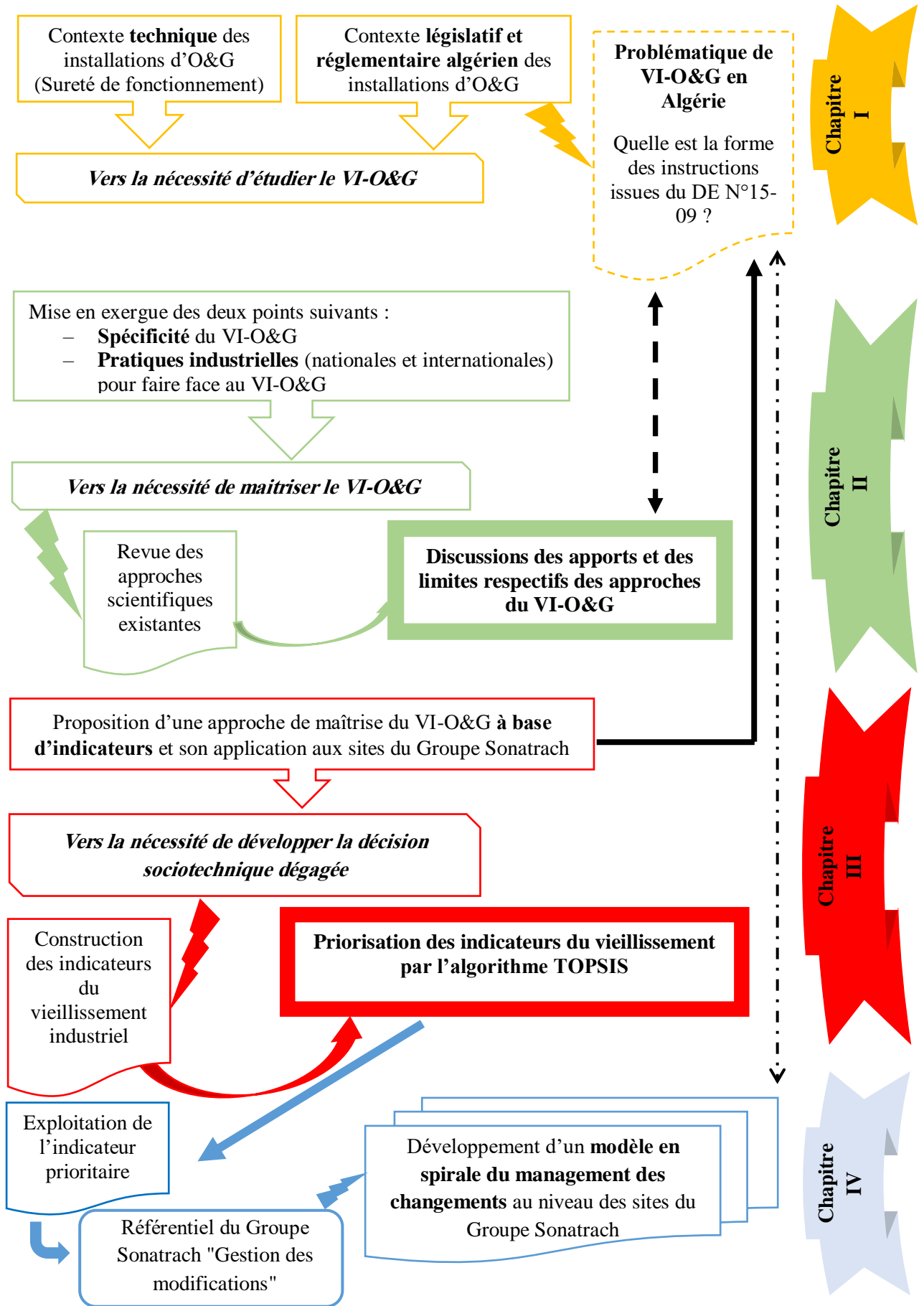


Figure C. Modèle de la recherche et articulations des travaux de thèse.

CHAPITRE I : Contexte réglementaire et technique du vieillissement des installations pétro-gazières

Introduction

L'industrialisation dans le secteur d'O&G vivait des évolutions importantes au niveau mondial notamment sur les plans réglementaire et technique (Hey, 2017). Ces deux évolutions sont imposées compte tenu des challenges auxquelles les exploitants et les autorités font face.

Ces évolutions ont exigé des prescriptions relatives essentiellement à la maîtrise de la conformité des installations d'O&G pour cause de leur âge avancé dans la majorité des pays. Il s'agit d'une situation critique, connue sous l'appellation "Vieillesse Industrielle", pouvant remettre en cause les clauses simultanées de sécurité et de production des installations d'O&G.

Pour faire face à de telle situation alarmante, ce chapitre a pour objectif de faire le point sur le VI-O&G ainsi que ses symptômes de manifestation. Autrement-dit, il s'agit de faire le point sur le phénomène du vieillissement industriel qui sera examiné sous formes réglementaire et technique.

I.1. Revue législative et réglementaire des installations d'O&G : cas de l'Algérie

I.1.1. Définitions des installations d'O&G et caractérisation de leurs activités

Le terme "installation" est inspiré du verbe "installer" et le Dictionnaire "Sensagent" du journal "Le Parisien"¹⁰ définit l'installation comme étant un grand établissement à vocation industrielle destiné à produire (fabriquer) massivement les différents types des produits, des énergies, ... etc.

¹⁰ Le site web : <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/index.html> (Dernière consultation : 01.12.2019).

L'installation peut être des équipements (appareils, machines ...etc.) qui se trouvent dans un même lieu (INRS, 2011) dans le but d'obtenir, de transformer ou de transporter les produits et les énergies dont le type permet parfois de les nommer.

Par exemple, les "Transformateurs" existants au niveau des "Stations Electriques" (figure I.1), sont des installations "Electriques" dû à l'énergie électrique qu'ils transforment en une même énergie mais de valeurs différentes (Lambert, 2016).

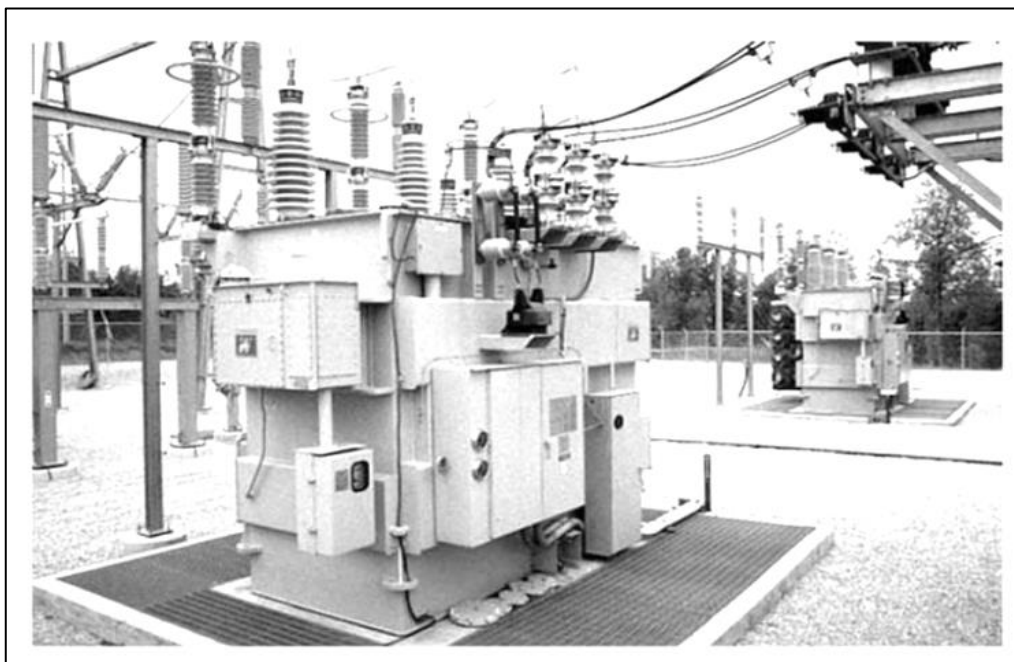


Figure I.1. *Transformateur tri-phasique.*

Un autre type d'installations est celui indiqué par la figure I.2 (Guo & al, 2017) qui correspond aux "Puits Producteurs" d'une énergie appelée "Oil & Gas - O&G" et, donc, d'installations d'O&G qui sont d'une extrême importance pour l'Algérie pour des raisons évidentes.

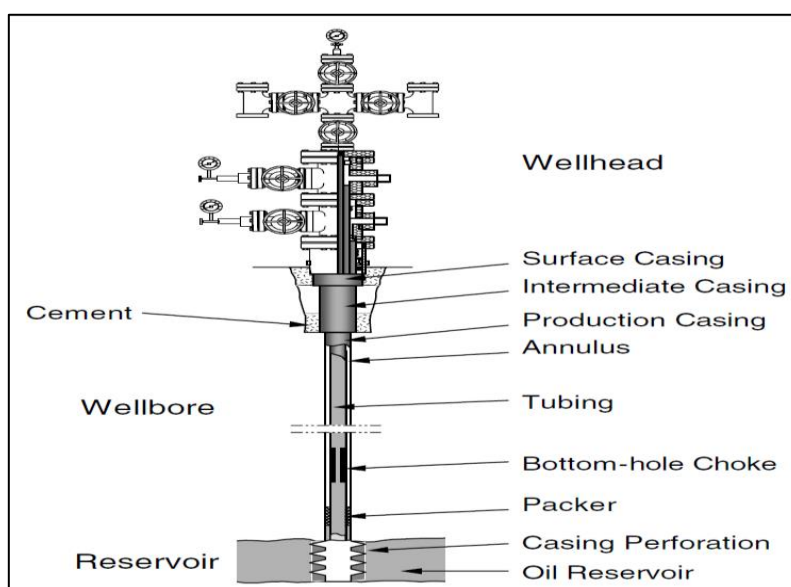


Figure I.2. *Puits producteur de pétrole.*

CHAPITRE I : Contexte réglementaire et technique du vieillissement des installations pétro-gazières

Ces installations de production d'O&G sont considérées comme étant des systèmes sociotechniques au même titre que les systèmes de transport aérien, ferroviaires, ...etc.

Pour rappel, l'énergie d'O&G est obtenue à partir de multiples installations d'O&G industrielles et selon les activités du secteur d'O&G auxquelles elles appartiennent. A ce propos, l'API (American Petroleum Institute) souligne l'existence de trois classifications de ces activités qui constituent la chaîne du secteur d'O&G (figure I.3) :

- l'activité "Amont" (Upstream) dans laquelle existe l'opération d'exploration du site (champ), puis son développement (forage) en vue de produire le pétrole brut et le gaz au niveau des installations de surface ;
- l'activité dite "Intermédiaire" (Midstream) qui caractérise essentiellement les opérations du transport, stockage et de distribution ;
- l'activité "Aval" (Downstream) qui a pour but de transformer l'O&G dans les installations de raffinage et de pétrochimie en produits finis en vue de leur commercialisation.

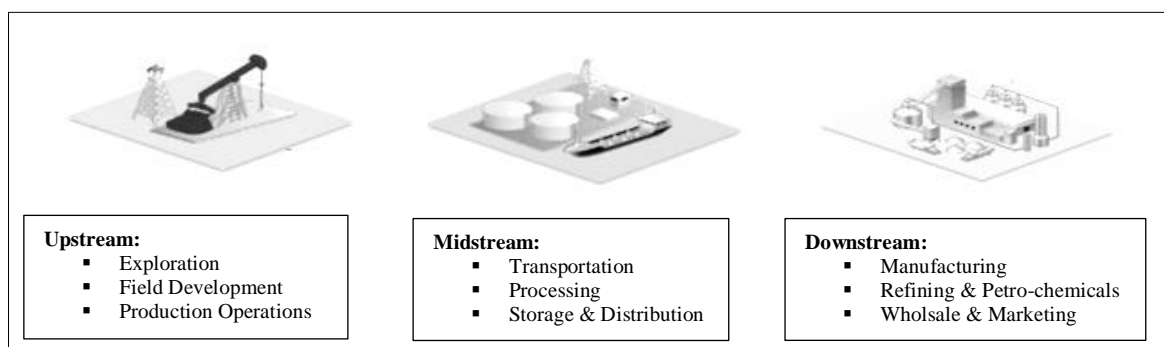


Figure I.3. Cycle de chaîne du secteur d'O&G (Otman & Bunter, 2005).

Dans le même ordre d'idées¹¹, la loi algérienne récente des hydrocarbures "N°19-13"¹² (JOR N°79, 2019) a mis en lumière dans son deuxième article les deux classifications suivantes :

- Activité "Amont" qui englobe la prospection, la recherche, l'appréciation, le développement et l'exploitation d'O&G. Elle inclut pratiquement la séparation, le fractionnement, la compression, la collecte et la desserte, le stockage sur site et les moyens d'évacuation des hydrocarbures. Elle comprend également les activités de la gestion inhérentes à ces opérations ainsi que l'abandon et la remise en état des sites ;
- Activité "Aval" qui se rapporte au transport par canalisation, au raffinage, à la transformation y compris la fabrication de lubrifiants et la régénération des huiles usagées, de stockage et de distribution.

Par ailleurs et vu le caractère "à risque" de ces activités, Fumey (2001) souligne l'implication de la sécurité industrielle (au sens large du terme) dans le quotidien de la plupart des installations d'O&G à des fins de réduction des risques d'accidents industriels.

¹¹ Nous revenons sur ces activités de manière approfondie (pour le cas du Groupe Sonatrach) dans la première section du chapitre trois.

¹² Loi N°19-13 du 14 Rabie Ethani 1441 correspondant au 11 décembre 2019.

CHAPITRE I : Contexte réglementaire et technique du vieillissement des installations pétro-gazières

Il s'agit d'un exemple d'obligations des industriels du secteur d'O&G pour faire face aux multiples risques associés à la dangerosité des activités inhérentes à ce secteur.

En Algérie, cette obligation des industriels du secteur d'O&G est bien soulignée dans de multiples textes législatifs et réglementaires en vigueur.

De plus, et en faveur de la protection de l'environnement¹³ en Algérie, la gravité des dangers inhérents à l'exploitation des installations dont celles d'O&G a forcément favorisé la naissance d'un nouveau regroupement d'installations appelées "Installations Classées (IC)" ([JOR N°37, 2006](#)). Il s'agit des installations, exploitées ou détenues par toute personne (physique ou morale, publique ou privée), qui peuvent présenter des dangers pour la santé, l'hygiène, la sécurité, l'agriculture, les écosystèmes, les ressources naturelles, les sites, les monuments et les zones touristiques ou qui peuvent porter atteinte à la commodité du voisinage ([JOR N°43, 2003](#)).

C'est cette clause réglementaire qui a fait l'objet de la classification réglementaire intitulée "Régimes d'Autorisation/ Déclaration" détaillée ci-après.

1.1.2. Régimes d'Autorisation/ Déclaration

Partant de ce qui précède, il semble clairement que les installations d'O&G font parties importantes des IC. Leur classification selon le régime d'Autorisation/ Déclaration se diffère d'un pays à l'autre. Ainsi, pour le cas de l'Algérie, deux principaux DE sont déjà édictés dans le but de cadrer ces IC. Il s'agit des DE "N°06-198"¹⁴ et "N°07-144"¹⁵.

Le premier vise à définir la réglementation applicable aux "Etablissements qualifiés de Classés (EC)"¹⁶ (les régimes d'Autorisation/ Déclaration d'exploitation des IC, leurs modalités de délivrance, de suspension et de retrait, ainsi que les conditions et modalités de leur contrôle). Le second est ensuite apparu dans le but d'arrêter la nomenclature des IC suite à l'apparition des DE associés aux documents réglementaires¹⁷ non spécifiques dans les DE "N°06-198" et "N°07-145"¹⁸.

Conséquemment, la nomenclature permettant de classer les IC, comporte huit colonnes qui sont mentionnées dans le tableau I.1.

¹³ Elle se réfère principalement à la loi N°03-10.

¹⁴ DE N°06-198 du 4 Joumada El Oula 1427 correspondant au 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement ([JOR N°37, 2006](#)).

¹⁵ DE N°07-144 du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 fixant la nomenclature des IC pour la protection de l'environnement ([JOR N°34, 2007](#)).

¹⁶ Sont définis comme l'ensemble de la zone d'implantation comportant une ou plusieurs IC et qui relève de la responsabilité d'une personne physique ou morale, publique ou privée qui détient, exploite ou fait exploiter l'établissement et les IC qui en relèvent ([JOR N°37, 2006](#)).

¹⁷ La liste des documents réglementaires est à citer dans le tableau suivant (tableau I.1).

¹⁸ DE N°07-145 du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études d'impact sur l'EIE / NIE ([JOR N°34, 2007](#)). Il est modifié et complété par le DE N°18-255 du 29 Moharram 1440 correspondant au 9 octobre 2018.

CHAPITRE I : Contexte réglementaire et technique du vieillissement des installations pétro-gazières

Tableau I.1. Nomenclature des IC en Algérie (JOR N°34, 2007).

1	2	3	4	5	6	7	8
N° de la rubrique	Désignation de l'activité	Type d'Autorisation	Rayon d'affichage (Km)	EIE	EDD	NIE	RPD

- Colonne (1) : est une attribution à quatre chiffres, organisée comme suit :
 - le premier chiffre représente "la substance utilisée" ou "l'activité" ;
 - le second chiffre lié à "la catégorie des dangers" ou "la branche d'activité" ;
 - les deux derniers chiffres s'attachent au "type d'activité".

Signalons que la définition des termes entre deux guillemets ainsi que la liste exhaustive des numéros de la rubrique feront l'objet de l'Annexe 1 ;

- Colonne (2) : met en évidence "la désignation de l'activité" de l'IC ;
- Colonne (3) : est réservé au "régime d'Autorisation/ Déclaration", conformément aux dispositions du "DE N°06-198" dont :
 - AM : Autorisation Ministérielle ;
 - AW : Autorisation du Wali territorialement compétent ;
 - APAPC : Autorisation du Président de l'Assemblée Populaire Communale territorialement compétent ;
 - D : Déclaration auprès du Président de l'Assemblée Populaire Communale territorialement compétent.

Le choix du régime est alors en fonction de l'activité désignée. Cette dernière peut être composée en plusieurs cas où chacun est à sanctionner par un régime afféré.

A signaler que, selon le "DE N°98-339"¹⁹, les IC se subdivisent en deux types :

- Les IC soumises à Autorisation : selon les dangers qu'elles présentent, leur régime (catégorisation) s'est faite en trois catégories :
 - 1^{ère} catégorie : comporte les IC soumises à AM ;
 - 2^{ème} catégorie : comporte les IC soumises à AW ;
 - 3^{ème} catégorie : comporte les IC soumises à APAPC.

Lorsque l'IC est implantée sur le territoire de deux ou plusieurs wilayas, l'Autorisation est délivrée par le Ministre chargé de l'environnement ;

Lorsque l'IC est implantée sur le territoire de deux ou plusieurs communes d'une même wilaya, l'Autorisation est délivrée par le Wali territorialement compétent.

- Les IC soumises à Déclaration adressée au Président de l'Assemblée Populaire Communale : Elles se rapportent aux celles qui ne présentent aucun danger ou inconvénient pour les autres IC.

Il est également important de signaler que les EC se subdivisent en quatre catégories (d'après le DE N°06-198) :

- EC de 1^{ère} catégorie : comporte au moins une IC soumise à AM ;
- EC de 2^{ème} catégorie : comporte au moins une IC soumise à AW ;
- EC de 3^{ème} catégorie : comporte au moins une IC soumise à APAPC ;
- EC de 4^{ème} catégorie : comporte au moins une IC soumise à D ;

¹⁹ DE N°98-339 du 13 Rajab 1419 correspondant au 3 novembre 1998 définissant la réglementation applicable aux IC et fixant leur nomenclature. Il est abrogé par le DE N°06-189.

CHAPITRE I : Contexte réglementaire et technique du vieillissement des installations pétro-gazières

- Colonne (4) : concerne "le rayon d'affichage" de l'IC. Il s'attache à l'affichage de l'avis portant ouverture de l'enquête publique dans le cadre d'informer la population située dans le périmètre d'implantation de l'IC ;
- Colonnes (5), (6), (7) et (8) : elles s'appuient sur "les documents réglementaires" à joindre à la demande d'Autorisation d'exploitation des EC, selon le cas, l'Etude d'Impact Environnemental (EIE), l'EDD, la Notice d'Impact sur l'Environnement (NIE) et le Rapport sur les Produits Dangereux (RPD).

Ainsi, il est facile de sélectionner le régime et les documents réglementaires à partir de l'annexe du DE N°07-144 qui est sous forme d'une présentation matricielle. Pour mieux illustrer cette dernière ainsi que ce que nous avons précédemment détaillé, le tableau I.2 illustre un exemple d'installations d'O&G conformément à la structure du tableau I.1.

Tableau I.2. Exemple de la nomenclature des installations d'O&G (JOR N°34, 2007).

N° DE LA RUBRIQUE	DESIGNATION DE L'ACTIVITE	TYPE D'AUTORISATION	RAYON D'AFFICHAGE (KM)	DOCUMENTS REGLEMENTAIRES A FOURNIR			
				EIE	EDD	NIE	RPD
1111	Très toxique (emploi ou stockage de substances et préparations), à l'exclusion des substances et préparation visées explicitement ou par famille par l'exclusion de l'uranium et de ses composés						
	1. Substances et préparation liquides Quantité totale susceptible d'être présente dans l'installation étant :						
	a) Supérieure ou égale à 20 t	AM	1	*	*		
	b) Inférieure à 20 t	AW	1	*	*		
	2. Gaz ou gaz liquéfiés Quantité totale susceptible d'être présente dans l'installation étant :						
	a) Supérieure ou égale à 20 t	AM	3	*	*		
	b) Inférieure à 20 t	AW	3	*	*		

Notons qu'à l'issue de ce que nous avons rappelé en matière de classification des IC selon le régime d'Autorisation/ Déclaration en Algérie, il est clair que cette classification est en lien avec la catégorisation des EC et des IC qui relève de l'obligation de l'obtention de l'Autorisation/ Déclaration d'exploitation.

Dans ce contexte et en ce qui concerne les installations d'O&G (les IC soumises à Autorisation), il existe une procédure intitulée²⁰ : "Procédure de Contrôle HSE (Health, Safety and Environment) des Installations et Ouvrages Hydrocarbures, Phases: Conception, Construction et Mise en produit" qui a pour but de fixer les obligations du

²⁰ Cette procédure connue par "P-HSE-1" (Date de dernière mise à jour : 24.12.2012) établie par l'Autorité de Régulation des Hydrocarbures (ARH) dont les missions sont définies par l'ancienne loi algérienne relative aux hydrocarbures (Loi N°05-07 du 19 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 28 avril 2005).

Maitre de l'Ouvrage (MO)²¹ et spécifier les missions et les rôles de l'ARH en matière de contrôle, d'audits et d'inspections des installations d'O&G en phases citées dans l'intitulé de ladite procédure. A cet effet, les dossiers (y compris leurs documents) relatifs à chaque phase ainsi que leurs modalités de traitement seront détaillés dans ce qui suit.

I.1.3. Contrôle HSE

A. Phase de conception

Dans la première phase du contrôle HSE des installations d'O&G, un dossier dit de "pré-construction" doit être constitué. Il comprend les documents suivants : une EIE incluant un plan de gestion environnementale (PGE)²², une EDD incluant la description d'un plan d'urgence et d'un système de gestion de sécurité (SGS)²³ et un Plan de Prévention HSE recouvrant les risques liés à la phase de construction (phase suivante).

Concernant les modalités de traitement, le MO doit soumettre le premier document à l'ARH pour "approbation" selon les prescriptions exigées par le "DE N°08-312". De même, le deuxième document doit également être soumis à l'ARH pour "avis de conformité réglementaire" (sans aucunes réserves) en vue d'être ensuite déposé auprès des services du Wali de la wilaya concernée. Une fois que les deux premiers dossiers sont successivement approuvés et conformes réglementairement, le MO commence les démarches de la demande d'Autorisation d'exploitation conformément aux articles 5 et 8 du DE N°06-198.

Selon la circulaire "N°330/ARH/2008"²⁴, le troisième (et dernier) document doit être établi par le MO pour être déposé sous forme d'une copie électronique auprès de l'ARH avant la mobilisation du chantier. Il recouvre les risques présents pendant toute la phase de construction dont les travaux ne peuvent être engagés, selon l'article 18 du DE N°06-198, sans que "la décision d'accord préalable de création de l'EC" soit octroyée par la "Commission de contrôle des EC".

B. Phase de construction

Selon le contrôle, il existe deux dossiers de cette phase appelés : "préliminaire HSE" et "final HSE" où la mise à jour du premier fait partie du second. Les documents de chaque dossier se trouvent dans l'Annexe 2.

D'abord, le "dossier préliminaire HSE" est adressé à l'ARH par le MO dès la phase précédente pour analyse des documents, apport des éventuelles améliorations et demande de la levée des non-conformités identifiées. Puis, à noter que l'ARH peut ainsi demander la garantie quant à la fiabilité des méthodes d'évaluation des risques utilisées de sorte à solliciter l'avis d'une tierce expertise qu'est à la charge du MO.

²¹ Selon ladite procédure, il est défini comme personne, morale ou physique, publique ou privée, propriétaire ou affectataire d'un patrimoine immobilier.

²² PGE est un plan exigé par le DE N°08-312 du 5 Chaoual 1429 correspondant au 5 octobre 2008 fixant les conditions d'approbation des EIE pour les activités relevant du domaine des hydrocarbures.

²³ SGS est exigé par le DE N°15-09.

²⁴ Circulaire portant prescriptions applicables aux travaux effectués dans un établissement relevant du secteur d'O&G par une structure interne ou une entreprise extérieure.

Par ailleurs, des audits et des inspections sont réalisés par l'ARH tout au long de cette phase dans le cadre de la veille au respect de la réglementation en vigueur en matière HSE et la vérification de l'application du plan de prévention HSE. En parallèle, une communication régulière de l'état d'avancement devrait être tenue sous forme des séances de travail entre l'ARH et le MO dont la chronologie est indiquée ci-après :

- Etude "FEED" (Front-End Engineering Design) : après la finalisation de cette étude, le MO est tenu de présenter les grandes lignes du projet ainsi que les philosophies de la prévention et de la protection issues de ladite étude ;
- Signature du "contrat de projet" : le MO doit prévoir une deuxième présentation du projet à l'attention de l'ARH suite à la signature du contrat du projet ainsi qu'à l'obtention de la décision de la création de l'EC ;
- Résultats des "documents réglementaires" : dès que l'ARH approuve l'EIE et donne la conformité réglementaire de l'EDD, les résultats issus de ces documents et les recommandations y afférentes doivent être transcrits en fiches d'actions et font par la suite l'objet de la troisième présentation à l'attention de l'ARH ;
- Plan de prévention HSE : le MO et l'entrepreneur²⁵ sont obligés de finaliser les éléments de ce plan mais également de les présenter pour justifier la maîtrise des risques liés aux activités du projet pendant la phase de construction ;
- Résultats des "études de risque" : ils se rapportent aux fiches d'actions afférentes aux études de risque du dossier préliminaire HSE sujets à une présentation par le MO ;
- Dossier final HSE : à la fin de la phase de construction, le dossier final HSE est à présenter en présence de l'ARH sur site dans le but d'arrêter l'état d'avancement de ce dossier (y compris la mise à jour du dossier préliminaire HSE) mais également de procéder aux essais réglementaires sur lesquels se porte l'étape ultime suivante.

C. Phase de mise en produit

Dès que "le dossier final HSE" est accepté par l'ARH, "des essais de fonctionnement et de performance des systèmes de protection" et "un exercice de simulation du scénario majorant" seront conduits en présence de l'ARH ou d'un organisme délégué et sanctionnées par des procès-verbaux (PV) :

- Essais de fonctionnement et essais de performances :
 - Système d'arrêt d'urgence et dépressurisation (avec Ouverture/Fermeture physique-réelle des vannes ESDV/BDV²⁶) ;
 - Détection d'incendie et de gaz ;
 - Pompes d'incendie ;
 - Système déluge et couronnes de refroidissement ;
 - Systèmes à mousse ;
 - Système CO₂ (dont un essai avec décharge réelle) ;
 - Système gaz inerte (dont un essai avec décharge réelle) ;

²⁵ Personne, morale ou physique, publique ou privée, chargée de traduire en termes techniques les besoins du MO et de les faire réaliser (conception des cahiers des charges, passation des marchés et rédaction des contrats, surveillance des travaux et des prestations, réception des ouvrages ...).

²⁶ Acronymes de "Emergency Shutdown Valves" et "Blowdown Valves".

- Système à poudre sèche (sans décharge) ;
- Système d'alerte et de signalisation.
- Exercice de simulation du scénario majorant :
 - Mise en œuvre des moyens de protection pour atteindre la demande maximale en eau et émulseur ;
 - Mobilisation d'une équipe d'intervention ;
 - Mise en œuvre des moyens d'intervention mobiles (camions d'intervention).

Après la conformité des dossiers HSE et l'examen de la partie technique des équipements de l'installation d'O&G, "l'Autorisation de la Mise En Produit" de l'installation d'O&G ou son ouvrage (équipement) sera délivrée par une décision du Comité de Direction de l'ARH. Cette Autorisation est un préalable à l'Autorisation d'exploitation de l'EC qui sera enfin octroyée, selon le DE N°06-198, suite à une visite sur site de la commission de wilaya pour vérification de la conformité aux documents du dossier de demande et aux termes de l'accord préalable. A signaler que l'Autorisation d'exploitation est délivrée par un arrêté et ce selon sa catégorie (Arrêté conjoint du ministre chargé de l'environnement et du ministre chargé des hydrocarbures "1^{ère} catégorie", arrêté du wali territorialement compétent "2^{ème} catégorie" et arrêté du président de l'assemblée populaire communale "3^{ème} catégorie").

Nous rappelons enfin la présence de deux DE (N°07-297 et N°14-94) qui sont également édictés à partir des dispositions des articles bien définis de la loi "N°05-07", pour fixer successivement :

- les procédures d'obtention des autorisations de construction des "ouvrages de transport par canalisation"²⁷ et des "opérations"²⁸ de transport par canalisation des hydrocarbures ;
- les procédures d'obtention des autorisations requises pour la construction des "ouvrages de transport par canalisation des produits pétroliers"²⁹ et de leur exploitation.

De ce qui précède, la classification selon le régime d'Autorisation/ Déclaration et le contrôle HSE selon la P-HSE-1 s'avèrent "d'ordres générales" où les installations d'O&G y sont confiées et "préliminaires" parce que les deux viennent avant la mise en exploitation. Néanmoins, il existe aussi une autre classification relative aux "équipements" (machines, mécanismes, appareils, ...etc.) constituant les installations d'O&G (comme nous l'avons mentionné dans la section I.1.1), étant soumis à la réglementation algérienne. Il s'agit des équipements qui doivent faire l'objet de vérifications périodiques et des mesures d'entretien de nature à les maintenir en bon état de fonctionnement en faveur de la sécurité

²⁷ Les canalisations et les installations intégrées y afférentes notamment, les installations de stockage liées au transport par canalisation des hydrocarbures, les stations de compression, de pompage, de détente, de pré détente, les postes de coupures, de sectionnement et des équipements de comptage annexés aux dites canalisations (JOR N°63, 2007).

²⁸ Toute action permettant l'exploitation d'un ouvrage conformément aux normes et standards techniques tels que prévus par la législation et la réglementation en vigueur (JOR N°63, 2007).

²⁹ Les canalisations et les installations intégrées y afférentes notamment, les installations de stockage liées au transport par canalisation des produits pétroliers, les stations de pompage, les postes de coupures, de sectionnement et des équipements de comptage annexés aux dites canalisations (JOR N°13, 2014).

des travailleurs³⁰. A ce propos, la section suivante permet de mettre en évidence les classifications de ces équipements selon la réglementation algérienne.

I.1.4. Classifications

A. Appareils à pression de gaz

C'est une classification appelée communément (APG). Elle fait l'objet du "DE N°90-245"³¹ portant la réglementation des APG (JOR N°36, 1990). Elle comporte principalement huit familles qui sont destinées à être utilisées à terre :

- i.** Appareils de production, d'emmagasinage ou de mise en œuvre de gaz comprimés, liquéfiés ou dissous ou de vapeur, ou de liquides surchauffés sous pression, répondant aux conditions suivantes :

$$P_e \text{ (phase gazeuse)} \geq 4 \text{ bars et } P_{e \text{ max}} \times V > 80$$

Ne sont pas visés par cette famille les compresseurs, les canalisations, les extincteurs d'incendie, les générateurs et récipients d'acétylène ;

- ii.** Appareils mobiles d'emmagasinage de gaz comprimés, liquéfiés ou dissous, ou de vapeur sous pression, répondant aux conditions suivantes :

$$P_e \text{ (phase gazeuse)} \geq 4 \text{ bars et } 10 < P_{e \text{ max}} \times V < 80$$

- iii.** Compresseurs de gaz ou de vapeurs autres que la vapeur d'eau lorsque les conditions suivantes sont remplies :

$$P_e \text{ refoulement du dernier étage} \geq 10 \text{ bars et}$$

$$P_e \text{ refoulement du dernier étage} \times Q \text{ (conditions de refoulement)} \geq 50$$

Les limites ci-dessus de cette famille sont ramenées respectivement à quatre (4) bars et au nombre vingt (20) bars pour certaines catégories de fluides qui sont désignés par arrêté du ministre chargé des mines ;

- iv.** Canalisations de gaz ou de vapeurs autres que la vapeur d'eau et les canalisations de liquides autres que l'eau dont la pression de vapeur en services peut dépasser un (1) bar, lorsque les trois conditions suivantes sont remplies :

$$\varnothing_{\text{int}} > 80 \text{ mm ; } P_{e \text{ max}} \text{ (en service)} > 10 \text{ bars et } \varnothing_{\text{int}} \times P_{e \text{ max}} > 1500$$

Les deux dernières limites ci-dessus de cette famille sont ramenées respectivement à quatre (4) bars et au nombre mille (1000) bars pour certaines catégories de fluides qui sont désignés par arrêté du ministre chargé de mines.

Ne sont pas visées par les conditions ci-dessus les canalisations de transport des hydrocarbures liquides ou liquéfiés sous pression ou gazeux ;

- v.** Extincteurs d'incendie qui présentent des parties d'une contenance supérieure à cinq (5) litres, mises sous pression au moment du fonctionnement, ou des enceintes sous pression permanente répondant aux conditions suivantes :

$$P_e \geq 4 \text{ bars et } P_{e \text{ max}} \times V > 80$$

³⁰ C'est une exigence législative édictée par le 3^{ème} alinéa de l'article 7 de la loi N°88-07 du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, à la sécurité et à la médecine de travail. Les outils et les moyens de travail sont également ciblés par les dispositions dudit alinéa (JOR N°4, 1988).

³¹ DE N°90-245 du 18 aout 1990.

Si la contenance est supérieure à un (1) litre, le produit de la pression ci-dessus devient dix (10) ;

- vi.** Générateurs d'acétylène, à l'exclusion des appareils à fonctionnement discontinu dont la charge de carbure de calcium est au plus égale à un (1) kilogramme ;
- vii.** Récipients d'acétylène et canalisations d'usine du même gaz répondent aux conditions suivantes :
 $P_e \geq 1.5$ bars et V (intérieur) : quelconque
- viii.** Compresseurs d'air, non visés ci-dessus alimentant directement ou indirectement des appareils respiratoires, ou alimentant des installations situées dans des atmosphères confinées ou susceptibles de devenir explosives.

Avec : P_e : Pression effective (bars) ; V : Volume (litres) ; Q : Débit (mètre³/minute) ;
 \varnothing_{int} : Diamètre intérieur (millimètre).

Rappelons enfin la présence des deux textes suivants qui sont apparus dans le contexte des APG :

- "DE N°10-19"³² qu'est réservé à la définition des règles de sécurité applicables aux récipients de gaz sous pression (numérotation, récupération des récipients non réutilisables ou réformés pour destruction, transport, déclaration en cas de vol ...) ;
- Arrêté interministériel du 16 Dhou El Hidja 1434 correspondant au 21 octobre 2013 portant règlement technique relatif aux bouteilles³³ à pression de gaz en matériaux composites (Sont concernées les bouteilles destinées à l'emmagasinage de gaz comprimé, liquéfié ou dissous (les deux premières familles des APG), lorsqu'elles sont conçues en matériaux composites). De plus, les réservoirs mobiles utilisés pour les carburants automobiles, notamment, les gaz de pétrole liquéfié et le gaz naturel sont exclus.

B. Appareils à pression de vapeur

C'est une classification appelée communément (APV). Elle fait l'objet du "DE N°90-246"³⁴ portant la réglementation des APV ([JOR N°36, 1990](#)). Elle comprend principalement cinq familles qui sont destinées à être utilisées à terre :

- i.** Chaudières ou générateurs de vapeur ;
- ii.** Canalisations de vapeurs d'eau ou d'eau surchauffée ;
- iii.** Récipients de vapeur ou d'eau surchauffée, lorsque la pression peut excéder 0.5 bars ;

Ces trois premières familles ne sont pas visées lorsqu'elles sont destinées aux :

- Bâtiments marins ou tout autre moyen flottant ;

³² DE N°10-19 du 26 Moharram 1431 correspondant au 12 janvier 2010 modifiant et complétant le DE N°03-451 du 7 Chaoual 1424 correspondant au 1er décembre 2003 définissant les règles de sécurité applicables aux activités portant sur les matières et produits chimiques dangereux ainsi qu'aux récipients de gaz sous pression.

³³ Un récipient sous pression transposable et rechargeable, conçu en matériaux composites, d'une capacité en eau ne dépassant pas 150 litres ([JOR N°1, 2015](#)).

³⁴ DE N°90-246 du 18 aout 1990.

- Réacteurs nucléaires ;

Par ailleurs, ne sont pas visées par ces familles les équipements suivants :

- Cylindres et enveloppes de machines à vapeur ;
 - Générateurs et récipients où des dispositions matérielles efficaces empêchent la pression de la vapeur de dépasser 0.5 bar ;
 - Générateurs et récipients de vapeur dont les contenances sont successivement inférieures ou égales à 25 litres et à 100 litres ;
 - Chaudières à eau, lorsque la température de l'eau est inférieure ou égale à 110°C.
- iv. Générateurs et récipients de vapeur qui répondent aux conditions suivantes :
- La contenance des générateurs et celle des récipients sont successivement supérieures à 25 litres et à 100 litres ;
 - Générateurs et récipients où des dispositions matérielles efficaces n'empêchent pas la pression de la vapeur de dépasser 0.5 bar.
- v. Canalisations de vapeur d'eau surchauffée lorsque la pression de vapeur peut y excéder 0.5 bar.

Notons qu'une procédure relative à la fabrication, à l'exploitation et au contrôle réglementaire des APG & des APV (APGV) émanant de la Direction Générale des Mines (DGM) a vu le jour en janvier 2017. Cette procédure s'adresse aux opérateurs économiques suivants: fabricants, constructeurs et exploitants des APGV relevant de l'ensemble des secteurs dont celui d'O&G.

C. Machines et mécanismes

Cette classification fait partie du "DE N°91-05"³⁵ relatif aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'hygiène et de sécurité en milieu de travail (JOR N°4, 1991). Elle contient six familles qui sont les suivantes :

- i. Machine (génératrice ou motrice) ;
- ii. Dispositifs de commande des machines ;
- iii. Machine-outil ;
- iv. Organes dangereux, mécanismes en mouvement et dispositifs de protection des machines dont le détail est dans ce qui suit :
 - Eléments des machines comportant des pièces accessibles faisant saillie sur les parties en mouvement de ces machines tels que vis d'arrêt, boulons, clavettes, nervures, bassages ;
 - Organes de travail de toute nature tels que bras de pétrins ou de mélangeurs, cylindres de calendres, cylindres d'entraînement, malaxeurs, pignons et matrices de presse mues mécaniquement, dès lors que les opérateurs ou leurs aides, sont appelés à intervenir manuellement en utilisation normale, dans des zones dangereuses situées à proximité des organes en mouvement ;
 - Eléments de machines comportant des organes de transmissions et de commande, tels que volants, vis sans fin, bielles, coulisseaux, zones

³⁵ DE N°91-05 du 19 janvier 1991.

- d'engrenage, cônes ou cylindres de friction, cames, courroies, chaînes, pignons ;
- Dispositifs de protection tels que portière, caches, grilles, barrières, garde-corps, chasse-mains ...etc.
- v. Machines à cylindre, leurs dispositifs d'arrêt de sécurité ainsi que leurs systèmes automatiques de renversement de la marche (ou des dispositifs mécaniques permettant le retour en arrière manuel des cylindres) ;
- vi. Presses, leurs dispositifs de sécurité ainsi que leur efficacité de protection.

D. Installations de lutte contre l'incendie

Etant donné que les incendies et les explosions représentent les risques majeurs³⁶ dans le secteur d'O&G (Belmazouzi, 2014), des installations de la lutte contre ces risques sont conçues pour faire parties des celles d'O&G. Selon le "DE N°91-05" cité dans la classification précédente, elles sont constituées par des extincteurs, réseau anti-incendie (systèmes d'arrosage et de déluge, ...) et des couvertures ignifuges.

E. Appareils de levage

Cette classification appelée communément (APL). Elle est également mentionnée dans le "DE N°91-05". Elle consiste en des dispositifs ou des installations dont la fonction essentielle consiste à soulever ou descendre une charge. Les APL sont des équipements de travail composés par l'assemblage de machine, accessoires de levage (élingues, palonniers, ponts roulants, palans ...), composants d'accessoires de levage (crochets à œil, ...), chaînes, câbles, et des sangles. Pour rappel, les engins de levage qui sont fréquemment utilisés dans le secteur d'O&G comme les grues ...etc., font également parties de ces appareils.

F. Instruments de mesure

A l'issue de l'article 7 de la loi "N°90-18"³⁷, un DE sous le numéro "N°91-538"³⁸ a vu le jour dans le but de contrôler et vérifier la conformité des instruments de mesure qui sont destinée à mesurer les grandeurs énoncées dans la loi originale susdite dont la longueur, la masse, le temps, l'intensité de courant électrique, la température thermodynamique, intensité lumineuse, quantité de matière (JOR N°38, 1990).

Il est important de noter qu'un arrêté interministériel du Aouel Rabie El Aouel 1426 correspondant au 10 avril 2005 fixant les règles de sécurité relatives à l'implantation, à l'aménagement et à l'exploitation "des infrastructures de distribution du gaz naturel

³⁶ D'après la loi N°04-20 du 13 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable, le risque majeur est défini comme étant "toute menace probable pour l'homme et son environnement pouvant survenir du fait d'aléas naturels exceptionnels et/ou du fait d'activités humaines".

³⁷ Loi N°90-18 du 31 juillet 1990 relative au système national légal de métrologie.

³⁸ DE N°91-538 du 25 décembre 1992.

comprimé- carburant"³⁹, a également vu le jour à partir les DE suivants : N°90-245 (APG), N°91-538 (instruments de mesure) et N°03-451 (déjà cité dans la note N°32).

G. Canalisation de transport d'hydrocarbures liquides, liquéfiés sous pression et gazeux et ouvrage annexes

Les canalisations de transport d'hydrocarbures liquides, liquéfiés sous pression et gazeux ainsi que les ouvrages y sont annexés à l'exclusion de la distribution publique de gaz, sont objet de l'arrêté interministériel du 12 mai 1992 portant réglementation de leur sécurité. S'agissant des ouvrages annexes déjà cités, ils sont reportés dans le décret "N°88-35"⁴⁰ dont la liste avec les définitions sont présentées ci-après (**JOR N°7, 1988**) :

- i. Ouvrages rattachés aux moyens de production d'hydrocarbures**
 - Centres de séparation d'huile : ils sont constitués par un ensemble d'équipements permettant la séparation des différents composants de l'effluent brut provenant des puits de production afin d'obtenir 'des produits conformas à des normes définies ;
 - Centres de traitement de gaz : ils constituent les points d'arrivée d'hydrocarbures gazeux. Ils permettent d'établir les quantités d'hydrocarbures produites après séparation, détente, déshydratation, dégazolinage, stabilisation et décantation avant expédition, vers les canalisations d'évacuation ;
 - Centres principaux de collecte : ils constituent les points d'arrivée d'hydrocarbures à partir des gisements d'hydrocarbures liquides. Ils permettent d'établir les quantités d'hydrocarbures produites après dégazage, déshydratation, stabilisation, dessalage, dégazolinage et décantation avant expédition vers les canalisations d'évacuation. En outre, ces centres doivent être équipés en appareils de contrôle et instruments de mesure des quantités d'hydrocarbures qui en sortent. Ces appareils de contrôle et instruments de mesure ainsi que le mode opératoire doivent recevoir les agréments nécessaires conformément à la réglementation en vigueur ;
 - Centres de réception et d'expédition principaux (C.R.E.P.) : les installations de stockage et de dispatching reliées par les canalisations principales, directement ou indirectement, aux installations d'exportation, de traitement industriel, de liquéfaction et d'alimentation générale du réseau de canalisations de distribution publique. Ces centres doivent être équipés d'instruments et d'appareils de mesures et de contrôle dûment agréés conformément à la réglementation en vigueur.

³⁹ Une infrastructure de distribution du gaz naturel comprimé (GNC) comme carburant comprend essentiellement les éléments suivants (**JOR N°47, 2005**) : modules de stockage, groupes de compression, volucompteurs simples ou jumelés munis de leurs flexibles, cabine d'alimentation électrique, poste d'alimentation de gaz naturel et modules d'utilités.

⁴⁰ Décret N°88-35 du 16 février 1988 définissant la nature des canalisations et ouvrages annexes relatifs à la production et au transport d'hydrocarbures ainsi que les procédures applicables à leur réalisation.

- ii. Canalisations rattachés aux moyens de production d'hydrocarbures
 - Canalisations de collecte qui relie soit la tête de puits producteurs au centre de traitement des hydrocarbures gazeux ou au centre de séparation, soit les centres de traitement aux installations de réinjection, soit les centres de séparation aux centres principaux de collecte (C.P.C.) ;
 - Canalisations de desserte qui relie les installations d'injection aux têtes de puits injecteurs ;
 - Canalisations d'évacuation qui relie soit les centres de traitement aux canalisations principales (terminaux départ ou branchements), soit les centres principaux de collecte aux canalisations principales, soit un centre de traitement ou de séparation situé sur un permis d'exploitation à un centre de réinjection situé sur un autre permis d'exploitation.
- iii. Canalisations rattachées à l'activité de transport d'hydrocarbures
 - Canalisations principales qui partant d'un centre de réception et d'expédition principal (C.R.E.P.) ou, par branchement connexe, assurent le transport des hydrocarbures liquides ou gazeux aux fins d'exportation, de traitement industriel, de liquéfaction et d'alimentation générale du réseau de canalisations de distribution ;
 - Canalisations qui relie deux ou plusieurs canalisations principales ;
 - Canalisations qui font partie des réseaux internes aux centres de réception et principaux.
- iv. Ouvrages annexes rattachés aux canalisations de transport d'hydrocarbures, les stations de compression, de pompage, de détente et de prédétente annexées auxdites canalisations.

H. Appareils émettant de bruit

Dans l'industrie d'O&G, il existe des appareils émettant de bruit. A cet effet, le "DE N°93-184"⁴¹ exige que les groupes électrogènes de puissance, les groupes moto-compresseurs, les compresseurs et suppresseurs doivent être munis d'un dispositif d'insonorisation ou d'atténuation de bruit lorsqu'ils sont utilisés à moins de 50 m des locaux à usage d'habitation ou des lieux de travail ([JOR N°50, 1993](#)).

I. Appareils électriques

C'est une classification appelée communément (APE). Elle fait l'objet du "DE N°01-342"⁴². Elle comporte les deux répartitions suivantes ([JOR N°65, 2001](#)) :

- i. Répartition d'ordre globale des installations électriques en fonction de la valeur de la tension nominale comme illustré dans le tableau I.3.

⁴¹ DE N°93-148 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits.

⁴² DE N°01-342 du 11 Chaâbane 1422 correspondant au 28 octobre 2001.

Tableau I.3. Domaines de tension (JOR N°65, 2001).

DOMAINES DE TENSION ELECTRIQUE [V]	TYPE DE COURANT ELECTRIQUE	
	ALTERNATIF	CONTINU
Très Basse Tension	≤ 50	≤ 120
Basse Tension A	50 < ≤ 500	120 < ≤ 750
Basse Tension B	1000 < ≤ 50 000	1500 < ≤ 75 000
Haute Tension A	1000 < ≤ 50 000	1500 < ≤ 75 000
Haute Tension B	> 50 000	> 75 000

- ii. Répartition d'ordre élémentaire où nous citons à titre indicatif :
- le matériel électrique utilisé pour la production, la transformation, le transport, la distribution ou l'utilisation de l'énergie électrique ;
 - l'appareillage électrique qui consiste en des matériels électriques assurant dans un circuit une ou plusieurs fonctions telles que la protection, la commande, le sectionnement et la connexion ;
 - le matériel d'utilisation destiné à transformer l'énergie électrique en une autre forme d'énergie comme lumineuse, calorifique, mécanique.

I.1.5. Synthèse

De ce qui précède, il est d'abord nécessaire de mettre l'accent sur le niveau d'appropriation des textes législatifs et réglementaires algérienne en matière de contrôle des installations d'O&G et leurs équipements. De plus, ces textes ont également abordé d'autres constituants du secteur d'O&G autres que les installations. A ce propos, le tableau suivant présente une liste non exhaustive des autres constituants et les textes en vigueur :

Tableau I.4. Textes législatifs et réglementaires des autres constituants du secteur d'O&G.

CONSTITUANT	DEFINITION	TEXTE
Substances explosives	- Substance ou mélange de substances solides ou liquides qui peuvent eux-mêmes, par réaction chimique, faire l'objet d'une explosion (combustion vive, déflagration, détonation) ; - Matière explosible destinée à être utilisée pour les effets de son explosion ; - Objet contenant une ou plusieurs matières explosibles.	Décret présidentiel N°90-198 du 30 juin 1990 portant réglementation des substances explosives modifié par décret présidentiel du 15 mars 1999.
Déchets	Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer.	Loi N°01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
Matières dangereuses	Tous produits et marchandises qui mettent en danger, causent des dommages, nuisent à la santé de la population et à l'environnement et détériorent les biens et infrastructures.	DE N°03-452 du 7 Chaoual 1424 correspondant au 1er décembre 2003 fixant les conditions particulières relatives au transport routier de matières dangereuses.
Gaz à effets de serre (GES)	Les émissions directes issues de la combustion et des émissions fugitives du secteur d'O&G sont constituées essentiellement de CO ₂ (dioxyde de carbone), CH ₄ (méthane) et N ₂ O (oxyde nitreux).	Décret présidentiel N°16-262 du 19 novembre 2016 portant ratification de l'Accord de Paris sur les changements climatiques, adopté à Paris le 12 décembre 2015.

Evidemment, la présence de ces textes consolide les enjeux de la sécurité énergétique devant lesquels les exploitants se trouvent dans situations délicates surtout avec les anciennes installations d'O&G. Il s'agit des installations construites avant la date d'entrée en vigueur de l'ancienne loi "N°05-07" où cette dernière a principalement exigé "la mise en conformité des opérations, des installations et leurs équipements" dans l'article 109. Par la suite, et en application des dispositions dudit article, le "DE N°14-349" est apparu dans le but de fixer les conditions de cette mise en conformité.

A ce propos, le programme de la mise en conformité prend en charge plusieurs aspects et parmi eux "les opérations" (JOR N°73, 2014). Le contrôle de ces opérations doit être adopté et mis en œuvre par des procédures et instructions qui touche plusieurs points tel que "la gestion et la maîtrise des risques associés au VI-O&G" (JOR N°4, 2015).

La figure suivante illustre d'une manière simplifiée le séquençement des textes réglementaires relatif au VI-O&G.

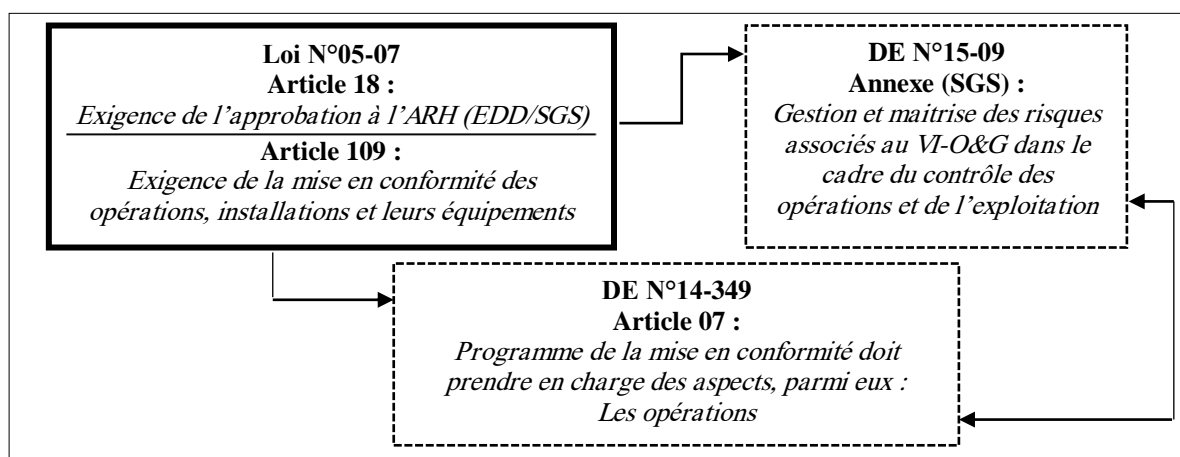


Figure I.4. Chronologie législative et réglementaire du VI-O&G.

Il ressort de la figure ci-dessus que l'objectif final est de maîtriser le VI-O&G afin de prolonger la durée des installations d'O&G ainsi que leurs équipements et de répondre, par voie de conséquence, aux prescriptions relatives à la sécurité énergétique de l'Algérie.

Un dernier constat sur le dispositif réglementaire algérien relatif au VI-O&G est que cette réglementation donne des orientations générales permettant la préservation du patrimoine des installations d'O&G. En Hygiène et Sécurité Industrielle (HSI), on parle d'approche à obligations de moyens qu'il faut compléter par une approche à obligations de résultats. Cette seconde approche est une approche scientifique qu'est axée, pour le VI-O&G, sur la sûreté de fonctionnement (SdF) des installations d'O&G qui sera présentée ci-après.

I.2. Sûreté de fonctionnement des installations d'O&G

Au sens strict du terme, la SdF est définie comme étant la science des défaillances (Villemeur, 1988). Elle a pour but de s'assurer du bon fonctionnement des systèmes sociotechniques (installation d'O&G, dans notre cas), dans le temps et tout au long de leur cycle de vie.

La SdF est fondamentale pour les installations d'O&G qualifiées de critiques et dont le dysfonctionnement peut engendrer des conséquences néfastes sur les personnes, les biens et l'environnement (Matta & al, 2012).

Au sens large du terme, la SdF est perçue à travers plusieurs attributs dont les plus importants pour les installations d'O&G sont (Villemeur, 1988): la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité.

I.2.1. Fiabilité

Selon (Lasnier, 2011), la fiabilité (Reliability, en anglais) est définie comme l'aptitude d'un équipement d'une installation d'O&G à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée.

Le non-accomplissement d'une fonction requise est dû à d'autres attributs telle que la défaillance qui représente une altération ou une cessation de l'aptitude d'un équipement à accomplir sa (ou ses) fonction(s) requise(s) avec les performances définies dans les spécifications techniques (Zwingelstein, 2018). Si ces performances sont au-dessus du seuil d'arrêt défini par celles-ci, l'équipement est dans ce cas en phase de "dégradation" (figure I.5).

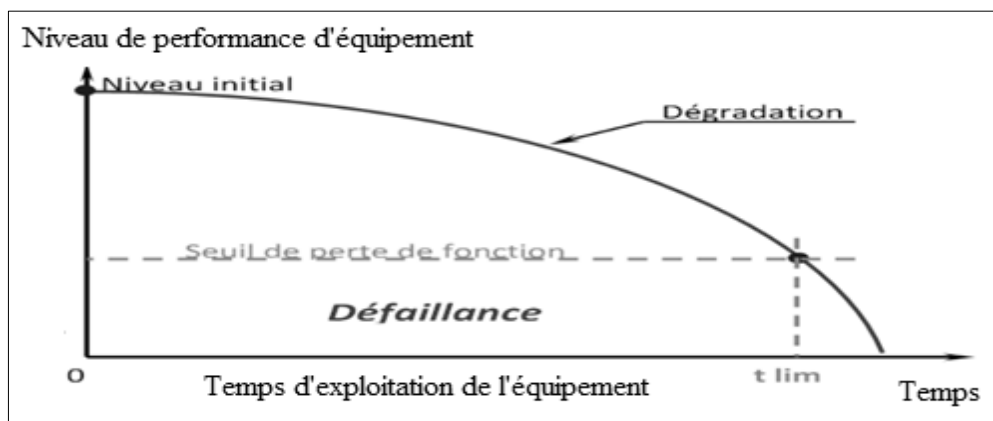


Figure I.5. Dégradation d'un équipement durant la durée de vie (Lasnier, 2011).

Cette défaillance est analysée, qualitativement, en référence aux modes de défaillances et quantitativement en référence aux taux de défaillances.

Le taux de défaillance, " $\lambda(t)$ ", est une fonction du temps qui donne une fréquence d'occurrence instantanée de défaillance pour un intervalle de temps très court :

$$\lim_{dt \rightarrow 0} \lambda(t)dt = P(t < T \leq t + dt) / T > t \quad (I.1)$$

Où : " $\lambda(t)dt$ " est une fonction représentant la probabilité conditionnelle de défaillance d'un équipement à un instant " $t+dt$ " sachant qu'il a survécu jusqu'à l'âge " t " sans défaillance.

De même, l'évaluation de la fiabilité requiert le calcul de la fonction de probabilité " $R(t)$ " (Lasnier, 2011) qui s'exprime par la probabilité de fonctionnement d'un équipement sans défaillance jusqu'à de l'instant " t " :

$$R(t) = \{T > t\} \quad (I.2)$$

Où : "R(t)" représente la fiabilité d'un équipement et "T" est une variable aléatoire qui caractérise sa durée de vie⁴³.

L'évaluation de la fiabilité sert comme support de base pour l'évaluation de durée moyenne de bon fonctionnement jusqu'à la première défaillance "Mean Time To Failure (MTTF)" qu'est exprimée par l'expression suivante :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (I.3)$$

Par ailleurs, la fonction de probabilité "R(t)" est liée à la fonction de répartition "F(t)". Ces deux fonctions sont complémentaires au sens probabiliste. "F(t)" appelée aussi la fonction de distribution, définit la probabilité de défaillance d'un équipement avant l'instant "t" :

$$F(t) = \{T \leq t\} = \int_0^t f(t) du \quad (I.4)$$

Où : "f(t)" est une fonction de densité de probabilité qui représente la densité de probabilité des durées de vie d'un équipement à un instant donné "t" :

$$f(t) = \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + dt)}{dt} = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{-dR(t)}{dt} \quad (I.5)$$

A partir des équations (I.1) et (I.5), nous déduisons une autre expression de "λ(t)" :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (I.6)$$

Cette dernière expression montre que la fonction de probabilité "R(t)" varie en fonction du taux de défaillance où elle prend plusieurs formes selon la nature du taux de défaillance (constance ou non). En effet, dans le cas d'un taux de défaillance constant, la forme de la fonction de probabilité "R(t)" est exponentielle (figure I.6) :

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x) dx} \quad (I.7)$$

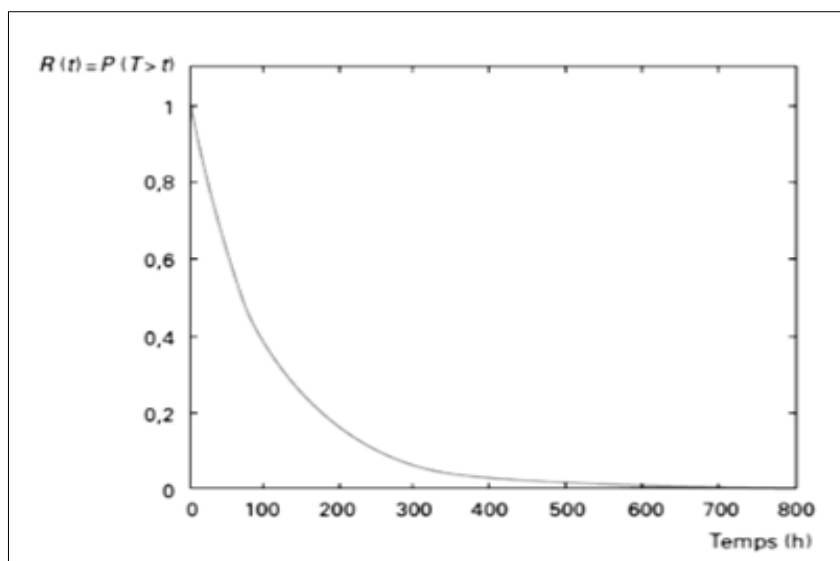


Figure I.6. Allure de la courbe de la fiabilité d'un équipement (Lyonnet & al, 2012).

⁴³ La durée de vie d'un équipement est calculée par une durée durant laquelle il aura effectivement fonctionné (Lyonnet & al, 2012).

Ce que nous retenons pour la fiabilité

La fiabilité d'un équipement décroît dans le temps et cette décroissance est accentuée en phase de vieillissement des équipements des installations d'O&G jusqu'à ce qu'elle s'annule pour des durées très grande ($t \rightarrow \infty$).

I.2.2. Disponibilité

La disponibilité d'un équipement est définie par son aptitude, sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de la logistique de maintenance, à remplir ou à être en état de remplir une fonction à un instant donné ou dans un intervalle de temps donné (IEC 60050, 1999).

Pour un équipement d'une installation d'O&G, la disponibilité et la fiabilité sont identiques si cet équipement est irréparable. Par contre, s'il est réparable, l'allure de la fonction disponibilité "A(t)" (Availability, en anglais) est fournie par la figure suivante :

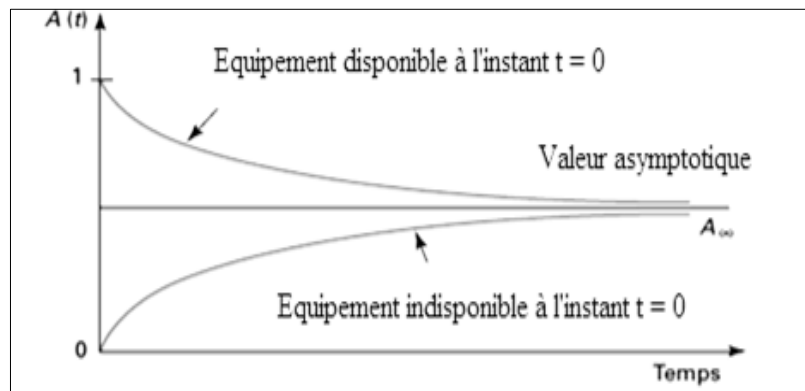


Figure I.7. Allure de la courbe de la disponibilité d'un équipement (Benard & al, 2001).

Ce que nous retenons pour la disponibilité

La disponibilité d'un équipement tend avec le temps vers une valeur asymptotique. Pour les équipements des installations d'O&G, cette valeur est d'autant faible que l'installation est en phase de vieillissement.

I.2.3. Maintenabilité

La maintenance d'un équipement désigne l'ensemble des activités destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état spécifié ou dans des conditions données, pour accomplir la fonction requise (Francastel, 2009).

Par analogie à la fiabilité, l'évaluation de la maintenabilité (Maintenability, en anglais) s'effectue également à partir de la fonction de probabilité "M(t)". Cette fonction signifie que la maintenance d'un équipement est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits, soit achevée au temps "t", sachant que l'équipement est défaillant au temps "t = 0" :

$$M(t) = \{Y \leq t\} \tag{I.8}$$

Où : "M(t)" représente la maintenabilité d'un équipement et "Y" est une variable aléatoire désignant la durée de la panne de l'équipement.

L'intérêt de cet attribut (maintenabilité d'un équipement d'installation d'O&G) est qu'il serve comme support de base pour la déduction de la durée moyenne de réparation "Mean Time To Repair (MTTR)" :

$$MTTR = \int_0^{\infty} (1 - R(t)) dt \quad (I.9)$$

Notons également qu'à partir de "M(t)", nous pouvons déduire d'autres attributs de la SdF tels que l'intensité de réparation "g(t)" et le taux de réparation " $\mu(t)$ ". Ces deux attributs sont fournis par les expressions suivantes :

$$g(t) = \frac{dM(t)}{dt} \quad (I.10)$$

$$\mu(t) = \frac{1}{1-M(t)} \frac{dM(t)}{dt} \quad (I.11)$$

Signalons enfin que contrairement à la fonction de fiabilité, celle de la maintenabilité évolue dans le temps de manière inversée (de 0 à 1). La figure suivante représente l'allure de la fonction de la maintenabilité "M(t)" en fonction du temps :

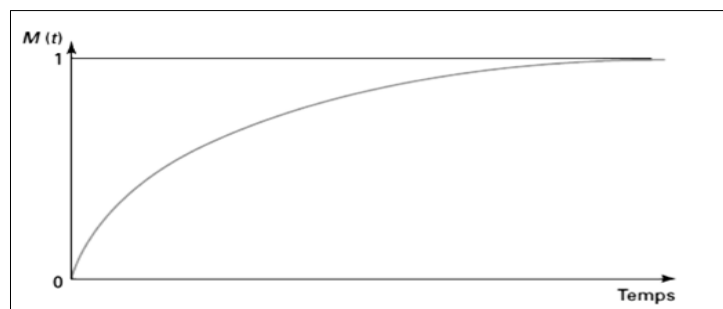


Figure I.8. Allure de la courbe de la maintenabilité d'un équipement (Monchy & Kojchen, 2015).

Ce que nous retenons pour la maintenabilité

La maintenabilité d'un équipement croît de manière monotone avec le temps. Cependant, pour les équipements des installations d'O&G, cette croissance est ralentie pour cause du phénomène de vieillissement (réurrence des opérations de maintenance pour cause d'âge avancé de ces équipements).

I.2.4. Sécurité

La sécurité est un état où les dangers et les conditions pouvant provoquer des dommages corporels (Sanders, 2011). Elle est, donc, l'absence du danger.

Selon Sutton (2010), la sécurité est liée à la fiabilité d'un équipement puisqu'elles partagent des éléments communs (notions de coûts et de risques) mais se distinguent quand une action est menée pour améliorer soit la sécurité (au détriment de la fiabilité) ou bien la fiabilité (au détriment de la sécurité).

Les rappels réglementaires et de la SdF étant fournies, dans la suite de ce chapitre, nous nous focalisons sur le phénomène du VI-O&G. Plus précisément, sur sa définition et sa caractérisation, dans un premier temps, et les approches d'étude de ce phénomène, dans un second temps.

I.3. A propos du VI-O&G

I.3.1. Définitions

Plusieurs définitions de ce phénomène ont été fournies par la littérature. Tout d'abord, le dictionnaire terminologique⁴⁴ qui définit le vieillissement comme étant un processus de transformation graduelle d'une manière naturelle que subit tout organisme vivant⁴⁵ du fait de l'avancement graduel en âge.

Par ailleurs, l'Institut français de Recherche en Energies Electriques (Grant & al, 1992) et le Département Américain de l'Energie (DEUSA, 1993) le définissent comme étant un processus général par lequel les caractéristiques et les performances d'une installation (ou son équipement) se changent graduellement du fait du facteur du temps ou d'utilisation.

Lannoy & Procaccia (2005) dans leur ouvrage considèrent ce phénomène de vieillissement comme étant une maladie inéluctable traduite par "une perte de fonction (défaillance) d'une installation par les effets du temps ou des conditions d'usage" ou par "une altération d'une ou plusieurs fonctions (dégradation) plus ou moins rapide des performances".

Notre constat sur la dernière définition est qu'elle évoque deux notions (ou attributs de la SdF) : notion de "défaillance" pour la première partie de la définition et notion de "dégradation" dans sa seconde partie. Ce sont ces deux notions qui gouvernent les approches d'étude (ou des manifestations) du VI-O&G que nous présentons dans la suite de ce chapitre.

Ces deux parties représentent théoriquement les deux approches de manifestation du vieillissement et par voie de conséquence, elles touchent les installations d'O&G et leurs équipements. C'est pour cette raison que nous retenons la dernière définition et l'explication de ces deux approches sera effectuée dans la section suivante.

I.3.2. Approches scientifiques d'étude du VI-O&G

A. Approche fiabiliste

C'est une approche basée essentiellement sur la courbe dite "en baignoire" qui se divise principalement en trois périodes (figure I.9) : période de rodage, de vie utile période et de vieillissement. Elle est plutôt destinée aux équipements "actifs" des installations d'O&G dont les durées des trois périodes se diffèrent d'un type d'équipement à un autre.

A.1. Période de rodage⁴⁶

Dans cette période, le taux de défaillance " $\lambda(t)$ " qui est grand au début, diminue assez rapidement avec le temps, jusqu'à sa stabilisation à une valeur espérée aussi basse que possible.

⁴⁴ Le site web : <http://www.granddictionnaire.com/> (Dernière consultation : 01.12.2019).

⁴⁵ Il est clair que cette définition se réfère beaucoup plus au vieillissement humain qu'au celui industriel.

⁴⁶ Cette phase est dénommée également : période de mortalité infantile ou de défaillances précoces.

La littérature spécialisée dans ce domaine stipule que les défaillances dans cette période sont dues (Heng, 2011 ; Procaccia & al, 2011) : au manque de contrôle sur le processus manufacturier (défauts de fabrication ou de conception, mauvais contrôle de la qualité, ... etc.), aux défauts dans les matériaux, aux dommages lors du transport ou au d'usage inadéquat de l'équipement. Pour remédier à ce type de défaillances précoces, seules les améliorations de la conception ou le choix de bons matériaux utilisés permettent de réduire la variabilité et la susceptibilité des défaillances par mortalité infantile.

Rappelons que pour les équipements électroniques, cette période peut être minimisée dans le temps. Par contre, pour les équipements mécaniques, il est souhaitable de les tester dans cette période qui risque de s'étaler dans le temps comparativement aux équipements électrique et/ou électroniques (figure I.9).

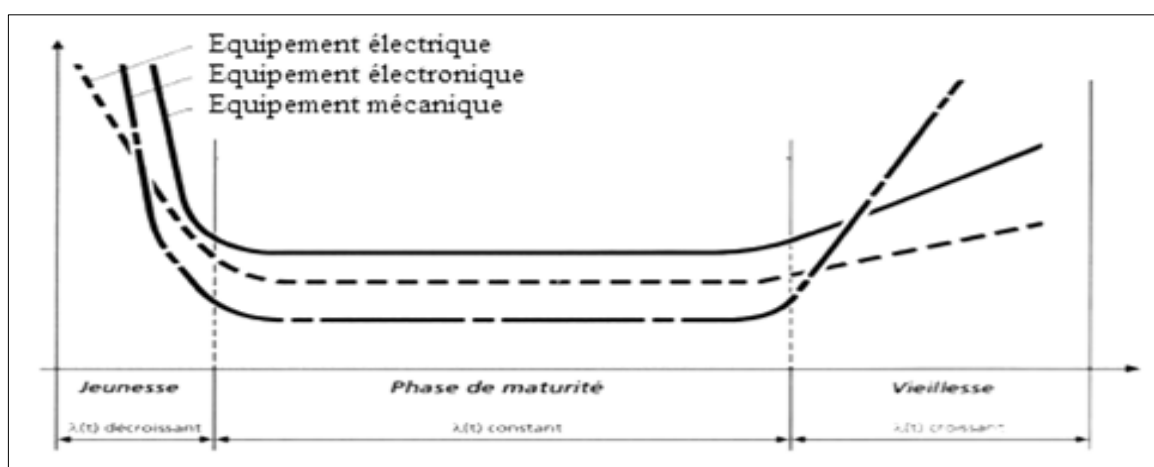


Figure I.9. Courbe de l'approche fiabiliste "Courbe en baignoire" (El Hami & al, 2018).

A.2. Période de vie utile

Cette période caractérise le début de la stabilisation du taux de défaillance à une certaine valeur. Elle s'appelle également la période de défaillance aléatoire où toutes les défaillances surviennent de manière accidentelle pour causes internes ou externes aux équipements. Comme causes externes, nous citons les agressions environnementales. Pour les causes internes, il y a lieu de rappeler (Ramesh Kumar & Krishnan, 2017) : les défauts de fabrication, les erreurs d'assemblage, la variation dans l'utilisation des équipements, les hautes températures, les hauts voltages et courants, l'humidité, la vibration ainsi que les chocs ou fluctuations thermiques et mécaniques.

A.3. Période de vieillissement

C'est l'étape où le taux de défaillance de l'équipement entame une croissance massive après une stagnation prolongée (dans la phase précédente). Cette croissance du taux de défaillance marque la dernière phase appelée également "période d'usure", donc, de vieillissement.

L'intérêt de l'approche "fiabiliste" est qu'elle est fondée sur deux paramètres qui permettent d'approcher le phénomène du vieillissement (Faucher, 2009) : l'instant d'apparition du vieillissement et sa cinétique.

La connaissance de ces paramètres permet successivement d'optimiser la maintenance préventive et d'évaluer la vitesse de croissance du risque de défaillance (Cachada & al, 2018).

B. Approche physique

L'approche physique est plutôt destinée aux équipements "passifs" des installations d'O&G (par exemple les tuyauteries, les récipients sous pression, ...) ou des sous-équipements des équipements actifs (tel que le stator d'un moteur, par exemple).

Le processus du vieillissement physique est associé aux mécanismes de dégradation des matériaux constitutifs pouvant se traduire généralement par les altérations des missions des équipements (Grous, 2013 ; Palkar & Markeset, 2012 ; Thomas 2012). C'est le cas par exemple des fuites importantes engendrées suite aux mécanismes de corrosions des matériaux.

Suivant cette approche, l'INERIS⁴⁷ a développé trois phases principales (figure I.10) :

- Période de rodage où la dégradation⁴⁸ de certains équipements peut progresser occasionnellement ;
- Période d'amorçage (ou de maturité) où le comportement de l'équipement est supposé stable (comparativement à la phase précédente) avec un taux de défaillance constant (généralement faible). La durée de vie de l'équipement dans cette phase dépend de son état dans la phase précédente ainsi que sa résistance aux agressions externes (conditions de son fonctionnement). Pour anticiper d'éventuelles dégradations accidentelles des équipements durant cette phase, il est opportun de procéder à des opérations d'inspection et de maintenance dont leurs périodicités sont déterminées en référence à la criticité des équipements tout en prenant en considération le retour d'expérience (REX) ;

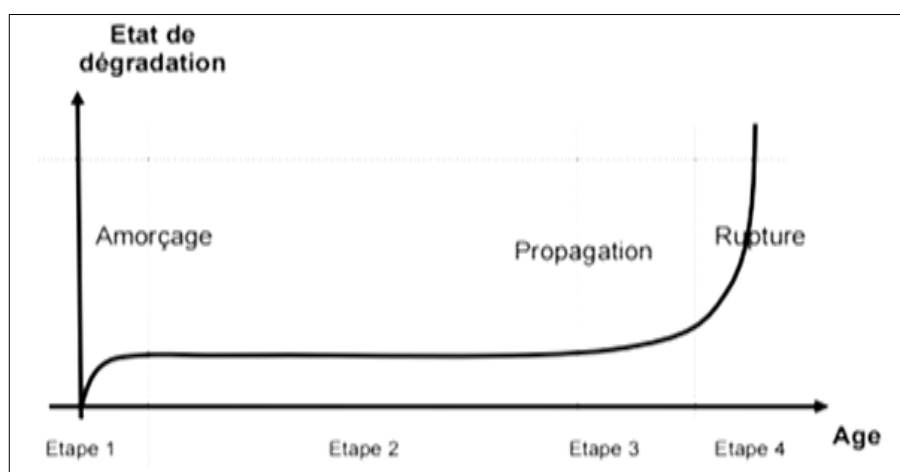


Figure I.10. Evolution associée à l'approche physique (INERIS, 2009).

⁴⁷ Le site web : <https://www.ineris.fr/fr> (Dernière consultation : 01.12.2019).

⁴⁸ Cette dégradation a pour causes principales : défauts de dimensionnement et/ou de conception.

CHAPITRE I : Contexte réglementaire et technique du vieillissement des installations pétro-gazières

- Période de propagation qui peut aller jusqu'à la rupture. Lors de cette période, la dégradation d'un équipement a atteint certainement un certain niveau de criticité. Ce niveau conditionne, en grande partie, la croissance de sa vitesse de dégradation. Pour faire face à cette éventuelle croissance dans la dégradation de l'équipement, l'institut français INERIS (INERIS, 2009) recommande l'utilisation des méthodes de contrôles de type "Fitness For Service"⁴⁹ pour s'assurer du maintien en service de l'équipement en toute sécurité.

Un examen de cette approche montre qu'il est supporté par des contrôles associés aux différentes phases d'évolution de la dégradation d'un équipement (tableau I.5).

Tableau I.5. *Contrôles associés de l'approche physique (INERIS, 2009).*

EVOLUTION DE DEGRADATION	CONTROLE ASSOCIE
Phase initiale (uniquement pour un nouvel équipement)	Post-commissionning (validation de l'état de l'équipement à la réception)
Amorçage	Inspection basée sur la criticité
Propagation	Suivi déterministe
Rupture très probable	Suivi continu

De même, un examen approfondi des vieillissements "fiabiliste" et "physique" montre qu'elles partagent des aspects communs et se distinguent dans certains détails résumés par le tableau suivant :

Tableau I.6. *Comparaison entre la modélisation fiabiliste et physique (Lannoy & Procaccia, 2009).*

	MODELISATION FIABILISTE	MODELISATION PHYSIQUE
Données utilisées	Défaillances Données de survie Expertise	Dégradations Données physiques Expertise REX analogue
Indicateurs recherchés	Taux de défaillance Intensité de défaillance Probabilité de défaillance Durée de vie moyenne	Taux de défaillance Probabilité de défaillance Durée de vie résiduelle Covariables influentes
Domaine	Fiabilité et maintenance	Approche probabiliste physique, maintenance conditionnelle

Conclusion

Le long de ce chapitre, nous avons rappelé les approches globales qui cadrent le phénomène du vieillissement industriel. A savoir : l'approche réglementaire (à obligations de moyens) et l'approche scientifique (à obligations de résultats).

Dans la dernière partie du présent chapitre, nous avons détaillé les deux approches scientifiques axées sur une vision "fiabiliste" ou "physique" avec une comparaison entre ces deux visions. Ce qui permet de faire le point sur le phénomène de vieillissement de manière approfondie.

Le chapitre suivant sera focalisé sur la maîtrise de ce phénomène.

⁴⁹ Cette méthode fait l'objet de la norme API 579.

CHAPITRE II : Approches de la maîtrise du vieillissement des installations pétro-gazières

Introduction

Dans les industries d'O&G, la maîtrise du vieillissement dans le but de prolonger la durée de vie des installations d'O&G est un enjeu majeur pour ces industriels (Animah & al, 2018 ; Milazzo & al, 2018 ; Candreva & Houari, 2013). La revue bibliographique dédiée à cette maîtrise est gouvernée par trois grandes approches :

- la première approche, qu'est axée sur "l'anticipation"⁵⁰, porte essentiellement son intérêt sur la compréhension de la manifestation du VI-O&G et l'exploitation des différentes formes du REX en vue d'anticiper le vieillissement et le maîtriser ;*
- la deuxième est basée sur les "décisions multicritères"⁵¹. Elle repose sur l'évaluation multicritère (combinaison des critères "indicateurs") de l'occurrence de la probabilité et de la gravité des conséquences associées au phénomène du VI-O&G. En fonction de la criticité de ce phénomène qu'une décision est prise en compte en termes d'optimisation des tâches d'inspection et de maintenance afin d'assurer une meilleure maîtrise du VI-O&G ;*
- la dernière approche est basée sur l'utilisation des "indicateurs"⁵² spécifiques qui décrivent le phénomène du VI-O&G.*

Un examen rapide de la première et la deuxième approche montre que la première peut être qualifiée d'approche proactive tandis que la seconde est plus tôt du type plus réactif que proactif. De même, l'examen de la deuxième et la troisième approche montre qu'elles partagent toutes les deux l'aspect "multicritères" mais elles se diffèrent dans la manière d'user des indicateurs retenus. En effet, la seconde approche utilise la combinaison des

⁵⁰ En anglais : Anticiaption-based Approach "ABA".

⁵¹ En anglais : Multi-Criteria Decision-based Approach "MCDBA".

⁵² En anglais : Indicators-based Approach "IBA".

indicateurs (leur agrégation) "probabilité" et "gravité" tandis que la troisième approche procède à la priorisation des indicateurs du VI-O&G.

Le présent chapitre a pour objectif de présenter ces trois approches en se focalisant sur leurs avantages et limites respectifs. A l'issue de cette présentation, une nouvelle approche mixte dédiée au phénomène du VI-O&G sera présentée.

II.1. Historique du VI-O&G

Le VI-O&G a engendré de multiples risques majeurs à l'échelle mondiale ([Bragatto & Milazzo, 2016](#)). De même, des études ont montré que la fatigue des matériaux et la corrosion sont des mécanismes majeurs du VI-O&G pouvant conduire aux fuites, chutes d'objets ...etc. ([Animah & al, 2018](#) ; [INERIS, 2009](#)).

En Algérie, la fuite engendrée par la corrosion des équipements de l'usine de liquéfaction de gaz - Skikda (situé à l'Est de l'Algérie) du Groupe Sonatrach était la cause principale de la tragédie du 09.01.2004 marquée par un lourd bilan : 27 morts et 74 blessés sans oublier les pertes matérielles estimées à plus de deux (02) milliards de dollars ([CNA, 2019](#)). De plus, le vieillissement des équipements de cette usine est à l'origine des explosions récurrentes qu'a connait cette usine ([Chettouh & al, 2016](#)).

Cette tragédie de Skikda était, également, la cause de lancement de plusieurs projets au niveau du Groupe Sonatrach ([Chati, 2013](#)) :

- signature de la première politique HSE du Groupe Sonatrach le 27.04.2004 ;
- première mise en place du projet (HSE-MS Management System) du Groupe ;
- programme de formation du personnel du Groupe en matière HSE ;
- mise en place d'un système de gestion des crises (Incident Command System) du Groupe ;
- lancement des EDD et EIE des sites du Groupe ;
- élaboration d'un nouveau référentiel intitulé "Permis de travail" du Groupe ;
- cartographie des risques des sites de l'activité d'exploration et de production du Groupe par l'organisme GRAS SAVOYE (organisme de conseil en assurance) ;
- projet "Risk Assessment" des sites de la division production de l'activité d'exploration et de production du Groupe ;
- élaboration des procédures HSE.

Par ailleurs, l'institut français INERIS dans son ouvrage ([INERIS, 2015a](#)) a élaboré une base de données des accidents en lien avec l'exploration et l'exploitation d'O&G au niveau internationale (y compris l'Algérie). Cette base de données est structurée comme suite :

- Circonstances : cette rubrique se décompose en deux parties :
 - Installation/ Equipement : un constat de différents accidents indique clairement que l'ensemble des équipements susceptible d'être affecté par le vieillissement ;
 - Phase d'opération : c'est une phase spécifique de l'équipement au moment de laquelle l'accident est survenu. De plus, des accidents se sont survenus où des équipements étaient à l'arrêt ;

CHAPITRE II : Approches de la maîtrise du vieillissement des installations pétro-gazières

- Causes : deux catégories sont distinguées dans cette rubrique. La première concerne l'originalité des accidents dû au vieillissement qui peut être "intérieure comme extérieure" tandis que la seconde relative aux types des causes qui peuvent être "techniques, humaines et/ou organisationnelles" ;
- Conséquences : il s'agit de la gravité des accidents dû au VI-O&G qui peuvent être catastrophiques sur les personnes, les installations et l'environnement.

L'occurrence des accidents majeurs à base du VI-O&G (tableau II.1) était à l'origine de développement des directives, standards et normes internationales qui feront l'objet de la section suivante.

Tableau II.1. Accidents dû au VI-O&G entre 2006 et 2018 en Algérie (CNA, 2019)⁵³.

IDENTIFIANT/ EVENEMENT	CIRCONSTANCES		CAUSES	CONSEQUENCES
	INSTALLATION EQUIPEMENT	PHASE D'OPERATION		
Le 19.04.2016 à 16h10 Site 3 du centre 1217de stockage des hydrocarbures - Naftal (Skikda) / Deux explosions successives suivies d'un incendie	Pompe Guinard	Alimentation du bras de chargement des camions citernes à partir des bacs de stockage	Vieillissement des pompes	- Un brulé - Trois personnes évacuées vers l'hôpital de Skikda
Le 04.01.2015 à 22h35 Centrale Thermique – Groupe Sonelgaz ⁵⁴ (Skikda) / Incendie	Turbine	Entrainement de l'alternateur	Vieillissement de la turbine (fuite)	- Un blessé - Une personne évacuée - Arrêt de l'unité 2 de la centrale thermique de 80 mégawatts
Le 05.11.2014 à 06h15, et ; Le 25.11.2014 à 02h30 RTE (Région de transport Est) - Groupe Sonatrach (Skikda) / Incendie	Pipeline gazoduc 01	Transport du gaz naturel	Vieillissement du pipeline (fuite)	Aucun dégât n'a été enregistré
Le 02.09.2014 à 09h15 Tunnel abritant des pipes de Groupe Sonatrach (Skikda) / Fuite importante de gasoil	Pipeline	Transport du gasoil de la raffinerie de Skikda au Port pour le chargement des navires	Vieillissement du pipeline	Aucun dégât n'a été enregistré
Le 19.12.2012 Raffinerie - Groupe Sonatrach (Skikda) / Explosion suivie d'un incendie	Pipe au niveau de l'unité pétrochimique 100	Transport des produits comme le méthane, le propane ...	Vieillissement de pipe (fuite)	Trois brulés suite à une explosion survenue pendant la semaine de cette explosion due également à une fuite

⁵³ C'est un document officiel établi par le Conseil National des Assurances qui a pour but la mise en exergue des accidents industriels en Algérie entre 2006 et 2018.

⁵⁴ Acronyme de la société nationale de l'électricité et du gaz.

CHAPITRE II : Approches de la maîtrise du vieillissement des installations pétro-gazières

Le 01.04.2009 Raffinerie - Groupe Sonatrach (Skikda) / Incendie	Pipe au niveau de l'unité pétrochimique 10 ⁵⁵	Production des dérivés comme l'essence, le gasoil ...etc.	- Vieillissement de l'unité (fuite de gasoil). - Nature de la maintenance adoptée ou sa ponctualité	Premiers soins pour trois opérateurs
--	--	---	--	--------------------------------------

II.2. Standards internationaux relatifs au VI-O&G

Afin d'illustrer l'apport des normes et standards internationaux pour la maîtrise du VI-O&G, nous présentons à titre indicatif les appareils à pression (APGV) que nous avons déjà introduits dans le premier chapitre (I.1.4).

En Algérie, la maîtrise de vieillissement des APG et APV en termes d'inspection est cadrée, successivement, par les DE N°90-245 et N°90-246.

Les tableaux II.2 et II.3 présentent la nature ainsi que les périodicités des APG et APV conformément aux deux DE précédents.

Tableau II.2. Inspection réglementaire des APG (JOR N°36, 1990).

NATURE DES VERIFICATIONS	PERIODICITE	OBSERVATIONS
Maintenance de niveau 1	Quotidienne	Voir les préconisations du constructeur
Visite technique réglementaire : Visite interne et externe Sondage aux ultrasons, endoscopie et contrôle non destructif (CND) ⁵⁶ en cas de nécessité Vérification des dispositions de sécurité	03 ans au plus tard	Cette opération doit être réalisée en présence du représentant d'un organisme agréé par le ministère de l'énergie et des mines
Epreuve hydrostatique P _e =1,5 P _s (épreuve hydraulique) P _e =1,1 P _s (épreuve pneumatique) Où : P _e : Pression d'épreuve P _s : Pression de service	10 ans au plus tard ou après une réparation notable	L'épreuve doit être procédée par une visite technique réglementaire L'épreuve doit être réalisée en présence de l'ingénieur du service des mines territorialement compétent

Tableau II.3. Inspection réglementaire des APV (JOR N°36, 1990).

NATURE DES VERIFICATIONS	PERIODICITE	OBSERVATIONS
Maintenance de niveau 1	Quotidienne	Voir les préconisations du constructeur
Visite technique réglementaire : Visite interne et externe Sondage aux ultrasons, endoscopie et CND en cas de nécessité Vérification des dispositions de sécurité	18 mois au plus tard	Cette opération doit être réalisée en présence du représentant d'un organisme agréé par le ministère de l'énergie et des mines
Epreuve hydrostatique P _e =1,5 P _s (épreuve hydraulique)	10 ans au plus tard ou après une réparation notable	L'épreuve doit être procédée par une visite technique réglementaire L'épreuve doit être réalisée en présence de l'ingénieur du service des mines territorialement compétent

⁵⁵ L'unité était en arrêt pour maintenance et l'incendie s'est survenue dans les premières 48 heures de démarrage.

⁵⁶ Les techniques de CND inspirées de (INERIS, 2009) font l'objet de l'Annexe 3.

CHAPITRE II : Approches de la maîtrise du vieillissement des installations pétro-gazières

A l'échelle mondiale⁵⁷, la nature ainsi que les périodicités des appareils à pression (nommés également les équipements sous pression –ESP–) sont résumées dans les tableaux suivants.

Tableau II.4. Inspection des capacités sous pression (Adjadj & al, 2014).

	FRANCE		UK	USA		PAYS-BAS			ALLEMAGNE
	Base	SIR	Base	API 510	RBI	Base	Etendu	Flexible	Base
Inspection externe	IP : 40mois RP : 30, 60 ou 120mois(*)	Selon plan IP : Max 60 ou 72 mois RP : Max 120 ou 144 mois	Selon plan Guide : 24 à 144 mois	60 mois	Pas d'intervalle max	48 à 72 mois	96 à 144 mois	16 à 18 ans	24 mois
Inspection interne	IP : 40mois RP : 30, 60 ou 120mois(*)	Selon plan IP : Max 60 ou 72 mois par SIR RP : Max 120 ou 144 mois	Selon plan Guide : 24 à 144 mois	120 mois max ou on stream par CND	Pas d'intervalle max	48 à 72 mois Peut être remplacée par CND	96 à 144 mois	16 à 18 ans	60 mois
Vérification accessoires de sécurité	IP : 40mois RP : 30, 60 ou 120mois(*)	Selon plan IP : Max 60 ou 72 mois RP : Max 120 ou 144 mois	Selon plan au moins souvent que réservoirs	Soupapes : Max 60 mois	Pas d'intervalle max	Même fréquence équipement			Oui
Epreuve hydraulique Test de pression	RP : 30, 60 ou 120 mois (*) (**)	Selon plan RP : Max 120 ou 144 mois (**)	Peut être remplacé par CND	Peut être remplacé par CND	/	Peut être remplacé par CND			120 mois Peut être remplacé par CND

(*) dépend de la nature de la substance contenue (caractère toxique et/ou corrosif)
(**) le test de pression est requis selon les conditions de pression et volume
IP : Inspection périodique ; **RP** : Requalifications périodiques ; **RBI** : Risk-Baed Inspection ; **SIR** : Service inspection reconnu
API 510 : Equipements sous pression

Tableau II.5. Inspection des tuyauteries sous pression (Adjadj & al, 2014).

	FRANCE		UK	USA		PAYS-BAS			ALLEMAGNE
	Base	SIR	Base	API 570	RBI	Base	Etendu	Flexible	Base
Inspection externe + examen accessoires de sécurité	Programme à établir Inspection + validation plan : 36, 60 ou 120 mois (*)	Selon plan d'inspection A faire par SIR Validation plan : Max 120 ou 144 mois	Selon plan Guide : 24 à 144 mois	60 à 120 mois	Pas d'intervalle max	48 à 72 mois	96 à 144 mois	16 à 18 ans	60 mois
Epreuve hydraulique Test de pression	Dispense d'épreuve hydraulique	Dispense d'épreuve hydraulique	Dispense d'épreuve hydraulique	Dispense d'épreuve hydraulique	/	Peut être remplacée par CND	Peut être remplacée par CND	Peut être remplacée par CND	60 mois Peut être remplacée par CND

(*) le test de pression est requis selon les conditions de pression et volume
API 570 : Inspection piping

⁵⁷ Plus précisément, au niveau de cinq pays qui sont : France, Royaume-Uni, Etats-Unis, Pays-Bas et Allemagne.

L'intérêt des données présentées dans les tableaux II.2 à II.5 est qu'elles permettent d'alimenter la veille réglementaire permettant la maîtrise du VI-O&G notamment en Algérie.

La démarche normative d'étude du VI-O&G est axée, généralement, sur trois étapes détaillées ci-après (Lannoy & Procaccia, 2009).

Signalons au paravent que cette démarche est basée sur la fixation des objectifs de disponibilité et de sécurité des équipements.

II.2.1. Identification et hiérarchisation des équipements importants

Une installation d'O&G comprend un nombre important des équipements. Il est difficile d'évaluer le vieillissement d'une installation d'O&G. Pour cela, seuls les équipements importants pour la disponibilité ou pour la sécurité feront l'objet d'évaluation. Ainsi et pour ce qu'est de l'objectif "sécurité", une évaluation des facteurs de risque, permet :

- d'évaluer la criticité de chaque mode de défaillance/ mécanisme de dégradation en examinant la gravité de ses effets et la fréquence d'occurrence ;
- d'hiérarchiser l'importance des modes de défaillances/ mécanismes de dégradations dans leur contribution aux scénarios accidentels ;
- de mettre en évidence les équipements les plus critiques.

De la même manière, les équipements importants pour la disponibilité sont déterminés pour l'objectif de production par le biais des facteurs d'augmentation et de diminution des profits.

La liste des équipements importants est finalement obtenue. Elle peut être enrichie par l'expertise et le REX en tenant compte des informations suivantes :

- le vieillissement d'équipement peut avoir des conséquences, directes ou indirectes, plus ou moins graves ;
- la sensibilité au vieillissement est plus ou moins forte ;
- certains équipements ne peuvent pas être remplacés, et dans certains cas, la durée de vie de l'installation sera limitée par ces équipements non remplaçables ;
- la défaillance/dégradation de certains équipements n'est pas tolérable, ce qui affecte aussi la durée de vie de l'installation.

II.2.2. Evaluation du vieillissement des équipements importants

Les équipements importants sont considérés comme névralgiques au phénomène de vieillissement. Conséquemment, une évaluation de ces équipements permet de comprendre :

- les modes de défaillances/ mécanismes de dégradations, leur impact sur les fonctions des équipements/ propriétés des matériaux de l'équipement étudié, compte tenu des conditions d'exploitation et d'environnement ;
- les causes des défaillances/ dégradations observées ;
- la cinétique des défaillances/ dégradations ;

- les conditions de leur exploitation et leurs répercussions sur les futures défaillances potentielles/ dégradations.

II.2.3. Mise en œuvre des parades adéquates

Les parades permettant la maîtrise du vieillissement sont orientées vers :

- l'inspection qui peut être visuelle ou plus sophistiquées si l'on mesure des profondeurs d'usure ;
- la surveillance en ligne fondée, soit sur le suivi d'un paramètre physique caractéristique du vieillissement ou bien sur les indicateurs de fiabilité.

Ces méthodes de maîtrise du vieillissement doivent être complétées par d'autres méthodes de protection telle que la maintenance préventive, la rénovation d'un équipement ou son remplacement par un autre équipement plus fiable et le changement des conditions d'exploitation.

Pour synthétiser cette démarche normative d'étude de vieillissement, le tableau suivant récapitule ses principales phases :

Tableau II.6. *Grandes tendances des études du vieillissement (Lannoy & Procaccia, 2009).*

OBJECTIFS	DISPONIBILITE	SECURITE/ SURETE
Impact	Sur la disponibilité, donc sur les profits	Sur les fonctions de sûreté de l'équipement
Identification et hiérarchisation des équipements importants	Plutôt les équipements actifs, quelques équipements passifs	Plutôt les équipements passifs, quelques équipements actifs
Evaluation de vieillissement des équipements importants	Modèles de fiabilité Efficacité de la maintenance	Modèles de dégradation Estimation d'une durée de vie résiduelle
Mise en œuvre des parades adéquates	Maintenance préventive optimisée Remplacement	Inspection Surveillance

II.3. Différentes approches de la maîtrise du VI-O&G

II.3.1. Approche basée sur l'anticipation

L'anticipation des événements potentiellement indésirables en termes de sécurité et de disponibilité permet de maîtriser les conséquences d'occurrence de ces événements de manière proactive (figure II.1). Les actions d'anticipation peuvent être de types : surveillance, maintenance préventive ou remplacements adéquats.



Figure II.1. *Informations relatives à la démarche d'anticipation (Bouziane-Marle, 2005).*

La figure ci-dessus montre que cette approche peut être gouvernée également par la gestion de la connaissance (Données → Informations → Connaissances) où ce triptyque est supporté par des acteurs appropriés (Boubaker, 2012): observateurs, analystes, experts et décideurs (figure II.2).

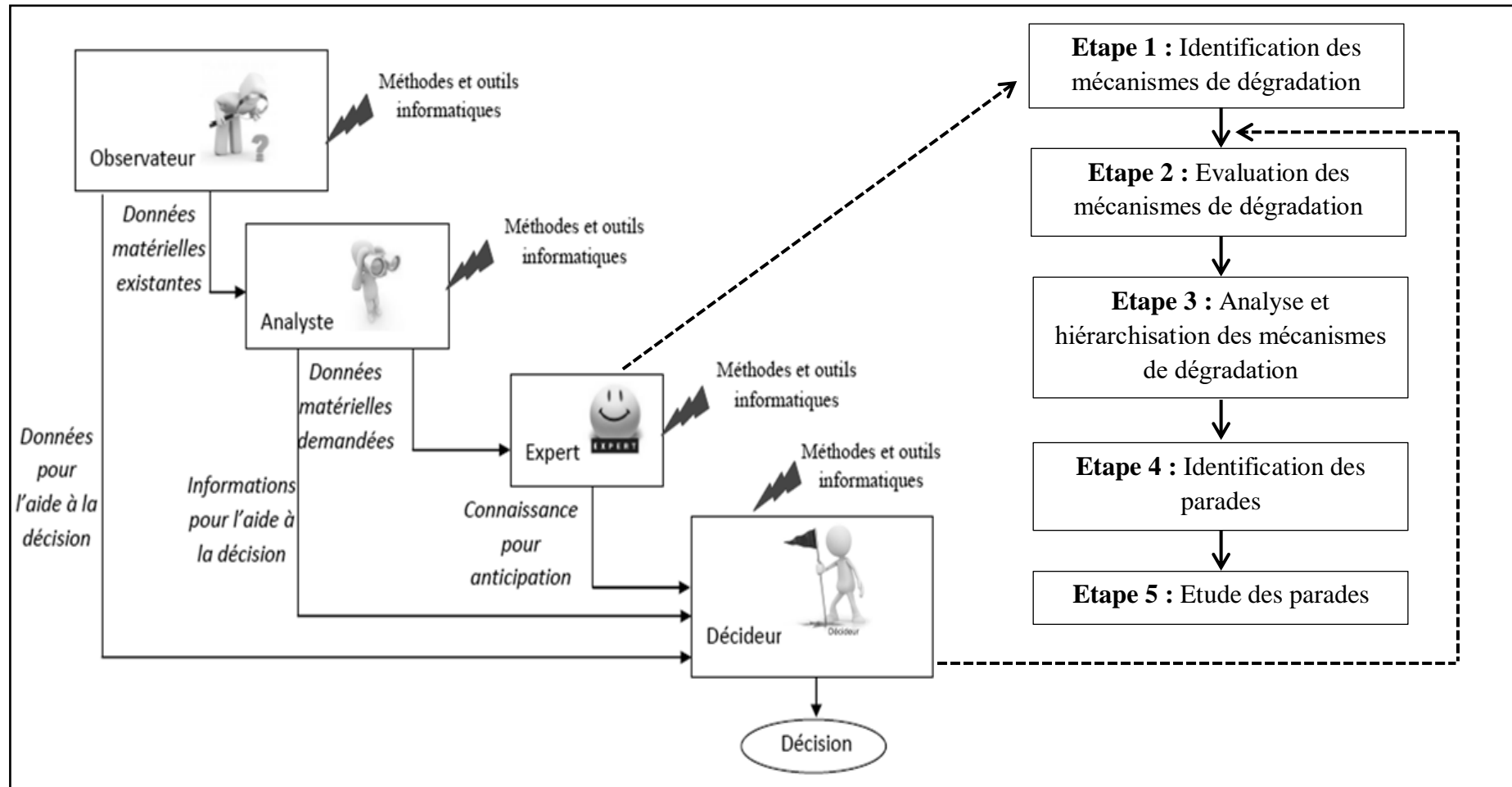


Figure II.2. Lien entre les acteurs de la gestion des connaissances et la logigramme d'AVISE.

A titre indicatif, la figure de la page précédente permet également de déduire les éventuelles étapes de la méthode AVISE⁵⁸ la plus recommandée dans cette approche qui sont illustrées sur un exemple d'un processus d'anticipation des défaillances dues au vieillissement des équipements passifs (pressuriseur) d'une centrale nucléaire (Bouziane-Marle, 2005). Il s'agit d'une approche qui repose principalement sur l'utilisation du REX et sur l'exploration de l'expertise.

Les étapes de cette approche d'AVISE sont en nombre de cinq : identification des mécanismes de dégradation potentiels, évaluation de la pertinence des mécanismes de dégradation identifiés, analyse et hiérarchisation des mécanismes pertinents, identification des parades potentielles et étude de la pertinence des parades.

Dans la première étape d'AVISE, ce sont les experts qui fournissent la liste finale des mécanismes potentiels. Ensuite, pour l'étape 2, la méthode préconise l'usage des réseaux bayésiens qui permettent de modéliser et quantifier ces mécanismes de manière robuste. L'exploitation des résultats issus des réseaux bayésiens (étape 3) permettent de consolider les parades retenues dans l'étape 4. Enfin, dans la dernière étape, AVISE recommande d'évaluer l'efficacité et le coût des parades par le biais des réseaux bayésiens.

II.3.2. Approche à base de risques : cas du -RBI-

Cette approche peut être cadrée par la méthode RBIM⁵⁹ issue du projet RIMAP⁶⁰ ayant pour but la proposition des recommandations pour développer des politiques de maintenance et d'inspection tout en se basant sur les niveaux de risques induits par les conséquences de modes de défaillances et des mécanismes de dégradations des équipements des installations d'O&G (figure II.3).

Un examen la figure II.3 montre que cette approche à base de risques est gouvernée principalement par des méthodes qui sont :

- inspections basées sur les risques (Risk-based Inspection "RBI", en anglais) ;
- maintenances des systèmes instrumentés ;
- maintenances basées sur les risques (Risk-based Maintenance "RBM", en anglais) ;
- maintenance basées sur la fiabilité (Reliability-Centred Maintenance "RCM", en anglais).

Dans cette section, nous nous focalisons sur la méthode dont son développement remonte à 1993 où la méthode RBI était défini comme (API 581,2016) "une méthodologie intégrée qui utilise le risque pour hiérarchiser et gérer un programme des inspections des équipements des installations d'O&G qui servent à confiner les fluides, à savoir les réservoirs sous-pression, les tuyauteries, les accessoires sous pression, les serpentins de réservoirs de stockage, les bassins de rétention et de récupération, les conduits de gaz, les joints de dilatation ...etc".

⁵⁸ AVISE : Anticipation du Vieillissement par Interrogation et Stimulation d'Experts.

⁵⁹ Risk-Based Inspection and Maintenance (Inspection et maintenance basées sur le risque).

⁶⁰ Risk Based Inspection and Maintenance Procedures for European Industry. Ce projet faisait l'objet de la norme CEN CWA 15740 de 2008 dans le but de concrétiser les résultats de son initiative qui a été lancée en 2001 par la communauté européenne.

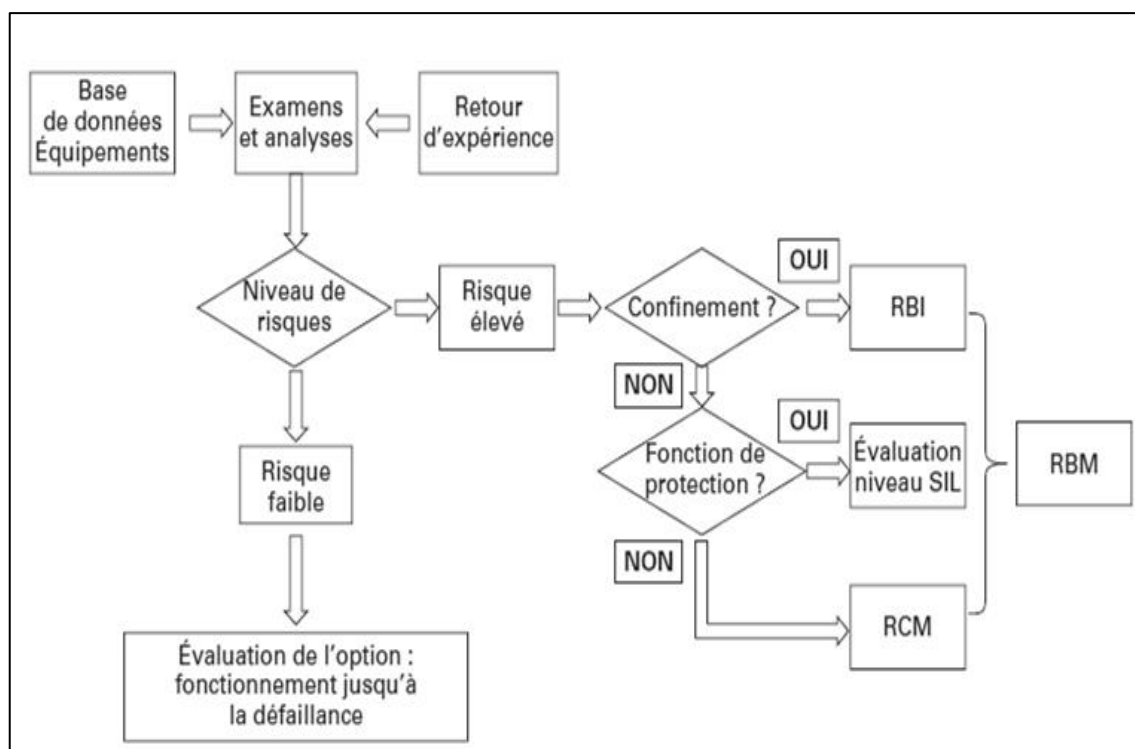


Figure II.3. Organigramme des tâches pour RIMAP (Zwingelstein, 2015).

La méthode RBI a pour but de concevoir un programme des inspections et d'autres activités qui gère les risques des mécanismes de dégradations des équipements concernés. Cette méthode, dans sa version récente, est donc capable de préciser (INERIS, 2018) :

- le classement de tous les équipements évalués selon la criticité ;
- la description détaillée du plan d'inspection à déployer pour chacun des équipements, en misant en évidence les méthodes, l'étendue, les instants et intervalles des inspections ;
- la gestion du risque conformément au plan de maintenance ;
- la description des parades adéquates, telles que les réparations, les remplacements et les instruments de sécurité ;
- les niveaux de risque attendus pour les différents équipements considérés, après inspection et après la mise en œuvre des parades mises en place.

Dans cette méthode RBI, le risque est calculé comme étant le produit de la probabilité de défaillance (Probability of failure "POF") d'un équipement et de la conséquence (Consequence of failure "COF") qui lui est associée. La probabilité de défaillance est ensuite déterminée à l'aide selon 2 méthode (API 581, 2016) : soit par le calcul de durée de vie ou bien par la formule suivante (Equation II.1) :

$$POF(t) = 1 - e^{-gff \cdot FMS \cdot Df(t)} \quad (II.1)$$

Où :

- "gff" : fréquences génériques des défaillances (generic failure frequency, en anglais);
- "FMS" : coefficient de management de site (management system factor, en anglais) ;
- "Df(t)" : facteur de dommage (overall damage factor, en anglais).

Dans l'équation (II.1), le coefficient de management de site est une mesure qui reflète la façon dont la direction et la main-d'œuvre de l'industrie sont formées pour gérer à la fois les activités quotidiennes de l'industrie et les urgences qui peuvent survenir en raison d'un accident. Ensuite, le facteur de dommage est la combinaison des divers facteurs d'endommagement inhérents à un équipement : âge d'équipement, efficacité des inspections, évaluation des mécanismes potentiels de dégradation et le calcul de cinétique des dégradations. Enfin, les fréquences génériques des défaillances sont rapportées dans les tableaux qui se trouvent dans la norme API 581.

S'agissant des conséquences des défaillances, elles sont calculées en additionnant les conséquences financières relatives aux équipements eux-même, aux équipements avoisinants, à la production, aux blessures du personnel et aux dommages environnementaux (Eq. II.2). Les conséquences des défaillances peuvent inclure à la fois des conséquences financière (FC) et des conséquences de zone (sécurité) (CA) (Eq. II.3).

$$FC = FC_{cmd} + FC_{affa} + FC_{prod} + FC_{inj} + FC_{environ} \quad (II.2)$$

$$CA = \max(CA_{equip}, CA_{personnel}) \quad (II.3)$$

Avec :

- "FC_{cmd}" : la conséquence financière d'un équipement défectueux ;
- "FC_{affa}" : la conséquence financière des équipements environnants ;
- "FC_{prod}" : la conséquence financière due aux arrêts de production ;
- "FC_{inj}" : la conséquence financière due à des blessures corporelles ;
- "FC_{environ}" : la conséquence financière due aux dommages environnementaux / au Nettoyage ;
- "CA_{equip}" : la conséquence de la zone à l'équipement environnant ;
- "CA_{personnel}" : la conséquence de la zone pour le personnel à proximité.

Il est important de rappeler que les trois approches connues dans l'évaluation des risques (qualitative, semi-quantitative et quantitative) peuvent être utilisées dans cette méthode (CCPS, 2007). Enfin, les principales étapes de cette méthode sont (INERIS, 2018) :

- sélection des équipements concernées ;
- sélection des modes de dégradation ;
- détermination de la catégorie de probabilité de défaillance ;
- détermination de la catégorie de conséquence de défaillance ;
- détermination de la criticité et des seuils ;
- détermination d'un plan d'inspection ; et enfin ;
- évaluation de l'endommagement.

II.3.3. Approche basée sur les indicateurs du vieillissement industriel

Avant d'aborder dans les détails du principe de cette troisième approche (cf. chapitre suivant), il est important de rappeler la signification du mot "indicateur" et par la suite la méthode générale de construction des indicateurs d'une manière générale et dans le domaine du VI-O&G en particulier.

En effet, le dictionnaire Grand Robert⁶¹ indique qu'un indicateur est "un instrument servant à fournir des indications quantitatives sur un phénomène (vieillessement, dans notre cas) à l'utilisateur". Cette définition montre clairement qu'un indicateur (de vieillissement) est un vrai outil d'aide à la prise de décision (maîtrise du vieillissement, dans notre cas). De même, tout indicateur doit être formulé de manière à ce que son exploitation à des fins de prise de décision soit claire et concise.

Pour une meilleure exploitation des indicateurs, ils sont souvent rattachés (Zwingelstein, 2014) : à l'activité, aux ressources, aux processus ou aux résultats. Les indicateurs peuvent être également du type qualitatif ou quantitatif. Les indicateurs quantitatifs peuvent être exprimés sous forme d'une valeur (CCPS, 2018) : relative (taux ou ratios) ou absolue (durée, ...etc.).

Lors de la construction d'un indicateur (de vieillissement, dans notre cas), il se pose un problème de sa qualité (Zwingelstein, 2014). A ce propos, l'indicateur doit être (Liu & al, 2019) : simple et compréhensif, validé et pertinent, fiable et spécifique.

Par ailleurs, les indicateurs du VI-O&G sont généralement axés sur les objectifs de la SdF qui représentent un outil indispensable pour le suivi du phénomène du vieillissement industriel en vue de sa maîtrise. Pour cela, ils sont mis en place sous forme de tableaux de bord (Laloix & al, 2017 ; CCPS, 2010) afin de : faciliter le suivi du phénomène du vieillissement, donner la visibilité sur les actions à prendre, favoriser la communication autour de la gestion du vieillissement, chiffrer l'impact du vieillissement et faciliter la négociation avec les assureurs.

Les indicateurs de la SdF sont souvent classés en deux grandes catégories :

- les indicateurs d'impact permettant d'évaluer si les actions de la SdF (politiques, procédures et pratiques) atteignent les objectifs de la SdF. Souvent ces indicateurs sont du type réactif ;
- les indicateurs d'activités qui permettent d'identifier si les entreprises mènent les actions (politiques, procédures et pratiques) nécessaires pour réduire les risques. Ces indicateurs sont de type proactif.

Dans d'autres références documentaires, nous trouvons également l'appellation "indicateurs standards" (Vinnem, 2010) et "indicateurs d'objectifs" (Øien & Utne, 2011 ; Øien, 2008).

Conclusion

Ce bref survol sur les indicateurs en général (et vieillissement, dans notre cas), montre l'intérêt que présente cette approche à base d'indicateurs, d'une part et la complexité de la construction de ces indicateurs, d'autre part.

Un autre constat est que cette approche à base d'indicateurs permet de capitaliser les deux approches précédentes (d'anticipation et à base de risques) par le biais des indicateurs.

⁶¹ Le site web : grandrobert.lerobert.com (Dernière consultation : 01.12.2019).

CHAPITRE II : Approches de la maîtrise du vieillissement des installations pétro-gazières

Donc, c'est une approche qui permet de fusionner ces deux approches d'anticipation et à base de risques.

Autrement-dit, les approches d'anticipation et à base de risques sont basées d'une certaine manière sur l'usage des indicateurs mais leurs indicateurs ont des portées limitées (proactives ou bien réactives).

Une autre limite des approches précédentes est que les tableaux de bord qui leurs sont associés pour assurer le suivi des indicateurs sont également de types réactif ou proactif. D'où une autre limitation de ces deux approches par rapport à l'approche à base d'indicateurs.

Pour illustrer nos propos, nous faisons allusion à l'outil matrice des risques utilisée dans la méthode RBI qui souffrent de nombreuses limites (Hadeif & Djebabra, 2020 ; Hadeif & Djebabra, 2019) : les difficultés de l'utilisation de la matrice P-C (Probabilité – Conséquences) à toutes les organisations, une utilisation subjective, une impossibilité d'agrégation des risques d'une catégorie en un risque appartenant à une catégorie supérieure.

Ces différentes constatations sur les trois approches de vieillissement industriel (approches anticipative, à base de risques et à base d'indicateurs) permet finalement de privilégier l'usage de cette troisième approche à base d'indicateurs que nous présentons de manière détaillée dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

Introduction

Il est important de rappeler que l'approche à base d'indicateurs évoquée dans le chapitre précédent est également de type "multicritères". Car, les indicateurs retenus sont généralement de différents types et la prise de la décision en référence à ces indicateurs est, donc, de type multicritères.

Signalons également que la décision multicritère englobe également la décision sociotechnique ; car, dans une telle décision, on raisonne le plus souvent en termes d'impacts de la technologie sur la société (environnement et populations avoisinants).

L'approche de vieillissement multicritères permet aux décideurs de leur fournir des éléments de réponse pour prendre une décision sur la base des informations associées aux indicateurs de vieillissement. Conséquemment, il se pose le problème de choix de l'outil d'aide à la décision multicritères. Dans ce contexte, deux tendances marquent en général le choix des outils d'aide à la décision multicritères (Ounnar, 1999) :

- une première tendance qui caractérise le cas où les indicateurs correspondent à chacun des critères choisis pour déterminer leurs poids respectifs (problématique de tri ou de rangement) ;*
- une seconde tendance qui caractérise les alternatives ou parades à prendre (meilleure parade) pour faire face au vieillissement industriel (problématique de choix).*

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

Les outils d'aide à la décision multicritères sont nombreux⁶² et chacun d'eux a ses propres caractéristiques et spécificités. Le choix entre ces outils dépend d'un certain nombre de critères dont les plus importants sont en nombre de deux (Guitouni & al, 1999) : possibilité d'utiliser à la fois des indicateurs de différents types (qualitatif et quantitatif), simplicité et robustesse de l'outil.

Parmi ces méthodes, nous citons (Agrebi, 2018) : celles de l'approche unique de synthèse comme le processus d'analyse hiérarchique (Analytic Hierarchy Process "AHP"), la technique pour l'ordre de préférence par similarité de solution Idéale (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution "TOPSIS") et de sur-classement de synthèse à savoir l'Élimination Et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE).

Chacun de ces outils présente des avantages et limites que la littérature spécialisée dans le domaine de la décision multicritère aborde de manière détaillée.

Cependant, les avantages et limites de ces outils ne constituent pas la stratégie la plus prépondérante pour le choix de l'outil le plus adéquat. Car, la spécificité du domaine d'application de ces outils est également un autre critère à prendre en considération.

Sur la base de ce qui précède et en référence aux critères suivants (domaine de vieillissement industriel, possibilité de cadrer l'ensemble des indicateurs de vieillissement industriel et, enfin, la simplicité de l'outil), nous avons jugé utile d'opter pour l'outil TOPSIS que nous avons retenu pour l'évaluation du vieillissement industriel des sites du Groupe Sonatrach.

La suite de ce chapitre est structurée en quatre grandes sections : dans une première section nous présentons le champ d'application de la démarche préconisée pour l'évaluation du vieillissement industriel, à savoir le Groupe Sonatrach. Dans la deuxième section, nous présentons la démarche proprement-dite (le processus de construction des indicateurs de vieillissement retenu ainsi que leur priorisation par TOPSIS). La troisième section est dédiée aux résultats obtenus sur la base de l'application de ladite démarche aux sites du Groupe Sonatrach et, enfin, la dernière section permet de dresser un bilan des apports de cette contribution en matière du vieillissement industriel.

III.1. Présentation du champ d'application de la démarche du vieillissement industriel préconisée : cas du Groupe Sonatrach-Algérie

III.1.1. Présentation générale du Groupe Sonatrach

Le Groupe Sonatrach est une société algérienne qui intervient dans le secteur d'O&G mais également dans d'autres secteurs tels que la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables et le dessalement d'eau de mer. Ce géant industriel algérien est de renommée mondiale (Sonatrach, 2019) :

- au niveau continental, il est le premier groupe industriel ;

⁶² Parmi ces outils multicritères, nous citons à titre de rappel : les outils de l'approche unique de synthèse, les outils de sur-classement de synthèse et les outils interactifs.

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

- au niveau intercontinental, il est classé dixième parmi les compagnies d'O&G mondiales, deuxième exportateur de GNL (Gaz Naturel Liquéfié) et de GPL (Gaz Pétrolier Liquéfié) et troisième exportateur de gaz naturel. Sa production globale (tous produits confondus) est de 106,2 Millions de Tep (tonnes équivalent pétrole) des hydrocarbures liquides et gazeux en 2017.

En référence à l'activité amont (selon la loi récente des hydrocarbures N°19-07), le Groupe Sonatrach opère des gisements dans différentes régions du Sahara algérien tels que : Hassi Messaoud, Hassi R'Mel, Hassi Berkine, Ourhoud, Tin Fouyé Tabankort, Rhourde Nouss, In Salah et In Amenas, Stah ... etc.

En référence à l'activité aval, il compte six raffineries opérationnelles sur le territoire : deux complexes pétrochimiques et quatre complexes de liquéfaction GNL. Il possède également deux complexes de séparation GPL.

Rappelons également que le Groupe Sonatrach a aménagé trois ports pétroliers de chargement des hydrocarbures au niveau de quatre villes côtières (Alger, Arzew, Bejaia et Skikda) afin de permettre le chargement et le déchargement de gros tankers d'une capacité de 80000 à 320000 TM et de méthaniers.

Les principales missions confiées au Groupe Sonatrach par l'Etat sont :

- contribution au développement national par la maximisation à long terme de valeur des ressources des hydrocarbures ;
- satisfaction des besoins actuels et futurs de l'Etat en produits pétroliers.

III.1.2. Principales activités du Groupe Sonatrach

Les activités de base du Groupe portent sur toute la chaîne des hydrocarbures, en commençant par la recherche et l'exploration, jusqu'à transformation des hydrocarbures et leur commercialisation aux consommateurs finaux (Sonatrach, 2019).

A. Activité d'exploration et de production (E&P)

Dans un contexte marqué par la volatilité des prix des hydrocarbures et le maintien d'une demande soutenue, tant au niveau national qu'à l'international, le Groupe Sonatrach s'attache à développer son activité d'exploration et de production. Il continue de consacrer plus de 80% de son budget annuel d'investissement à la recherche, le développement, l'exploitation et la production des hydrocarbures.

A titre d'illustration de nos propos et pour accroître la découverte de nouveaux gisements, 53 milliards de dollars ont été consacré pour cette activité sur la période 2017-2021 dont 9 milliards de dollars à l'exploration. L'objectif est donc de parvenir à forer environ 100 puits par an. Dans le cadre de sa stratégie 2030⁶³, le Groupe vise un doublement du volume annuel des découvertes et une augmentation des réserves prouvées de 50 à 100 millions par an.

⁶³ C'est stratégie qui a pour but d'être une référence mondiale parmi les compagnies d'O&G.

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

Cette stratégie de croissance est remarquable aussi bien pour le gaz naturel (surtout par les projets d'exploration sur les régions gazières du sud-ouest algérien) que pour l'offshore. Les premiers forages gazières en méditerranée seront lancés durant l'année 2020. Parmi les autres pistes à l'étude pour trouver de nouvelles ressources, le Groupe Sonatrach réaffirme sa volonté de développer les ressources non conventionnelles. A cet effet, l'Algérie se situe aujourd'hui au troisième rang mondial en termes de réserves des capacités de gaz de schistes.

Le Groupe Sonatrach vise également le développement du projet d'énergie solaire pour diversifier ses activités énergétiques. A ce propos et d'ici 2030, il vise la couverture de 80% des besoins énergétiques de ses sites pétroliers par des centrales solaires. Donc, l'objectif est de réduire la consommation des hydrocarbures sur site et les émissions de gaz à effet de serre. Le Groupe Sonatrach compte se doter à terme, d'une capacité de production de l'ordre de 1,3 gigawatt.

B. Activité de transport par canalisation (TRC)

Cette activité a pour missions de développer le réseau d'infrastructures de transport par canalisations, de stockage, de chargement et déchargement à travers les infrastructures portuaires à quai et en haute mer. Le réseau de transport par canalisation s'est considérablement densifié au fil des années sur le territoire national. Il s'étend aujourd'hui, sur près de 22 000 kilomètres dont 53% sont dédiés au transport du gaz naturel.

C. Activité de liquéfaction et de séparation (LQS)

Cette activité s'est affirmée en tant que maillon important dans la chaîne de valeur du Groupe Sonatrach.

En référence à cette activité, le Groupe Sonatrach figure aujourd'hui, parmi les leaders mondiaux dans l'industrie de GNL et de GPL. Les exportations de GNL par voie maritime sont de l'ordre de 21 milliards de cm³.

D. Activité de raffinage et de pétrochimie (RPC)

Elle a pour mission essentielle l'exploitation et la gestion de l'outil de production du raffinage et de la pétrochimie, pour répondre principalement à la demande du marché national en produits pétroliers. Dans le cadre de sa stratégie 2030, le Groupe Sonatrach a lancé un programme de modernisation des modes de management avec un alignement sur les nouveaux modèles de stratégies et d'organisation. Ce programme est donc appuyé par une série d'objectifs concernant toutes les activités du Groupe notamment l'Aval des hydrocarbures, où elle vise la modernisation et le renforcement des capacités du raffinage existantes et la mise en place d'une réelle industrie pétrochimique performante, par la valorisation, l'optimisation et la transformation des matières premières en produits pétrochimiques.

E. Activité de commercialisation (COM)

Dans le but de veiller aux approvisionnements énergétiques du marché national et international, cette activité se positionne en tant que garant du service public, en faveur de la valorisation des hydrocarbures liquides et gazeux, primaires et transformés, exportés sur les marchés internationaux. L'objectif de cette activité est l'élaboration et l'application des politiques et des stratégies en matière de commercialisation des hydrocarbures.

Pour rappel, le Groupe Sonatrach affiche clairement, dans le cadre de l'horizon 2030, son ambition de devenir l'une des cinq premières compagnies dans le secteur d'O&G à l'échelle mondiale les plus performantes et les plus rentables de l'industrie énergétique mondiale. Il vise également un taux d'intégration nationale de 55 % d'ici 2030.

Par ailleurs, le Groupe Sonatrach participe activement au soutien du tissu industriel local. Il prévoit de réaliser d'ici 2030 des investissements sur le territoire national de plus de 59 milliards de dollars dont : 45,8 milliards de dollars dans l'activité d'exploration et de production, 8,6 milliards de dollars dans celle de raffinage et pétrochimie et 2,3 milliards de dollars dans celle de transport par canalisations.

III.2. Démarche préconisée pour l'évaluation du vieillissement des installations onshore

La démarche proposée se compose de deux étapes principales : établissements (ou construction) des indicateurs de vieillissements et priorisation de ces indicateurs par TOPSIS.

III.2.1. Construction des indicateurs du vieillissement des installations onshore

La construction des indicateurs de vieillissement industriel requiert une procédure basée sur trois phases : (i) la première phase concerne la définition des objectifs stratégiques du Groupe Sonatrach en matière de vieillissement de ses installations, (ii) la deuxième se focalise sur la construction proprement-dite d'un ensemble approprié d'indicateurs de vieillissement industriel en se basant sur l'implication des experts du Groupe Sonatrach et (iii) la dernière phase vise l'intégration de ces indicateurs dans la politique du Groupe (et plus particulièrement par le processus de budgétisation).

Ces trois étapes sont interdépendantes et conditionnent, en conséquence, la réussite de la démarche de vieillissement proposée.

A. Objectifs du Groupe Sonatrach en matière du vieillissement industriel

Ces objectifs doivent être exprimés (ou fixés) dans le cadre d'une vision aussi large que possible développée par le Groupe. Ils doivent être intégrés dans la stratégie globale du Groupe et doivent être scindés en même temps en sous-objectifs puis en démarche de

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

gestion (sous forme d'un Programme de Maîtrise de Vieillessement "PMV"⁶⁴) sur un horizon de temps.

Dans le cadre d'allocation d'objectifs de vieillissement, nous adoptons le modèle d'allocation d'objectifs environnementaux développé par [Saadi \(2015\)](#).

En effet, dans le cadre de la stratégie du Groupe Sonatrach pour l'horizon 2030, nous supposons la fixation d'un objectif stratégique intégrant la maîtrise du vieillissement des installations du Groupe noté "O_S". Pour garantir son atteinte dans le temps, cet objectif est alloué de manière descendante en sous-objectifs où chaque sous-objectif "O_{t_i}" est exprimé par :

$$O_{t_i} = w_i \cdot O_S \quad (\text{III-1})$$

Où : "w_i" est le poids d'allocation de l'objectif stratégique "O_S" en sous-objectif "O_{t_i}".

Evidemment, la somme des poids "w_i" est égale à l'unité : $\sum w_i = 1$.

Dans l'équation (III.1), le poids "w_i" est exprimé par :

$$w_i = t_i / T \quad (\text{III.2})$$

Avec : $\sum t_i = T$ (i = 1...10) ; "T" est l'horizon 2030 (T = 10 ans) et "t_i" étant l'instant relatif au sous-objectif "O_{t_i}".

Pour des raisons de pérennisation de cette procédure d'allocation d'objectif stratégique "O_S" en sous-objectif "O_{t_i}", nous subdivisons l'intervalle [0-T] en dix sous-intervalles égaux. D'où t_i = 1/10 pour tout i = 1 ... 10.

L'intérêt de la stratégie d'allocation d'objectif adoptée est qu'elle permet de réajuster le PMV en cas où un sous-objectif "O_{t_i}" n'est plus respecté pour cause d'occurrence d'un risque de vieillissement.

Ce risque est évalué par le biais de la méthode RBI déjà présentée dans le chapitre précédent. En effet et à chaque inspection des installations, en cas de criticité du phénomène du vieillissement sur la base de l'évaluation de son risque (Eqs. II-1 à II-3), l'instant "t_i" correspondant sera considéré comme étant un instant crucial qui nécessite une parade immédiate pour maîtriser le vieillissement industriel. Cette parade est exprimée sous forme d'un sous-objectif réajusté "O_{t_i}^{*}". Ce processus de réajustement s'effectue ensuite de manière ascendante au niveau de l'objectif stratégique :

$$O_S^* = \frac{O_{t_i}^*}{w_i} \quad (\text{III-3})$$

Ainsi, cette double allocation (descendante puis ascendante) permet de réussir la crédibilité du PMV ainsi que sa pérennisation.

⁶⁴ Dans ce sens, nous rappelons qu'un plan de modernisation des installations industrielles (PMII) a été lancé officiellement en Europe en 2010 dans le but de faire face au vieillissement des installations classées soumises à Autorisation.

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

Evidemment, dans l'Eq. III.3, les inégalités suivantes doivent être vérifiées : $O_{t_i}^* < O_{t_i} \Rightarrow O_S^* < O_S$.

Si les décideurs du Groupe souhaitent maintenir l'égalité $O_S^* = O_S$, il faut mobiliser autant de ressources permettant de renforcer les parades à l'instant t_i .

B. Stratégie de construction des indicateurs du vieillissement des installations onshore

Dans le cadre de la démarche préconisée pour la maîtrise des indicateurs de vieillissement industriel, nous avons opté pour la construction des indicateurs par le biais d'un questionnaire simple distribué sur les experts du Groupe Sonatrach.

Le recours aux experts pour la construction des indicateurs du VI-O&G est primordial ; car, ils permettent de proposer autant d'indicateurs qui permettent de mieux cadrer la maîtrise de ce phénomène. Cependant, la divergence entre les experts peut poser des problèmes sur la sélection de certains indicateurs. Pour gérer cette divergence d'experts, seule la méthode Delphi (Cooke, 1991) est capable de dégager des consensus.

Dans notre cas, l'usage de Delphi permet d'aboutir à un consensus sur les critères d'élaboration des indicateurs VI-O&G en termes de facteurs potentiels (FP) du VI-O&G. A ce propos, une liste de ces FP a été soumise aux experts du Groupe Sonatrach⁶⁵ pour avis.

Le déploiement de Delphi s'est effectué, comme l'exige la littérature, en trois temps (Lannoy & Procaccia, 2001 ; Cooke & Goossens, 2000) : (i) avis des experts sur les FP du VI-O&G, (ii) diffusion de ces avis sur l'ensemble des experts pour information et (iii) éventuelles réactions par rapport à leurs propres avis dans le but de se rapprocher d'un avis consensuel.

Evidemment, lors du premier envoi de la liste des FP du VI-O&G aux experts, nous l'avons accompagné des références bibliographiques qui permettent de consolider le contenu de cette liste initiale.

Il s'agit des FP suivants (Castellet-Viciano & al, 2018 ; Hokstad & al, 2010 ; Palkar, 2010) : le temps de fonctionnement des équipements des installations d'O&G et leurs propriétés, les conditions d'usage (ou régime opératoire), et les conditions environnementales.

L'avantage du recours à ces FP est évident : ils peuvent être formalisés sous forme d'indicateurs de vieillissement qui vont faire l'objet, par la suite, d'évaluation et d'hierarchisation.

Par ailleurs, lors de l'envoi de ces FP aux experts, nous avons accompagné la liste initiale des FP par une note indiquant les enjeux de l'identification des indicateurs de vieillissement ainsi que leurs avantages. Un extrait de cette note est rappelé ci-après.

⁶⁵ Cadres du Groupe spécialisés en HSE. Ils sont en nombre de sept répartis sur les sites du Groupe.

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

Les avantages d'élaboration des indicateurs du VI-O&G par les biais de leurs FP sont multiples ([Ancione & al, 2020](#) ; [Laloix & al, 2017](#)) :

- communication des risques inhérents aux installations d'O&G et leurs équipements qui résultent du problème de vieillissement ;
- aide à la prise de décision permettant la maîtrise du VI-O&G et la mesure du progrès déployé pour pérenniser cette maîtrise ;
- les indicateurs à retenir doivent se rattacher parfaitement avec l'objectif du Groupe Sonatrach qui consiste à maîtriser le VI-O&G ;
- les indicateurs à retenir doivent se compléter sans qu'ils soient dupliqués ;
- les indicateurs à retenir doivent se conformer avec les standards et règlements en vigueur.

Les FP envoyés ont été approuvés rapidement par les experts consultés. L'étape suivante étant l'élaboration proprement-dite des indicateurs du VI-O&G ([Belmazouzi & al, 2020](#)) :

B1. Indicateur relatif à l'âge d'une installation (I_1)

Le premier indicateur traduit directement l'âge moyen d'une installation d'O&G. Il est calculé en utilisant la règle du max qui se réfère à l'équipement le plus ancien.

B2. Indicateur relatif à la politique de maintenance adoptée (I_2)

Ce deuxième indicateur permet de mettre en exergue la politique de maintenance pratiquée au niveau d'une installation d'O&G. Le but final est non seulement d'aider les intervenants à détecter à temps voire même à anticiper les symptômes indésirables du VI-O&G, mais également de qualifier les interventions quel que soit leur nature.

Pour rappel, deux politiques de maintenance sont d'usage très répandues ([Khan & al, 2019](#)) : la première est de type "préventive" qui s'effectue avant l'occurrence d'une défaillance et la seconde qui s'applique après l'occurrence d'une défaillance, elle s'appelle la maintenance "corrective".

Selon ([AFNOR, 2016](#)), la première politique de maintenance est exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un équipement d'une installation d'O&G tandis que la seconde est exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre l'équipement dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise (figure III.1).

Une analyse de la figure III.1 montre que les deux politiques de maintenance conduisent à définir des types de maintenance :

- maintenance systématique qui s'effectue à des périodes préétablies ou selon un nombre défini d'unités d'usage, mais sans contrôle de l'état de l'équipement ;
- maintenance conditionnelle qui se focalise sur le suivi des paramètres significatifs du fonctionnement de l'équipement intégrant les fonctions qui en découlent ;
- maintenance prévisionnelle (prédictive) qui correspond à une maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation de l'équipement ;

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

- maintenance palliative destinée à permettre à un équipement d'accomplir provisoirement (dépannage) tout ou partie d'une fonction requise ;
- maintenance curative destinée à permettre à un équipement de restituer définitivement l'état de fonctionnement nominal.

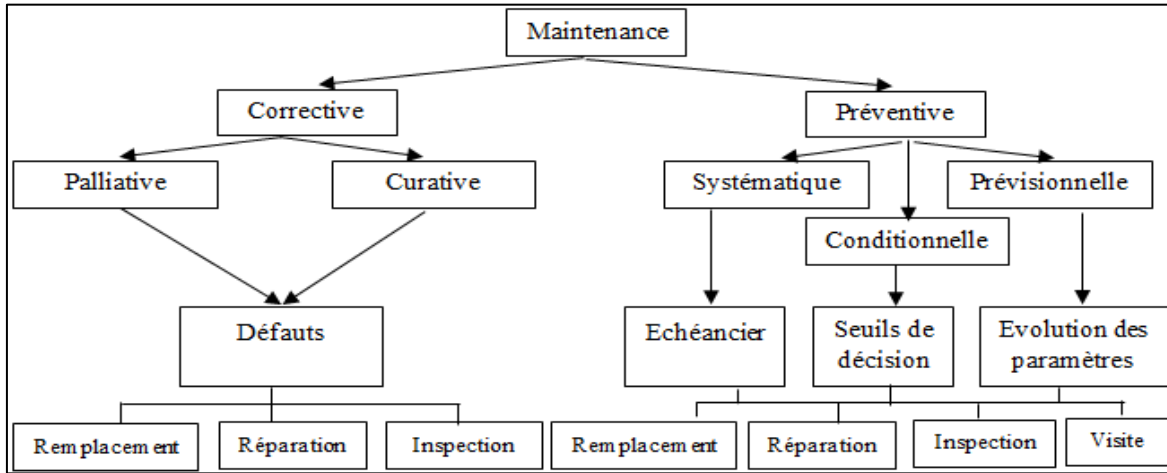


Figure III.1. Politiques de maintenance des équipements (AFNOR, 2016).

Une dernière information sur cet indicateur (I_2) est que sur le plan réglementaire, il existe des prescriptions exigées par la réglementation algérienne qui concernent les équipements constituant les installations d'O&G (partie I.1.4 du Chap. I) et également des recommandations récentes d'ARH qui, à l'issue des audits de contrôle technique des installations, elles exigent de se conformer à la méthode RBI (déjà décrite en Chapitre II).

B3. Indicateur relatif à la ponctualité des actions de maintenance (I_3)

Cet indicateur est relatif aux interventions industrielles préalablement programmées ainsi que celles qui doivent s'effectuer en cas de besoins (non programmées). Autrement-dit, il complète l'indicateur précédent en se focalisant essentiellement sur les éventuels retards dans les interventions sur les installations pour causes des contraintes de production, d'indisponibilité des pièces de rechange ou des autres forces majeurs (c'est le cas de la pandémie COVID-19 durant l'année 2020).

Pour rappel, ce troisième indicateur s'accorde non seulement avec les installations d'O&G en marche mais également avec celles qui sont à l'arrêt. C'est le cas par exemple du "planning de préservation" et "les tests de disponibilité" des machines tournantes en arrêt comme les turbines industrielles, ...etc.

B4. Indicateur relatif au choix technique dès la phase de conception (I_4)

L'indicateur I_4 cadre les phases d'ingénierie (conception) et d'exploitation. Il se focalise sur les éléments suivants : caractéristiques techniques de chaque équipement (c'est le cas par exemple de l'existence d'un revêtement protecteur ou d'une compatibilité des produits), choix de conception (tel que par exemple le cas d'une conduite calorifugée qui ne doit pas se situer au-dessous de celle d'eau) et nature de l'interface entre l'intervenant et

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

l'équipement (comme exemple : la facilité de l'accessibilité pour faire des contrôles et des inspections).

En conséquence, la prise en considération de ces éléments permet de prévenir le VI-O&G durant le cycle de vie des équipements de l'installation d'O&G (Belmazouzi & Djebabra, 2016).

Rappelons également qu'une meilleure exploitation de REX sera également nécessaire pour donner un poids additif à cet indicateur.

Enfin, l'évaluation de cet indicateur (I_4) au niveau du Groupe Sonatrach permet de procéder directement aux rapports des inspections périodiques et inopinées des installations d'O&G ainsi qu'aux ceux des audits techniques effectués par l'ARH. D'où sa complémentarité avec l'indicateur précédent (I_3).

B5. Indicateur relatif aux accidents survenus (I_5)

Cet indicateur s'intéresse aux bilans des accidents, des presque accidents, des incidents et des situations dangereuses (exemple : SOC : Safety Observations Cards) en relation avec les installations d'O&G ou celles similaires par le biais des "Safety Alerts".

Cet indicateur est évalué à partir des bilans ou rapport d'investigations. A ce propos, ces rapports sont déclenchés conformément au référentiel du Groupe Sonatrach intitulé "Référentiel d'investigation des accidents et des incidents".

B6. Indicateur relatif au système de management intégré QSE (I_6)

En termes de management, cet indicateur est un élément d'évaluation organisationnelle et opérationnelle en matière QSE (Qualité, Sécurité et Environnement).

Le Groupe Sonatrach adopte actuellement son propre système de management intégré QSE (SMI-QSE), qu'est appelé HSE-MS (Management System). Suivant ce référentiel, le Groupe Sonatrach s'engage à le mettre en place dans le cadre de la concrétisation de sa deuxième politique SSE (Santé, Sécurité et Environnement) et ce, par le biais d'une grille de diagnostic. Pour rappel, ce projet se décompose essentiellement en dix éléments qui sont : leadership et engagement de la direction, management des risques HSE, management de la santé et de la sécurité aux postes de travail, management de l'environnement, management des achats et des entreprises extérieures, documentation et communication, formation et qualification, management des accidents et des incidents, gestion des urgences et des crises et, enfin, revue de la direction.

Rappelons que cet indicateur (I_6) intègre l'ensemble des référentiels qui sont en lien avec le projet HSE-MS qui sont : identification des dangers et évaluation des risques, gestion des modifications, audit sécurité des installations de production et infrastructures de base, système de permis de travail, évaluation des risques professionnels, management HSE des entreprises extérieures, management des déchets, management de la pollution atmosphérique, les gaz à effets de serre, investigation des accidents / incidents et système de gestion des urgences et des situations des crises.

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

Cet indicateur est principalement ramifié avec la majorité des indicateurs ; ce qui le rend fortement indispensable pour une meilleure maîtrise de vieillissement.

B7. Actions de modernisation (I₇)

Il s'agit de la modernisation qu'est une action réactive ou proactive permettant de remédier au VI-O&G. Autrement-dit, sans action de modernisation, le problème de vieillissement va s'amplifier dans le temps quelque soient les autres parades de sa maîtrise.

Par ailleurs, nous rappelons que le Groupe Sonatrach a adopté les prescriptions réglementaires exigées par les DE N°14-349 et N°15-09 qui sont en commun (figure III.2) dans le cadre de la mise en conformité (modernisation).

De même, l'évaluation de cet indicateur s'effectue également en référence aux plans d'action des projets en cours.

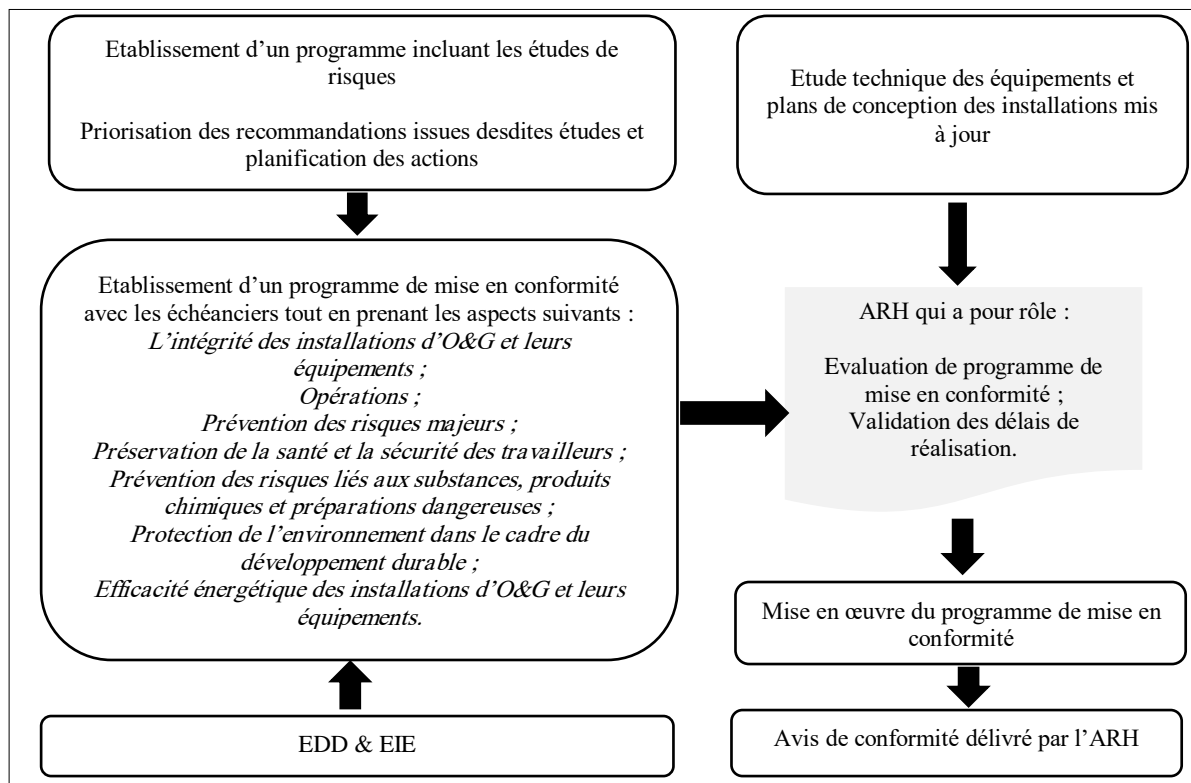


Figure III.2. Structure de DE N°14-349.

B8. Conformité réglementaire (I₈)

Cet indicateur s'inscrit dans le cadre de la mise en évidence des éventuelles réserves formulées par les instances compétentes notamment pour ce qu'est des EDD, EIE et des visites des risques (rapports des assureurs et réassureurs)⁶⁶.

D'une manière générale, cet indicateur permet d'évaluer les actions de suivi des installations d'O&G et leur usage conformément à la réglementation en vigueur.

⁶⁶ L'assurance est exigée par l'ordonnance N°95-07 du 23 Chaâbane 1415 correspondant au 25 janvier 1995.

B9. Formation (I_9)

Cet indicateur permet de mettre en valeur l'intérêt que présente la formation ainsi que la sensibilisation pour la maîtrise du VI-O&G et plus particulièrement dans la réussite des plans des actions des indicateurs précédents qui exigent une compétence requise et une vigilance particulière des acteurs impliqués dans le déploiement de ces plans.

B10. Respect des paramètres de fonctionnement de l'installation (I_{10})

Cet indicateur met en évidence l'importance des paramètres du bon fonctionnement fournis par le fabricant des équipements de l'installation d'O&G. Dans cette optique, nous faisons appel à l'exploitation de la définition large du vieillissement et plus précisément à l'aspect fonctionnel dont le suivi s'avère incontournable afin d'éviter les effets potentiels du VI-O&G.

Cet indicateur est évalué à partir du plan d'action relatif aux opérations afin que les paramètres de bon fonctionnement des équipements soient respectés.

Pour illustrer nos propos, prenons l'exemple des trains de traitement de gaz dont les paramètres des équipements (pression, débit, ...etc.) doivent fonctionner dans des plages bien déterminées. Au fil du temps, les paramètres de gaz venant des puits chutent ce qui se répercute sur le train de traitement de gaz et par conséquent, ses équipements vont subir des conséquences en termes de dégradation, donc de vieillissement. Pour remédier à ce problème, le Groupe Sonatrach prévoit une extension représentée par des installations de boosting (installations intermédiaires entre les puits et les trains de traitement) afin de respecter les plages de fonctionnement des paramètres de gaz au niveau des trains quel que soient les paramètres au niveau des têtes des puits.

B11. Types de redondances utilisées (I_{11})

Le dernier indicateur met en évidence la liaison entre les types des redondances et le vieillissement. Cette liaison provient généralement des objectifs de la maîtrise du VI-O&G mais également du REX.

Cet indicateur est évalué à partir d'un plan d'action dédié aux redondances appropriés qui permettent d'éviter le VI-O&G. c'est le cas par exemple des redondances des systèmes instrumentés de sécurité (cas de système de détection de feu et de gaz) où l'exploitant est obligé d'assurer des redondances appropriées afin d'éviter le déclenchement des trains (installations) de traitement de gaz ce qui cause leur vieillissement.

B12. Synthèse des indicateurs retenus

Un examen général des onze indicateurs du VI-O&G retenus montre que leur choix et dénomination respectent les critères suivants (Bragatto & Milazzo, 2019) : reproductivité, cohérence, statistiquement suffisant, indépendance des influences extérieures, appropriation dans le temps, facile à utiliser, fiabilité, comparabilité, concertation avec les parties prenantes du Groupe, intégration du REX et, enfin, qualité et pertinence.

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

De même, un survol rapide de l'ensemble de ces indicateurs confirme qu'un âge avancé d'une installation d'O&G provoque nécessairement : le renforcement de la politique de maintenance et sa ponctualité, le respect des paramètres de fonctionnement ainsi que le choix technique approprié (matérialisé dans la plupart des cas par : les types des redondances utilisées, l'éventuelle disponibilité de données sur l'accidentologie, les exigences de SMI-QSE, l'éventuelle mise en œuvre d'un plan de modernisation et surtout d'une évaluation objective de sa conformité réglementaire et de son plan d'action dédié à la formation.

Il faut rappeler que d'autres indicateurs peuvent être retenus également tel que l'indicateur relatif à "l'organisation". Mais, pour des raisons de standardisation des indicateurs à un ensemble des installations d'O&G du Groupe Sonatrach, d'une part, et vu que l'organisation est implicitement prise en compte par sa répartition sur les indicateurs proposés, nous avons jugé utile de se limiter aux onze indicateurs retenus et qui sont le résultat de la concertation des experts consultés qui sont des hauts cadres du Groupe Sonatrach.

Un dernier constat général sur les indicateurs du VI-O&G retenus est que ces indicateurs ne se limitent pas aux indicateurs de résultats (mise en évidence de l'existence du problème du VI-O&G qui peut se traduire par les indicateurs I₁ et I₅) mais concernent également des indicateurs de contexte (analyse du vieillissement traduite par les indicateurs I₂, I₃, I₈, I₉ et I₁₀) et de réalisation (maîtrise du vieillissement -I₄, I₆ et I₁₁- et de modernisation -I₇-).

Par ailleurs, une analyse approfondie des indicateurs retenus confirme que l'approche retenue dans ce chapitre est une approche mixte qui intègre les approches scientifiques et réglementaires évoquées dans les chapitres I et II.

Pour illustrer nos propos, nous signalons que :

- les approches fiabiliste et physique, sont cadrées, successivement, par les indicateurs I₁ et I₄ ;
- l'approche réglementaire dans :
 - sa partie "Installation/ Equipement" est cadrée par l'indicateur I₁₁ qui s'intéresse aux redondances des équipements de production et de sécurité ;
 - la phase d'opération où les équipements des installations d'O&G en marche et en arrêt sont cadrés par I₃ ;
 - les différents types des causes (techniques, humaines et organisationnelles) des accidents dû au VI-O&G sont donc concrétisées par : I₁₀ pour les causes d'origine technique, I₉ pour les causes d'origine humaine et I₃ pour les causes d'origine organisationnelle ;
 - les conséquences qui sont cadrées par I₅, ...etc.

III.2.2. Priorisation des indicateurs du vieillissement des installations onshore

La priorisation des onze indicateurs retenus est réalisée avec la méthode TOPSIS qu'est d'usage très répandu (Dandage & al, 2018 ; Mishra & al, 2017 ; Niu & al, 2017 ; Krohling & Pacheco, 2015 ; Ostad-Ahmed-Ghorabi & Attari, 2013 ; García-Cascales & Lamata, 2012).

Son concept de base est que, l'alternative choisie doit avoir la plus courte distance à l'alternative positive idéale (la meilleure sur tous les critères) et la plus grande distance à l'alternative négative idéale (qui dégrade tous les critères). Autrement-dit, Il s'agit de réduire le nombre de scénarios de désambiguïsation en écartant les scénarios dominés et de classer les scénarios efficaces selon leurs scores globaux calculés (Méndez & al, 2009). La figure III.3 illustre cette stratégie.

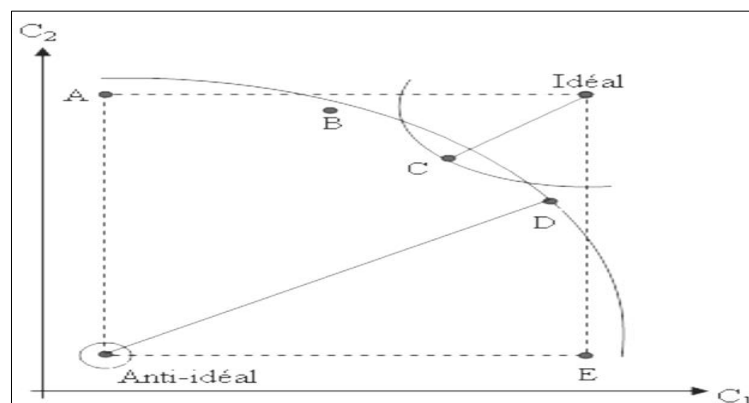


Figure III.3. Illustration des distances à l'idéal et à l'anti-idéal (Méndez & al, 2009).

Dans cette figure, il existe cinq alternatives (A, B, C, D, E), deux critères (C_1 et C_2) et les points idéal et anti-idéal. Il est clair que « C » est le point le plus proche de l'idéal et « D » est le plus éloigné de l'anti-idéal si on utilise la distance euclidienne habituelle avec des poids égaux. C'est pour résoudre ce problème de choix entre l'idéal et l'anti-idéal que TOPSIS utilise pour chaque alternative les distances pondérées à l'idéal et à l'anti-idéal.

L'ordre de préférence des alternatives peut être obtenu des séries de comparaisons de ces distances relatives. Ensuite, deux types de critères existants dont le premier est de nature "entrée – coût" alors que le second est de nature "sortie – bénéfice". En ce qui concerne le premier, il signifie que les éléments ayant les valeurs minimales sont préférés contrairement au second qui signifie que les éléments ayant celles maximales sont préférés.

Il existe également un critère nommé "objectif" lorsqu'on peut assigner des valeurs numériques pour l'alternative considérée au contraire au critère "subjectif" où la quantification par des valeurs numériques est impossible (Wanga & al, 2009).

Le principe de cette méthode consiste, dans un premier temps, en une élaboration de la matrice de décision "D" (Hawang & Yoon, 1981) :

$$D = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (III.4)$$

Chaque élément, "r_{ij}", de la matrice de décision "D" s'exprime par :

$$r_{ij} = i_i \times (s_j - k_j) / s_j \quad (III.5)$$

Où : "i_i" est "l'importance relative" de l'indicateur, "k" étant "la valeur de l'indicateur" et "s" est "la valeur standard".

L'exploitation de la matrice de décision "D" pour la hiérarchisation des indicateurs proposés du VI-O&G s'effectue en une succession d'étapes qui sont les suivantes :

- Normalisation des performances :

$$n_{ij} = r_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2} \quad (III.6)$$

Où "n_{ij}" est la valeur normalisée de "r_{ij}". C'est une étape très importante pour mesurer les indicateurs de différentes unités et en conséquence les scores de la matrice "D" sont transformés à des valeurs normalisés.

- Calcul du produit des performances normalisées par les coefficients d'importance relative aux attributs :

$$V = N_D \cdot W_{m \times n} = \begin{bmatrix} V_{11} & \dots & V_{1j} & \dots & V_{1n} \\ \vdots & & \ddots & & \vdots \\ V_{m1} & \dots & V_{mj} & \dots & V_{mn} \end{bmatrix} \quad (III.7)$$

Avec : "N_D" est la matrice de décision normalisée et W_{m×n} est la matrice des poids qu'est égale ici à "V = N_D".

- Détermination des alternatives idéales (positives et négatives) :

$$A^+ = \left\{ (\max_i V_{ij} | j \in J), (\min_i V_{ij} | j \in J') \ i = 1, 2, \dots, m \right\} = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\} \quad (III.8)$$

$$A^- = \left\{ (\min_i V_{ij} | j \in J), (\max_i V_{ij} | j \in J') \ i = 1, 2, \dots, m \right\} = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\} \quad (III.9)$$

Où "J" est associé aux indicateurs des « profit » et "J'" est associé aux indicateurs de « coût ». Ainsi, l'alternative idéale positive caractérisé par des performances extrêmes sur chaque indicateur et l'alternative idéale négative caractérisée par des performances extrêmes inverses sur chaque indicateur.

- Calcul de la distance euclidienne par rapport aux profits :

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} ; i = 1, 2, \dots, m \quad (III.10)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} ; i = 1, 2, \dots, m \quad (III.11)$$

- Calcul du coefficient de mesure du rapprochement au profit idéal :

$$C_i^+ = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-) ; 0 < C_i^+ < 1 ; i = 1, 2, \dots, m \quad (III.12)$$

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

Enfin, la dernière étape consiste en un rangement des indicateurs par ordre décroissant de " C_i^+ ".

III.3. Résultats d'application de la démarche préconisée

Afin d'évaluer la pertinence de de la démarche proposée, nous l'avons appliqué à un ensemble de sites d'O&G (onshore) du Groupe Sonatrach. Il s'agit de huit sites situés au Sud de l'Algérie qui sont : Hassi R'Mel (HRM), Haoud Berkaoui (HBK), Hassi Messaoud (HMD), Gassi Touil (GTL), Tin Fouye Tabankort (TFT), Ohanet (OHNT), In Amenas (INAS) et Stah (STH). Ces sites sont chapotés par l'activité d'exploration et de production du Groupe Sonatrach.

Le tableau III.1, qui fournisse une synthèse des données relatives aux sites retenus, montre que ces sites sont d'une grande importance pour le Groupe Sonatrach en raison (Belmazouzi & al, 2020) : des périmètres immenses de chaque site, du nombre de personnel et de leurs capacités de production.

Nous rappelons également que l'ensemble de ces sites sont considérés comme étant des EC de 1^{ère} catégorie et sont, donc, soumis à une AM.

Tableau III.1. Extrait des données des sites retenus.

SITES	DISTANCE A ALGER KM	CHAMPS	ANNEE D'EXPLOITATION	NOMBRE MOYEN DE PERSONNEL	CAPACITE DE PRODUCTION PAR JOUR
HRM	530	HRM (North, Centrale & Sud) & Oued Noumer	1958	2500	4600 T/oil 5850 T/gas
HBK	770	Haoud Berkaoui, Guellala, Benkahla, Guellala Nord-Est & Drâa-Tamra	1967	1100	3000T/oil 2100 T/gas
HMD	850	CINA, CIS, Borma, Mesdar & Satellites Units	1958	2600	5300T/oil 4300 T/gas
GTL	1100	Gassi Touil, Hassi Chergui, Toulal & Nezla	1972	1200	3200T/oil 2400 T/gas
TFT	1300	Tin Fouye, Hassi Mezoula Amasak	1976	1300	2900T/oil 2500 T/gas
OHNT	1450	Timedratine, Acheb, Krebb, Askarène & Guelta	1962	1200	10700 T/oil 35000 T/ gas
INAS	1550	Edjeleh, Tiguentourine, Zarzaitine, Reculee, Assekaifaf, El Adeb Larache & Gara	1957	1500	1600T/oil 16475 T/gas
STH	1700	Alrar , Stah & Mereksen	1975	1200	3600 T/ oil 2350 T/gas

L'application de la méthode TOPSIS sur les indicateurs de vieillissement des sites d'O&G retenus débute par leur quantification (tableau III.2).

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

Tableau III.2. Quantification des indicateurs de vieillissement des sites étudiés.

	SITES DU GROUPE SONATRACH								Imp. Relative "I _i "	Standard "s"
	HRM	HBK	HMD	GTL	TFT	OHNT	INAS	STH		
I ₁	60	51	51	46	42	56	61	43	8	30
I ₂	25								11	10
I ₃	18								10	10
I ₄	30								10	10
I ₅	50								5	10
I ₆	30	40	30	40				35	11	10
I ₇	90								17	10
I ₈	28	17	32	16	18	25	32	30	5	10
I ₉	45								11	10
I ₁₀	10								7	5
I ₁₁	13								5	7

Signalons que les valeurs de ce tableau sont des pourcentages de non-efficacité de chaque indicateur, issus des Bilans Annuels des Réalisations HSE (Annexe 4) et Maintenance de chaque site sauf que le premier qui présente directement l'âge de chaque site. Ainsi, les valeurs des importances relatives sont inspirées du terrain (appréciations fournies par les cadres des sites d'O&G retenus) tandis que les valeurs standards sont fixées en référence au management global de ces sites.

Signalons également que les appréciations identiques fournis par les cadres de Groupe Sonatrach ont été obtenu suite à l'usage de la méthode Delphi où ces cadres ont préféré de s'aligner avec leurs collègues.

A partir des données de tableau III.2 et en référence aux équations (III.4 à 11) nous obtenons les résultats suivants :

$$D = \begin{pmatrix} -8,000 & -5,600 & -5,600 & -4,267 & -3,200 & -6,933 & -8,267 & -3,467 \\ -16,500 & -16,500 & -16,500 & -16,500 & -16,500 & -16,500 & -16,500 & -16,500 \\ -8,000 & -8,000 & -8,000 & -8,000 & -8,000 & -8,000 & -8,000 & -8,000 \\ -20,000 & -20,000 & -20,000 & -20,000 & -20,000 & -20,000 & -20,000 & -20,000 \\ -20,000 & -20,000 & -20,000 & -20,000 & -20,000 & -20,000 & -20,000 & -20,000 \\ -22,000 & -33,000 & -22,000 & -33,000 & -33,000 & -33,000 & -33,000 & -27,500 \\ -136,000 & -136,000 & -136,000 & -136,000 & -136,000 & -136,000 & -136,000 & -136,000 \\ -9,000 & -3,500 & -11,000 & -3,000 & -4,000 & -7,500 & -11,000 & -10,000 \\ -38,500 & -38,500 & -38,500 & -38,500 & -38,500 & -38,500 & -38,500 & -38,500 \\ -7,000 & -7,000 & -7,000 & -7,000 & -7,000 & -7,000 & -7,000 & -7,000 \\ -4,286 & -4,286 & -4,286 & -4,286 & -4,286 & -4,286 & -4,286 & -4,286 \end{pmatrix}$$

$$N_D = \begin{pmatrix} -0,054 & -0,037 & -0,038 & -0,029 & -0,021 & -0,046 & -0,055 & -0,023 \\ -0,112 & -0,110 & -0,112 & -0,110 & -0,110 & -0,110 & -0,110 & -0,111 \\ -0,054 & -0,054 & -0,054 & -0,054 & -0,054 & -0,053 & -0,053 & -0,054 \\ -0,135 & -0,134 & -0,135 & -0,134 & -0,134 & -0,134 & -0,133 & -0,135 \\ -0,135 & -0,134 & -0,135 & -0,134 & -0,134 & -0,134 & -0,133 & -0,135 \\ -0,149 & -0,221 & -0,149 & -0,221 & -0,221 & -0,221 & -0,220 & -0,185 \\ -0,921 & -0,910 & -0,921 & -0,911 & -0,911 & -0,909 & -0,907 & -0,916 \\ -0,061 & -0,023 & -0,074 & -0,020 & -0,027 & -0,050 & -0,073 & -0,067 \\ -0,261 & -0,258 & -0,261 & -0,258 & -0,258 & -0,257 & -0,257 & -0,259 \\ -0,047 & -0,047 & -0,047 & -0,047 & -0,047 & -0,047 & -0,047 & -0,047 \\ -0,029 & -0,029 & -0,029 & -0,029 & -0,029 & -0,029 & -0,029 & -0,029 \end{pmatrix}$$

$$A^- = (-0,029 \quad -0,023 \quad -0,029 \quad -0,020 \quad -0,021 \quad -0,029 \quad -0,029 \quad -0,023)$$

$$A^+ = (-0,921 \quad -0,910 \quad -0,921 \quad -0,911 \quad -0,911 \quad -0,909 \quad -0,907 \quad -0,916)$$

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

$$d_i^- = \begin{pmatrix} 0,045 \\ 0,242 \\ 0,081 \\ 0,308 \\ 0,308 \\ 0,498 \\ 2,511 \\ 0,087 \\ 0,659 \\ 0,061 \\ 0,013 \end{pmatrix} \quad d_i^+ = \begin{pmatrix} 2,476 \\ 2,270 \\ 2,431 \\ 2,203 \\ 2,203 \\ 2,025 \\ 0,000 \\ 2,444 \\ 1,852 \\ 2,450 \\ 2,501 \end{pmatrix} \quad C_i^+ = \begin{pmatrix} 0,018 \\ 0,096 \\ 0,032 \\ 0,123 \\ 0,123 \\ 0,197 \\ 1,000 \\ 0,034 \\ 0,263 \\ 0,025 \\ 0,005 \end{pmatrix}$$

D'où enfin la hiérarchisation des onze indicateurs retenus (figure III.4) :

$$I_7 \rightarrow I_9 \rightarrow I_6 \rightarrow I_4 \& I_7 \rightarrow I_2 \rightarrow I_8 \rightarrow I_3 \rightarrow I_{10} \rightarrow I_1 \rightarrow I_{11}$$

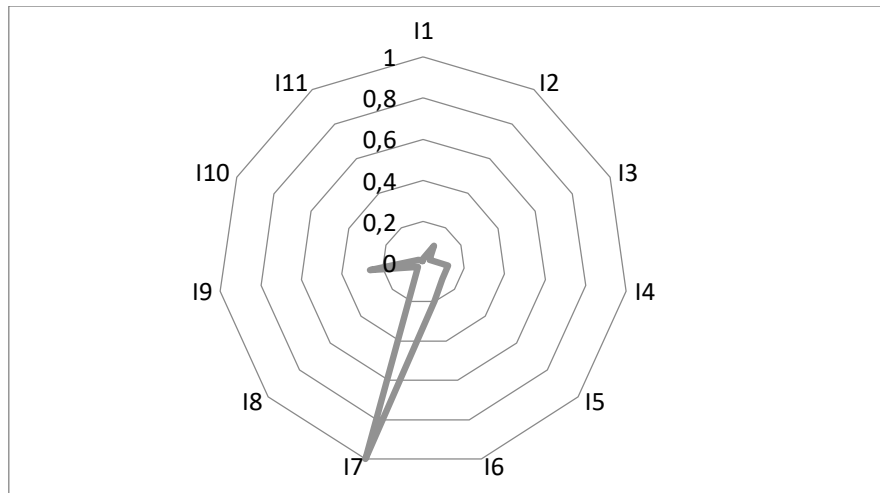


Figure III.4. Hiérarchisation des indicateurs du vieillissement des sites retenus.

III.4. Discussion des résultats

Les résultats obtenus sur l'application de la démarche proposée nous incitent à évoquer trois faits marquants :

- la confirmation du vieillissement des sites étudiés et, donc, la nécessité absolue pour engager des parades de leur mise en conformité en termes de modernisation ;
- la nécessité de cadrer ces actions de modernisation par un plan d'action stratégique gouverné par un HSE-MS ;
- la place qu'occupe la formation du personnel dans ce plan d'action.

A notre avis, ce plan d'action doit se focaliser essentiellement sur deux éléments : diagnostic des sites étudiés et lancement d'un programme de mise en conformité de ces sites conformément aux DE N°14-349 et N°15-09.

Dans le programme de la mise en conformité, il est impératif de se focaliser principalement sur : l'intégrité et l'ignifugeage des équipements, les études de type "Atmosphère explosive (ATEX), Safety Integrity Level (SIL), Evaluation des risques professionnels (EvRP), et EDD", l'intégrité des infrastructures de génie civile, la gestion des modifications ainsi que la mise à jour des procédures des opérations.

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

Evidemment, la réussite du plan d'action, permettant de faire face aux problèmes du VI-O&G, repose très largement sur la capacité du Groupe Sonatrach à développer ses ressources humaines et à les mobiliser autour de ce plan d'action qui intègre ses priorités stratégiques. De même, dans le cadre de ce plan d'action, il importe également de tenir compte dans le relancement du système HSE-MS de l'effet d'un diagnostic des sites d'O&G du Groupe et par voie de conséquence d'un plan d'action robuste.

Les résultats de la méthode proposée confirment également l'intérêt du premier principe de la prévention industrielle (Hassani & al, 2018) qu'est basée sur la réduction de risque à la source (I₄). A ce propos, nous rappelons que le référentiel de la gestion des modifications est récemment approuvé par le Groupe Sonatrach permettant de modifier les équipements nécessaires. De même, l'instruction N°224/2017 de ce Groupe qui consiste en un recensement des installations et des équipements soumis à la réglementation confirme l'importance du cinquième indicateur (I₅).

Pour les trois indicateurs (I₂, I₈ et I₃), qui indiquent successivement l'importance de la politique de maintenance adoptée, les réserves émis aux documents réglementaires et la ponctualité des interventions, leur hiérarchisation montre qu'il faut accorder un intérêt particulier à ces indicateurs notamment en termes de respects des qualités, des coûts et des délais des actions cadrées par ces indicateurs. A ce propos, les responsables du Groupe Sonatrach sont conscients des efforts qu'il faut déployer dans ce contexte et c'est ce qui justifie la stratégie de développement élaborée par ce Groupe pour l'horizon 2030.

Par ailleurs, une attention particulière doit être accordée quant à l'intérêt du respect des paramètres de fonctionnement des installations (I₁₀) (équipements statique, dynamiques...etc.); car, ils occupent une place de choix. L'indicateur (I₁), qu'est hiérarchisé en avant dernière position, confirme l'obligation de renforcer les efforts quant à la modernisation des sites étudiés tout en mettant en écart l'idée traduisant le vieillissement uniquement par la durée de vie. Enfin, les types des redondances est en dernière position grâce à l'utilité de REX notamment dès la phase de conception.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une démarche d'évaluation des indicateurs de vieillissement des sites d'O&G onshore algériens (Belmazouzi & al, 2020) basée sur l'usage de la méthode TOPSIS pour hiérarchiser ces indicateurs. Le but de cette hiérarchisation est de favoriser la sélection des parades prioritaires permettant la maîtrise du vieillissement de ces sites qui sont stratégiques pour l'économie du pays.

Pour rappel, la maîtrise du vieillissement de ces sites a pour objectif d'atteindre le niveau optimal de la SdF (fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité) des installations d'O&G algériennes.

Les résultats obtenus de cette priorisation des indicateurs constituent, à notre avis, une aide précieuse aux responsables du Groupe Sonatrach dans leur engagement récent dans une démarche de modernisation des installations industrielles pour prévenir les risques

CHAPITRE III : Proposition d'une approche d'évaluation du vieillissement industriel à base d'indicateurs : cas des sites du Groupe Sonatrach

liés au vieillissement industriel. Dans ce contexte, cette étude permet de fournir aux intéressés de ce Groupe l'information sur les indicateurs qui peuvent être qualifiés de hautement importants et qui probablement ne sont pas pris en considération dans la démarche de modernisation des sites d'O&G de ce Groupe. Mieux encore, cette priorisation des indicateurs de maîtrise du vieillissement industriel permet de mieux concrétiser le principe de concertation qui doit gouverner la démarche de modernisation des sites d'O&G Algériens ; car la méthode TOPSIS, qu'est à l'origine de la hiérarchisation des indicateurs retenus, est flexible puisque l'importance relative des indicateurs est le résultat d'une appréciation collective des acteurs concernés par les problèmes de vieillissement des sites étudiés.

Nous souhaitons que la suite du travail à accomplir est d'intégrer cette méthode dans le tableau de bord du Groupe Sonatrach en vue de mieux piloter la démarche de modernisation que le Groupe a lancé courant de cette année et qu'est mise en exergue par l'indicateur I₇ (priorisé en première position par la méthode préconisée).

A ce propos, les projets de la mise en conformité réglementaire en terme de modernisation des installations du Groupe Sonatrach viennent de commencer au niveau de tous les sites du Groupe. Le lancement de ces projets s'intègre dans le cadre de l'application des exigences du DE N°14-349 (présenté dans le chapitre I). De plus, cette opération nécessite l'actualisation des documents réglementaires (EDD et EIE) qui doit se faire, à l'issu de DE N°15-09, suite aux changements (modifications) qui touchent les installations industrielles onshore à des fins de modernisation.

Dans le chapitre suivant, nous détaillerons ce point en référence au référentiel du Groupe "gestion des modifications" où nous présenterons une étude critique de ce référentiel.

CHAPITRE IV : Proposition d'un modèle en spirale du managemet des changements

Introduction

La conduite des changements des équipements industriels au sein des grandes organisations industrielles est gouvernée par des guides et référentiels (CCPS, 2011 ; INERIS, 2009). C'est le cas du "référentiel MOC⁶⁷" du Groupe Sonatrach (Sonatrach, 2017).

Ces référentiels ont pour objectif de veiller quant au respect de la procédure des changements des équipements industriels afin de réduire tous les risques inhérents à des éventuels changements en vue d'une meilleure anticipation des problèmes causés par le vieillissement de ces équipements.

De même, ce type de référentiels est élaboré en tenant compte des clauses suivantes (CCPS, 2013 ; CCPS, 2011) :

- le portage politique où la direction de l'organisation doit incarner la nécessité d'effectuer des changements tout en définissant la stratégie retenue ;*
- le dialogue et la communication à tous les niveaux de l'organisation qui sont des facteurs de réussite de toute opération de changement. Cette seconde clause permet d'opter pour un compromis entre la communication qui donne le cap et la participation qui co-élabore le processus de changement ;*
- la participation de tous les acteurs impliqués dans le changement assure sa pérennité.*

Le changement des équipements industriels d'une organisation suit, généralement, trois grandes étapes (préparation, exécution et suivi) qui définissent la procédure du changement (Autissier & Moutot, 2016 ; Blaise & al, 2007). Cette dernière est évidemment supportée par des outils appropriés d'analyse des risques associés à l'opération du changement.

⁶⁷ Management Of Change.

Le référentiel MOC du Groupe Sonatrach, que nous présenterons dans la première section de ce chapitre, respecte l'ossature générale de ce type de procédures de changement. Cependant, il ne fournit pas des détails sur son amélioration continue (AC). Car, la gestion des changements doit être continue et pérenne au sens de la boucle d'AC.

Plus précisément, ce référentiel indique dans § 6.5.3 (page 8/67) que la direction du site est responsable de la mise en œuvre de ce référentiel et renvoi son AC à la direction du site sans donner des orientations en ce sens "la direction du site est chargée de son AC".

S'intégrant dans ce contexte, que ce chapitre a pour objectif de proposer "le modèle en spirale" qui permet d'assurer cette AC du MOC dans un site d'O&G du Groupe Sonatrach. La présentation de ce modèle est, logiquement, précédée par une présentation succincte de ce référentiel ainsi que les étapes de son application sur des exemples de projets de modifications réels.

IV.1. Présentation du Référentiel MOC du Groupe Sonatrach-Algérie

IV.1.1. Présentation générale du référentiel MOC

Comme tout référentiel du Groupe Sonatrach, les objectifs du MOC ont fait l'objet du premier niveau de sa présentation (Sonatrach, 2017) : l'optimisation des ressources nécessaires pour la réalisation des modifications et la réduction de tous les risques associés au changement des équipements. Pour appuyer l'intérêt du MOC, son élaboration doit faire référence à la réglementation algérienne en vigueur ; notamment les DE relatifs aux documents réglementaires (EDD et EIE) (JOR N°04, 2015 ; JOR N°58, 2008) ainsi que les normes et les standards internationaux les plus proches à son champ d'application tel que (API 750, 1990).

D'après ce référentiel, il est en relation indirecte avec tous les autres éléments du système HSE-MS du Groupe Sonatrach mais en relation directe avec le management des risques (figure IV.1).

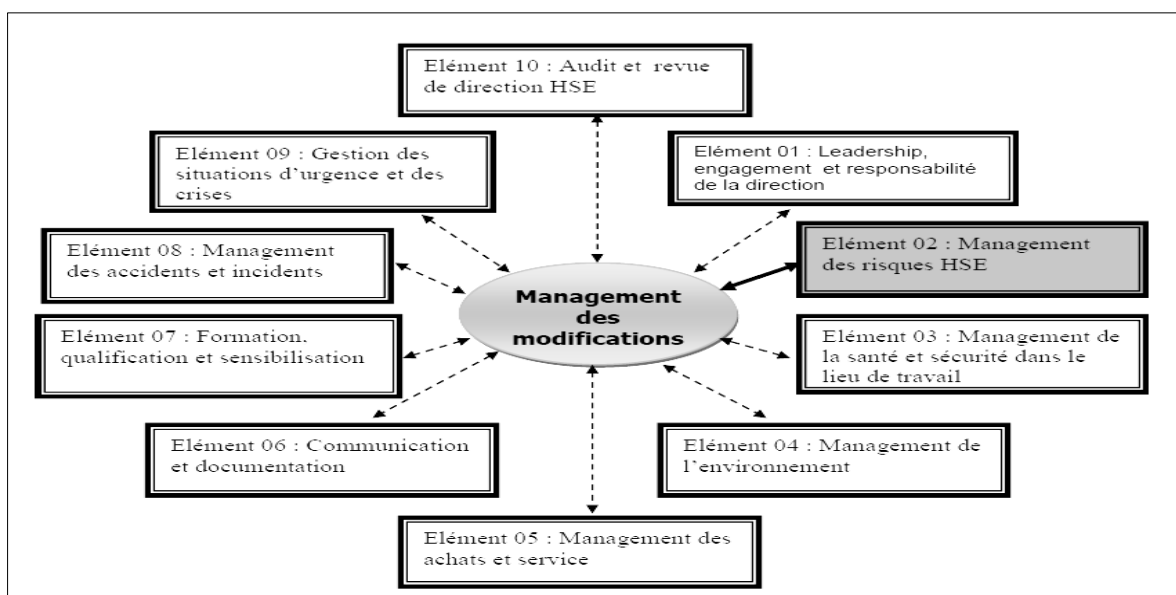


Figure IV.1. Interaction de MOC avec les éléments du HSE-MS (Sonatrach, 2017).

Un examen rapide de cette figure nous incite à insister sur l'importance des relations du MOC avec les éléments du HSE-MS pour sa dynamisation et, par voie de conséquence, pour son AC.

La procédure générale du MOC est composée de trois étapes séquentielles dont le passage d'une étape à une autre doit faire l'objet d'une approbation (figure IV.2).

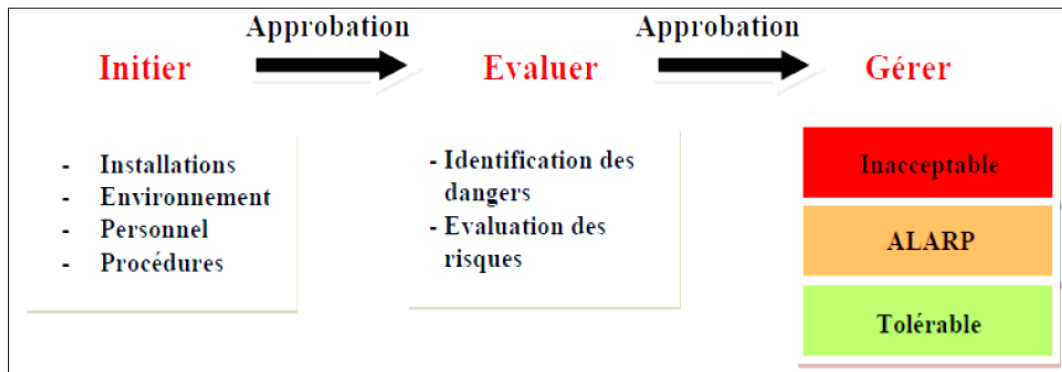


Figure IV.2. Etapes du processus de MOC (Sonatrach, 2017).

D'après cette figure, le processus de MOC est basé sur : (i) l'identification des modifications potentielles ayant un impact sur la santé, la sécurité et l'environnement, (ii) l'évaluation des risques générés par la modification et (iii) la réduction des risques associés à la modification à un niveau acceptable.

IV.1.2. Présentation détaillée du référentiel MOC

Il est important de rappeler que trois types de modification sont pris en compte dans le processus MOC : modifications permanente, temporaire et urgente.

Les modifications temporaires et urgentes suivent le même processus MOC mais de manière simplifiée vu le caractère occasionnel ou d'urgence de ces modifications. Cependant, le référentiel MOC exige que ces deux types de modifications soient rares et bien justifiés.

Dans la suite de cette section, nous détaillerons des modifications qui ont un lien direct avec le vieillissement industriel (la modernisation d'un équipement industriel).

A. Etape d'initiation de la modification

Une modification peut être proposée par toute personne compétente. Elle peut émaner de différentes situations, et sous différentes formes (décisions stratégiques, suggestions des employés, résultats des audits, résultats des investigations, apparition de nouvelles exigences réglementaires).

L'initiateur, qu'est le premier acteur du processus MOC, commence par renseigner le premier document dans le processus. Il s'agit d'une justification de sa proposition par le

biais d'un questionnaire-type⁶⁸. Cette phase est appelée dans le processus : "une Analyse de la Validité de la Modification (AVM)".

En effet, une fois spécifiée la modification par le questionnaire, une "Requête de Modification (RM)" est déclenchée. Il s'agit de déposer une RM par l'initiateur qui fera l'objet d'une résolution technique de la modification et d'une éventuelle approbation par l'autorisateur, l'autorité de zone et le chef de la structure technique.

L'autorisateur est, donc, le deuxième acteur du processus de modification. Il prend en charge la suite de l'opération et assurera l'évaluation de la modification. Le support de RM est composé de trois parties (Sonatrach, 2017) :

- les informations relatives à la modification proposée ;
- une résolution technique de la proposition avec une approbation de certaines structures de site (à savoir : l'autorisateur, l'autorité de zone et le chef de la structure technique) ;
- un questionnaire (support N°2A du référentiel MOC) à renseigner par l'autorisateur afin d'évaluer la pertinence de procéder à des études de risque plus approfondies (à savoir : WAHAT-IF, HAZOP "Hazard and Operability Study", ...).

B. Etape d'évaluation des risques inhérents à la modification suggérée

Lors de cette évaluation, une grille des risques est utilisée (figure IV.3) par un groupe de spécialistes afin d'évaluer la criticité des risques générés par la modification proposée.

	Gravité	Personne	Actifs	Environnement	Réputation	Probabilité				
						A	B	C	D	E
						Arrivé dans un autre site autre que Sonatrach	Arrivé dans un site de Sonatrach	Arrivé dans certains sites de Sonatrach	Arrivé plusieurs fois par an dans site de Sonatrach	Arrivé plusieurs fois par an dans les mêmes emplacements
5	Catastrophique	plusieurs morts ou permanente invalidité totale	dommages vastes	Effet massif	Impact international					
4	Sévère	simple fatalité ou permanente invalidité totale	Dommage majeur	Effet majeur	Impact national					
3	Critique	blessure grave ou effets sur la santé	Dommage local	Effet local	Impact considérable					
2	Marginale	blessure mineure ou effet sur la santé	Dommage mineur	Effet mineur	Impact mineur					
1	Négligeable	Blessé léger ou effets sur la santé	Dommage léger	Effet léger	Impact léger					

Figure IV.3. Grille d'évaluation des risques générés par une modification (Sonatrach, 2017).

A l'issue de cette évaluation des risques générés par une modification qu'un document de synthèse (sous forme d'une check-list "support N°1B du référentiel MOC") est rempli par l'autorisateur où il mentionne les risques évalués (en fonction de leurs probabilités et gravités respectives) ainsi que les mesures existantes pour faire face à ces risques.

⁶⁸ Les items du questionnaire portent, essentiellement, sur la nature de la modification (ajout d'un produit, modification d'une procédure, ...etc.). Ces items sont fournis par le support N°1A du référentiel MOC.

L'autorisateur peut formuler son avis selon les cas suivants :

- *Risque faible acceptable (vert) R1* :
 - si ses conséquences correspondent à des blessures légères et sa probabilité d'occurrence est faible compte tenu de l'historique du site ;
 - si le risque est faible et toutes les mesures de contrôle existantes sont jugées suffisantes pour protéger la santé, la sécurité et l'environnement ;
- *Risque moyen acceptable (jaune) R2* : lorsqu'il y a une forte probabilité que la modification donne lieu à un accident mineur (blessures légères) ;
- *Revoir la conception de la modification (rouge) R3* : ce cas correspond à un risque élevé pouvant causer des accidents graves (mortels). L'autorisateur propose l'une des deux décisions possibles : (i) une recommandation de renforcer les mesures existantes par des mesures supplémentaires qui permettent la réduction de la criticité du risque à un niveau jugé acceptable ou à défaut tolérable et (ii) si cette réduction s'avère impossible, la qualification de la modification en tant que "modification à haut risque".

Un groupe d'Experts de la Structure Technique (EST) (troisième type d'acteurs impliqués dans le processus de modification) procède aux vérifications des documents établis et/ou fournis par l'autorisateur.

Un exemple de l'expertise à réaliser par ce groupe EST est le cas où l'évaluation des risques générés par la modification est jugée insuffisante. Dans ce cas, une évaluation plus poussée des risques est réalisée par des méthodes appropriées (HAZOP, ...etc.).

Sur la base des résultats fournis par le groupe EST que l'autorisateur procédera à la poursuite de la modification ou de son annulation en référence aux résultats d'évaluation des risques.

Dans le cas de la poursuite de la modification, l'autorisateur soumet le dossier au "top management", qu'est le quatrième acteur du processus de modification, pour approbation.

C. Etape d'approbation par le comité d'évaluation technique

Le Comité d'Evaluation Technique (CET) est composé de plusieurs responsables (assistant du manager, chef de structure HSE, chef de structure technique, autorité de zone, chef de structure maintenance, chef de structure travaux neufs et chef de structure finance). Ce CET est présidé par un coordonnateur qu'est le cinquième acteur du processus de la modification.

Le CET a pour mission d'assurer la gestion de la modification en mettant en œuvre les ressources et les moyens nécessaires pour la gestion de la modification. Evidemment, ce CET examine en premier lieu le dossier de la modification au cours des réunions tenues à cet effet, et décide d'approuver ou de rejeter cette proposition de modification. Il peut formuler également des propositions d'amélioration de la modification si c'est nécessaire.

En effet et en cas de son rejet, le coordonnateur est chargé de notifier cette décision avec les raisons du rejet à tous les acteurs impliqués dans ce processus de modification (du top

management jusqu'à l'initiateur de la modification). Par contre et en cas d'acceptation de la modification, ce comité procède tout d'abord à la catégorisation de la modification selon trois niveaux : (i) niveau 1 "simple" qui ne nécessite pas de nouvelles ressources autre que celles qui existent sur le site, (ii) niveau 2 "mineur" qui nécessite des ressources indisponibles sur le site et (iii) niveau 3 "complexe" qui nécessite le déploiement de lourds moyens non disponibles sur le site.

Sur la base de cette catégorisation que ce comité établit le planning de sa mise en œuvre en fonction de sa spécificité et ses apports sur les équipements industriels, d'une part, et compte tenu des autres modifications en cours, d'autre part. Dans ce cas et conformément au guide de codification des modifications, un Code de Modification (CM) est établi par le coordonnateur et la modification est consignée dans un registre spécial. Une attestation d'approbation est adressée à l'ensemble des acteurs impliqués dans ce processus de modification. Enfin, la structure chargée de sa mise en œuvre est désignée officiellement ainsi qu'un ingénieur de suivi de la réalisation de la modification. Cet ingénieur, qu'est le sixième acteur du processus de modification, est l'intermédiaire entre la Structure de Réalisation de la Modification (SRM) et le coordonnateur de la modification (président du CET). Le planning de mise en œuvre de la modification est adressé à l'autorité de zone (septième acteur du processus de modification) pour information et suivi de la réalisation de la modification.

La réalisation de la modification est supportée par un dossier appelé également Plan de Modification (PM) qui comporte un bon nombre d'éléments en relation avec la modification. Il s'agit notamment : de son coût, son objectif, l'organigramme, le planning, les moyens, les délais, les dispositions pour des consultations internes/externes, les dispositions pour la communication avec les contractants, le système de suivi des actions, le programme des audits (technique/gestion), les dispositions pour la clôture, l'impact sur l'effectif, temps de travail et le système de travail, la modification des plans, procédures et les données du site, la modification des programmes de formation, la modification des méthodes de travail, la modification du système de gestion des urgences, la modification des manuels opératoires, la modification du plan de maintenance, la modification du plan d'inspection, la modification d'enregistrement, la modification du plan des équipements critiques pour la sécurité, la modification du système d'achats, la modification des prévisions budgétaires.

Après la réalisation de la modification selon les procédures en vigueur au niveau du site, l'ingénieur qu'est le représentant de la SRM adresse une Lettre de Clôture de la Modification (LCM) à l'autorité de zone et lui transfère de l'équipement modifié. Cette LCM est également adressée à l'ensemble des acteurs impliqués dans cette modification qui s'en chargent des approbations chacun dans la limite de ses responsabilités.

Evidemment, la réalisation de cette modification engendrera, nécessairement, la mise à jour des manuels et documents affectés par cette modification. C'est l'opération d'après modification qui doit être engagée par les structures et acteurs touchés par cette modernisation.

La figure suivante schématise l'articulation de l'ensemble des acteurs impliqués dans le référentiel MOC du Groupe Sonatrach :

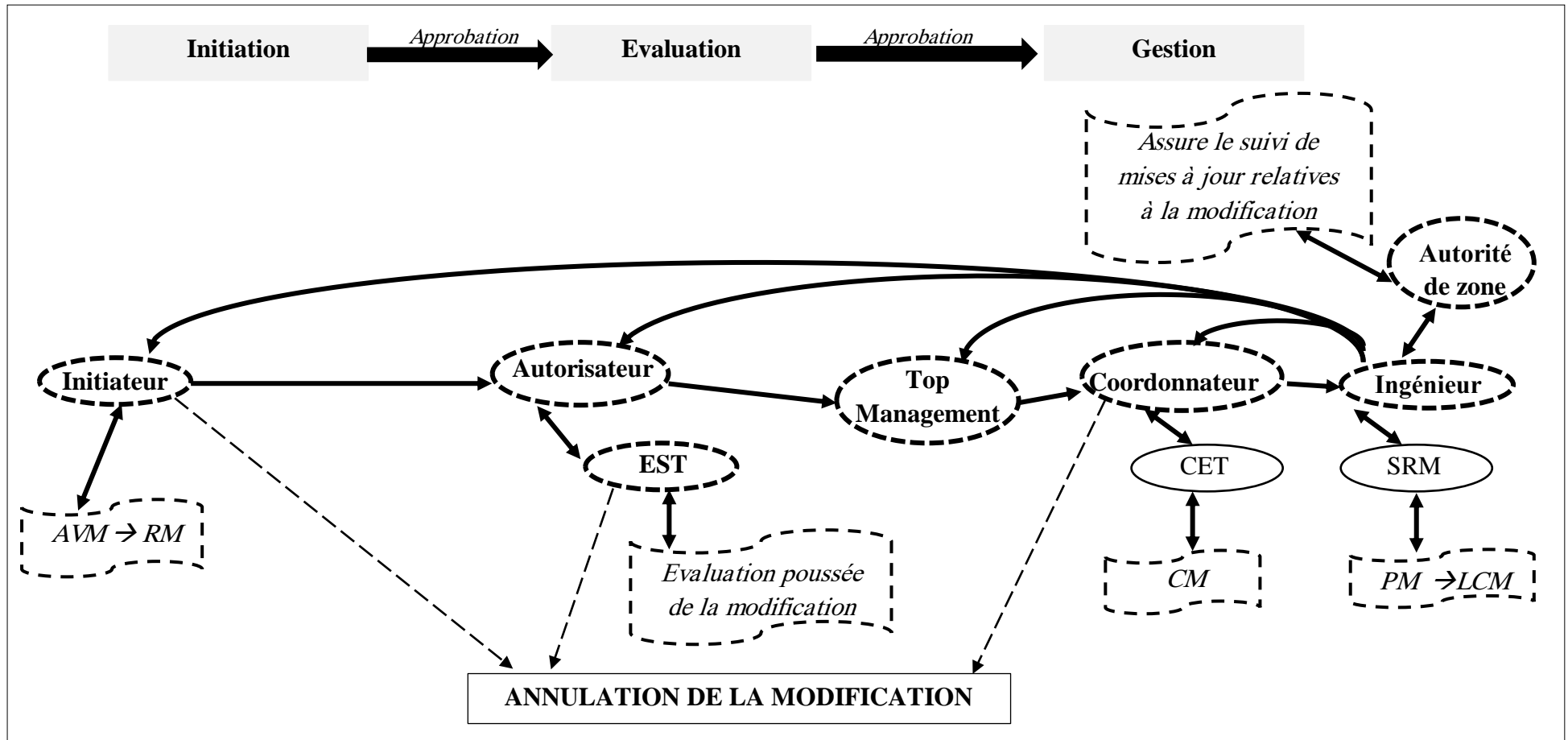


Figure IV.4. Acteurs impliqués dans un projet de modification gouverné par MOC.

IV.2. Application du Référentiel MOC à deux projets de modifications

IV.2.1. Présentation succincte du champ d'application du MOC

Signalons tout d'abord que le choix de ce site se justifie par le fait qu'il fait partie des premiers sites d'O&G du Groupe Sonatrach qui sont lancés dans l'utilisation du référentiel MOC.

La direction régionale du site de Stah a été créée en 1976 suite à la décentralisation de l'ancienne direction de site d'In Amenas. Elle fait partie de "la Division de Production" de "l'activité d'exploration et de production" du Groupe Sonatrach.

Le site de Stah se décompose de trois champs de production : Mereksen (MRK), Stah et Alrar (figure IV.5).

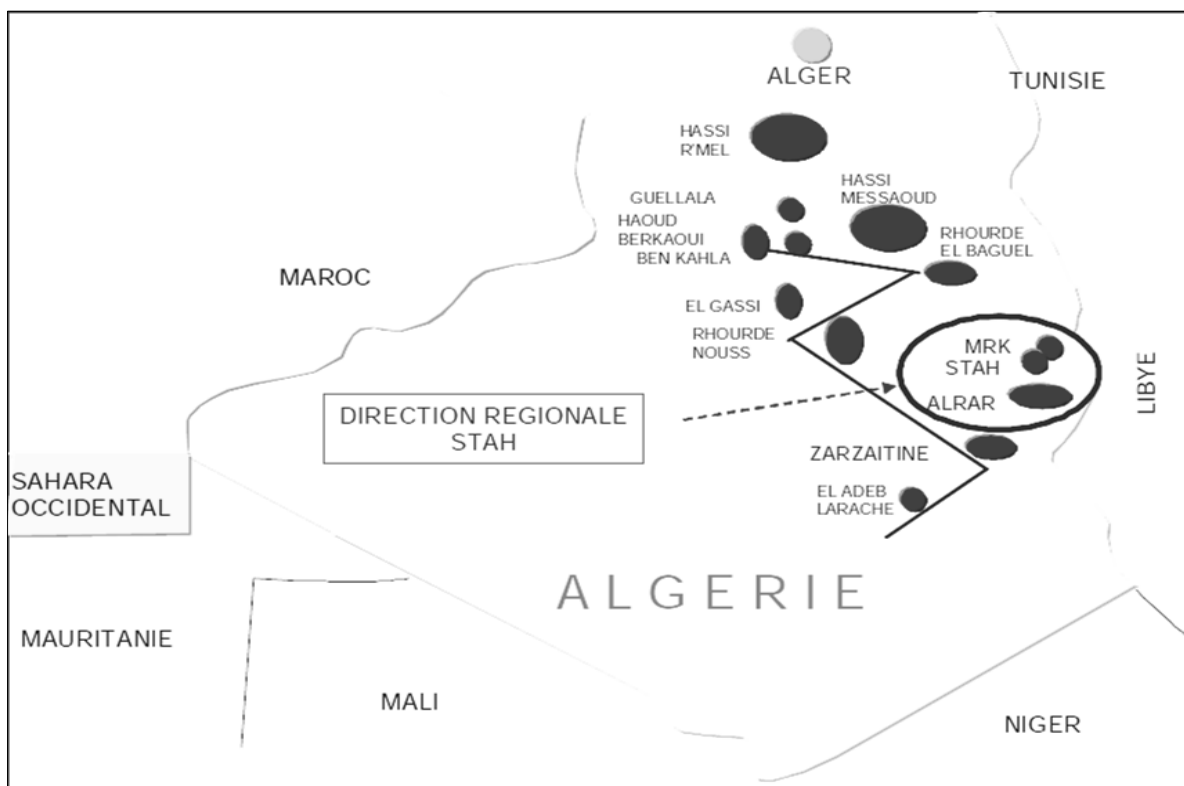


Figure IV.5. Plan d'implantation des champs de site de Stah (DNV, 2010).

Le champ d'Alrar, qui sera retenu dans la suite de ce chapitre, est situé dans le bassin d'Illizi à la frontière Algéro-lybienne, à 100 km environ au nord d'In Amenas et sur une superficie de 900 km². Il a été découvert en août 1961 et mis en production en août 1965. Le nombre de puits en service sur le champ est de 102 puits dont 53 puits producteur de gaz, 43 puits producteurs d'huile et 6 puits producteurs d'eau.

En plus des puits cités précédemment, ce champ contient : un complexe gazier dénommé "Central Processing Facilities" (CPF), des installations de séparation et de boosting "Separation and Boosting Facilities" (SBF), et un centre de traitement des huiles "Early Production Facilities" (EPF).

Pour le complexe CPF, ses installations (figure IV.6), se résument en :

- quatre trains⁶⁹ de traitement de gaz humide d'une capacité de $6.2 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jour}$ chacun ;
- une unité de traitement de gaz associés venant des unités de production des champs (Stah et Mereksen) ;
- trois bacs de stockage de condensats "On Spec" d'une capacité de 7276 m^3 chacun ;
- un bac de stockage de condensats "Off Spec" d'une capacité de 7994 m^3 ;
- trois sphères de stockage GPL d'une capacité de 3978 m^3 chacune et une sphère de stockage "Off Spec" d'une capacité de 949 m^3 ;
- deux cigares de propane d'une capacité de 75 m^3 chacun et deux autres cigares de butane d'une capacité de 75 m^3 chacun ;
- trois turboalternateurs de puissance unitaire de 18 mégawatts et des collecteurs.

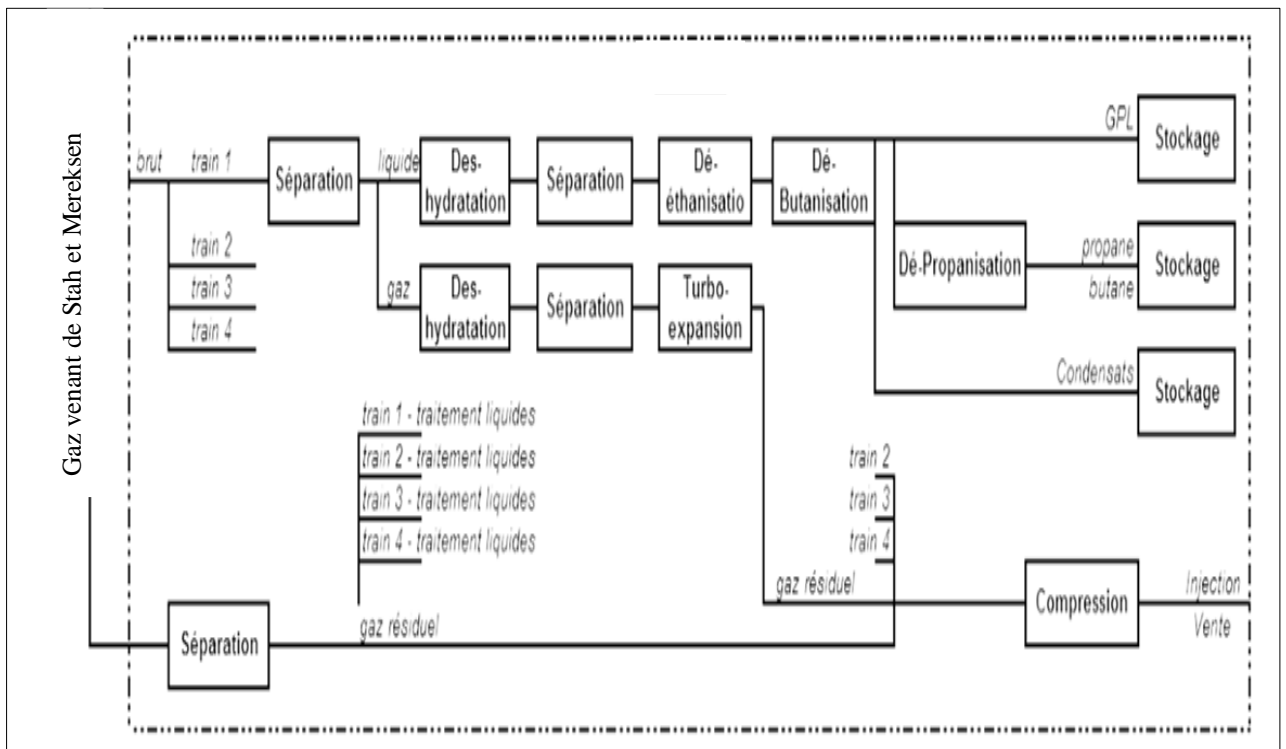


Figure IV.6. Traitement de gaz au niveau de CPF (DNV, 2010).

Pour le SBF, qu'est une extension de CPF, ses installations (figure IV.7) sont construites récemment par la société italienne "Bonatti" et mises en service en 2018. Ces installations correspondent à des zones :

- de séparation d'une capacité de traitement de $24,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jour}$ qui se compose de : quatre ballons séparateurs biphasique de type (slugcatcher), un ballon (inlet separator), un ballon de séparation de condensat, trois pompes d'expédition, une unité de démercurisation du gaz et de liquide et unité de récupération de gaz des ballons de inlet separator (flash gas) ;
- de compression composée de quatre trains de compression (trois en fonctionnement et un en stand-by) à deux étages de compression disposant de ballons de séparation

⁶⁹ Il s'agit des trois trains identiques construits par la société "Fluor" et sont mis en service en 1984 et un train construit par la société "Mitsubishi" qui est presque identique avec les autres trains. Le dernier train est mis en service en 1997.

biphasiques à l'aspiration et au refoulement ainsi que d'une batterie d'aéroréfrigérants pour abaisser la température du gaz à la sortie des compresseurs ;

- de traitement des eaux produites avec une capacité de 30 m³/h ;
- des utilités : un réseau anti-incendie (deux bacs d'eau avec un volume de 8210 m³ chacun), un système de génération d'air d'instrumentation (une capacité de traitement de 3000 m³/h) et d'azote avec la même capacité, un système torche à haute et à basse pression, un système de gaz combustible, un système d'eau de service, un système de drainage ouvert et fermé, un système électrique et un système HVAC⁷⁰.

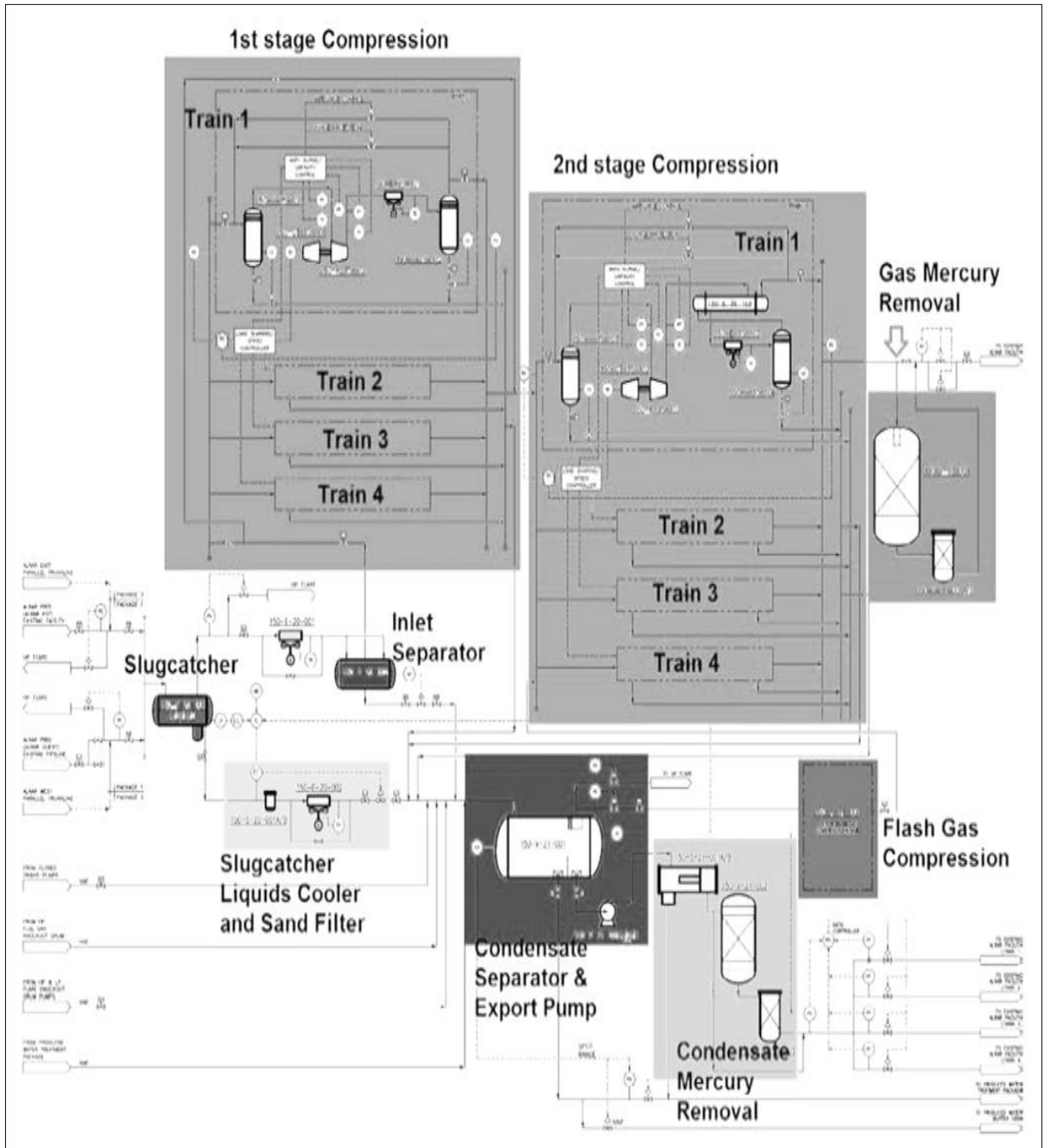


Figure IV.7. Schéma des zones de procédé de SBF (Halfaoui, 2014).

⁷⁰ Acronyme de Heating, Ventilation and Air-Conditioning.

Enfin, l'EPF, qu'est construit par la société "Schlumberger" et mises en service en 2011, est destiné pour le traitement d'anneau d'huile (figure IV.8). Il est composé d'un ensemble de blocs :

- de séparation : un séparateur de haute pression (1273 m³ de pétrole brut/jour, 635.7 m³ d'eau/ jour et 2 millions de Nm³ de gaz/jour), un séparateur de moyenne pression (2542 m³ de pétrole brut/jour, 635.7 m³ d'eau/jour et 2 millions de Nm³ de gaz/jour) et un séparateur de basse pression (2542 m³ de pétrole brut/jour, 635.7 m³ d'eau/ jour et 49 882N m³ de gaz/jour) ;
- de stockage : trois réservoirs de stockage verticaux à toits fixes d'une capacité de 795 m³ chacun ;
- des compresseurs : trois compresseurs de haute pression (deux en fonctionnement et un en stand-by), six compresseurs de moyenne pression, un compresseur de basse pression, et un séparateur/filtre en sortie de la ligne de compression ;
- de traitement de l'eau : dégazeur, huile écumée et pompes de l'hydrocyclone, hydrocyclone, stockeur d'eau vertical avec un toit conique fixe, pompes de maintien en pression, filtres, et pompes de transfert ;
- de réseau torchère : torche de haute pression et celle de basse pression ;
- de gaz combustible (fuel gaz).

Cet ensemble de blocs est supporté par : un système d'évacuation ouvert et fermé, d'air comprimé, un système de lutte contre l'incendie et groupe électrogène.

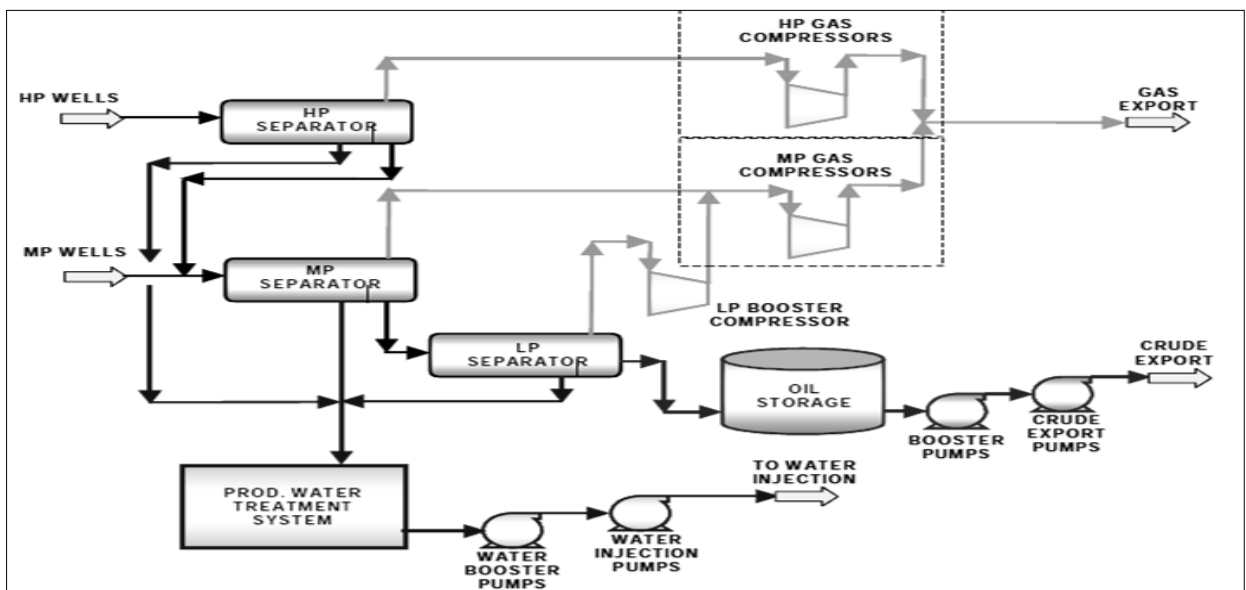


Figure IV.8. Principaux blocs d'EPF (VERITAS, 2010).

Il est important de signaler que ce champ d'O&G a fait l'objet de plusieurs modifications proposées dans le cadre de l'amélioration des objectifs de maîtrise du VI-O&G. Le tableau IV.1 présente des modifications initiées par la Division Exploitation⁷¹ de ce champ d'O&G.

⁷¹ Toutes les modifications sont initiées par cette Division qu'est l'autorité de zone des installations industrielles de CPF, SBF et EPF.

Tableau IV.1. Exemples de modifications suggérées au niveau du champ d'Alrar.

N°	INTITULE DE LA MODIFICATION	STATUT
1	Changement de l'emplacement de la vanne autorégulatrice de débit d'huile (FV-129) des trains de traitement de gaz construits par Fluor (CPF) de l'aval à l'amont du rebouilleur (E162) comme le train 4.	En attente de la réalisation
2	Adaptation de la ligne 24" de départ (GR1/GR2) pour l'installation d'un skid metering de gaz dans le cadre du projet ré-instrumentation au niveau de CPF	En attente d'approbation de CET
3	Déplacement du collecteur pour l'installation de deux vannes automatique (ON/OFF) en amont des vannes manuelles d'isolement (production 8" et expédition 10") des (T401 A-B-C) au niveau de CPF	
4	Acheminement des gaz associés des unités de production de STAH et MEREKSEN vers le SBF durant sa 2 ^{ième} phase d'exploitation	
5	Installation d'un clapet anti-retour au niveau de la ligne d'air instrument de CTH	En attente d'approbation de CET
6	Déviation de la ligne propane et butane Off Spec vers la ligne de production de GPL On Spec et récupération des purges du propane au niveau des ballons (V154) et (V476) vers ligne GPL On Spec avec banalisation entre ces ballons (CPF)	
7	Installation des nouvelles pompes horizontales (P131) au niveau des trains de CPF	En attente de la réalisation
8	Banalisation du gaz d'étanchéité du turbo-expander des trains de CPF	En attente d'approbation de CET
9	Alimentation du laboratoire de SBF en air instrument	En cours de réalisation
10	Renforcement des fonctions instrumentées de sécurité (150-LIT-20-0001A/B/C/D HH) des séparateurs "slugcatcher" (150-V-20-001A/B/C/D) au niveau de SBF	Annulée
11	Injection d'inhibiteur de corrosion gaz sur la ligne 16" et 30" au niveau du collecteur principal M1 (CPF)	En cours de réalisation

Dans la suite de ce chapitre, nous nous sommes intéressés aux dernières modifications que nous détaillerons dans ce qui suit.

IV.2.2. Projet de modification des fonctions instrumentées de sécurité

Le premier exemple de projet de modification temporaire est initié par la Division d'Exploitation. Il est en lien avec les quatre séparateurs "slugcatcher" (150-V-20-001A/B/C/D) qui se trouvent au niveau du SBF.

Evidemment, la mise en œuvre de cette modification est effectuée selon le référentiel MOC du Groupe Sonatrach. En conséquence, cette modification a suivi les étapes de ce référentiel.

A. Etape d'initiation

Le point de départ pour le déploiement de cette étape correspond à l'identification de l'opportunité de la modification ainsi que sa description. En effet, après la mise en service récente de SBF, des déclenchements fréquents de type ESD1 (arrêt de SBF sans dépressurisation) sont enregistrés pour cause des niveaux très élevés de liquide au niveau des ballons bi-phasiques de slugcatcher (150-V-20-001A/B/C/D). Ce type de déclenchement est à l'origine de la sollicitation des fonctions instrumentées de sécurité

CHAPITRE IV : Proposition d'un modèle en spirale du management des changements

(FIS) relatives aux (150-LIT⁷²-20-0001A/B/C/D HH⁷³) qui ont pour rôle la détection d'un niveau très élevé de liquide au niveau des slugcatchers.

Les figures IV.9 et IV.10 présentent, successivement, le schéma P&ID⁷⁴ des slugcatcher et le diagramme cause-effet des FIS.

Afin d'éviter ces déclenchements fréquents causant le "vieillessement" des installations (notamment celles tournantes), une inhibition des FIS concernées au niveau de la salle d'engineering sera jugé nécessaire tout en se focalisant sur les vannes manuelles et celles de purge en cas de détection des niveaux élevés de liquide au niveau des slugcatchers.

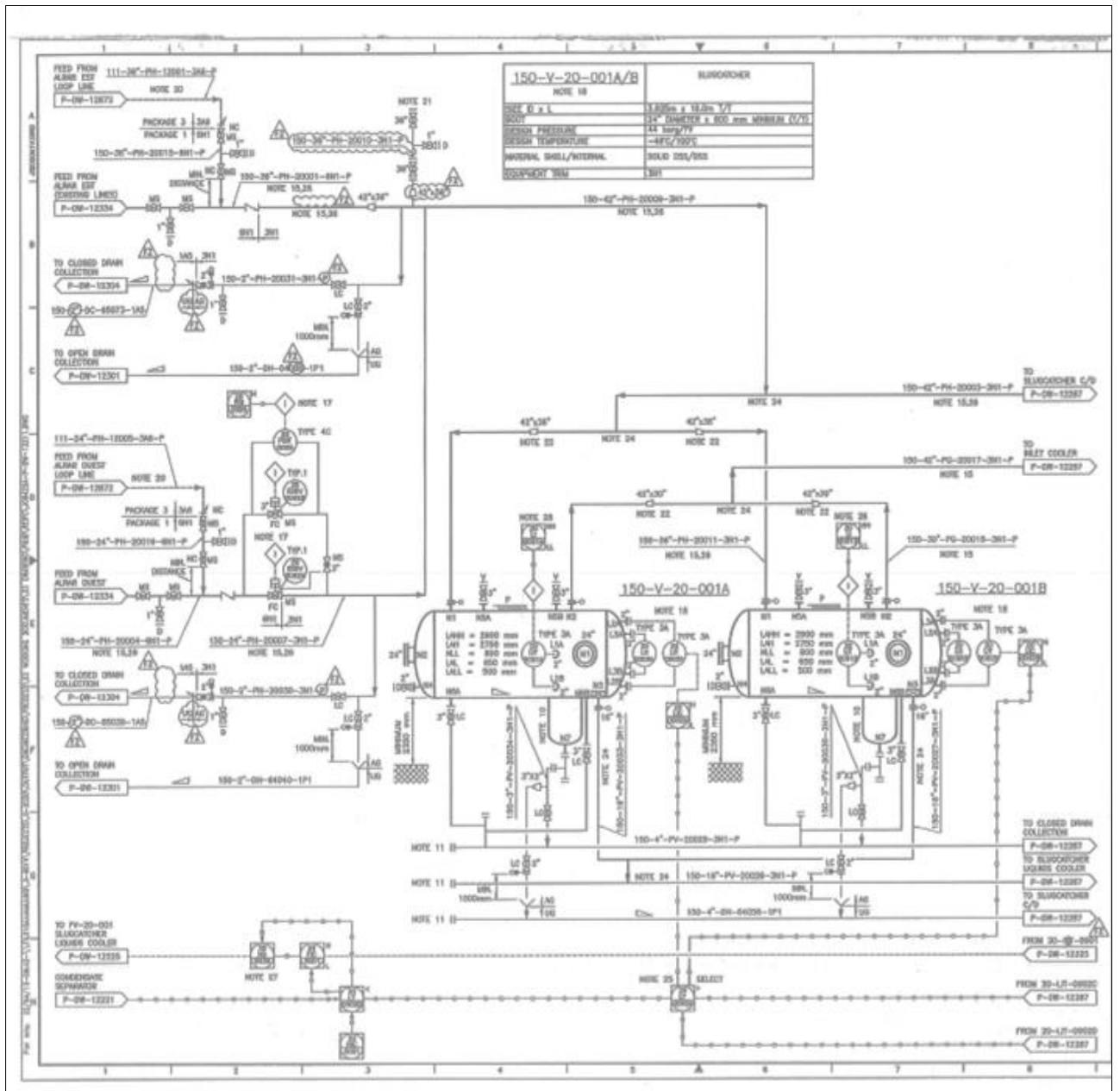


Figure IV.9. Schéma P&ID des slugcatchers (PETROFAC, 2015a).

⁷² Acronyme de Level Indicator Transmitter.

⁷³ Acronyme de High High. Il existe en revanche LL (Low Low).

⁷⁴ Acronyme de Piping and Instrumentation Diagram.

CHAPITRE IV : Proposition d'un modèle en spirale du management des changements

CAUSE					EFFECT							
LOCATION/DESCRIPTION	TAG NO.	VOTING	POB	PSID NO.	1	2	3	4	5	6	7	8
INTERTRIP FROM ESD LEVEL 0	11V3	-	-	-	1							
INTERTRIP FROM PSD LEVEL 2	13/2	-	-	-	2							
TOTAL FACILITY DEPRESSURIZATION PS FROM ESD MATRIX	190-HB-00-0003	-	-	-	3			X	X	X	X	X
SLUGCATCHER (190-V-20-001 ABC/D)					4							
SLUGCATCHER UNIT SD/PS FROM ESD MATRIX/FASCIA (NCCR)	190-HB-20-0031	-	-	-	5							
SD AND DEPRESSURISE SLUGCATCHER UNIT PS FROM ESD MATRIX	190-HB-20-0037	-	-	-	6			X	X	X	X	X
SD AND DEPRESSURISE ALRAR QUEST AREA	190-HB-20-0043	-	-	-	7			X	X	X	X	X
CONFIRMED FIRE IN ZONE-1 FROM F&G SYSTEM	190-XS-75-0103R	-	-	-	8	X						
SLUGCATCHER PRESSURE HIGH HIGH	190-PT-20-0001HH	-	-	J08423A-P-DW-12287	9	X						
SLUGCATCHER LEVEL HIGH HIGH	190-LJT-20-0001AHH	-	-	J08423A-P-DW-12211	10			X	X	X	X	X
SLUGCATCHER LEVEL LOW LOW	190-LJT-20-0001BHDLL	2004	-	J08423A-P-DW-12211	11			X	X	X	X	X
SLUGCATCHER LEVEL HIGH HIGH	190-LJT-20-0001BHH	-	-	J08423A-P-DW-12211	12			X	X	X	X	X
SLUGCATCHER LEVEL HIGH HIGH	190-LJT-20-0001CHH	-	-	J08423A-P-DW-12287	13			X	X	X	X	X
SLUGCATCHER LEVEL HIGH HIGH	190-LJT-20-0001CHH	-	-	J08423A-P-DW-12287	14			X	X	X	X	X

Figure IV.10. Diagramme causes-effets des FIS étudiées (PETROFAC, 2015b).

Cette description de la modification suggérée a fait l'objet d'une AVM en référence au référentiel MOC (tableau IV.2).

Tableau IV.2. AVM de projet de modification des FIS.

	OUI	NON
S'agit-il d'un changement/ajout d'un produit, matériaux, catalyse (pas à l'identique)		√
S'agit-il d'une modification dans les utilités du procédé (vapeur, eau de refroidissement, électricité, ...)		√
S'agit-il d'une modification dans une unité en service		√
S'agit-il d'une modification dans les procédures opératoires		√
S'agit-il d'une modification de la capacité d'une pièce, équipement ou unité en matière de débit, taille ou pression		√
S'agit-il d'une modification dans les dimensions d'un pipe ou dans son plan isométrique		√
S'agit-il d'une modification d'un matériau de construction		√
S'agit-il d'une modification du plan de zonage ATEX		√
S'agit-il d'un changement de type de vanne, matériaux, pression, ou dimension		√
S'agit-il d'un changement du lieu d'implantation d'un équipement ou un ajout temporaire d'un équipement		√
S'agit-il d'un changement dans le système de protection des installations		√
S'agit-il d'un changement d'un programme ou d'un système de contrôle du procédé	√	
S'agit-il d'une modification de conception du procédé initial		√
S'agit-il d'une modification dans les paramètres d'exploitation instaurés par le concepteur de l'installation		√
S'agit-il d'un changement de normes et de standards		√
S'agit-il d'une modification dans le système de production / distribution électrique		√
S'agit-il d'une modification des plans du site (P&ID,...)	√	
S'agit-il d'un changement des procédures		√
S'agit-il d'un changement du staff		√
S'agit-il d'un changement du plan de circulation à l'intérieur du site		√
S'agit-il d'une remise en service d'un équipement après son decommissioning		√

La requête de cette modification étant validée, la suite de l'opération consiste en :

- une résolution technique : cette modification fera l'objet des étapes du référentiel MOC (tableau IV.2) et sera approuvée par l'autorisateur (Division Exploitation) et le Chef de structure technique ;
- une réponse au questionnaire par l'autorisateur pour l'évaluation de la pertinence de procéder à des évaluations des risques approfondies (tableau IV.3) :

Tableau IV.3. *Evaluation de la nécessité d'évaluation poussée (premier projet).*

	OUI	NON
Est-ce que la modification comprend l'installation de nouveaux équipements ou de nouveaux instruments		√
Est-ce que la modification comprend une modification d'un équipement, instrument, ou le système d'arrêt d'urgence de l'installation		√
Est-ce que la modification comprend le retrait d'un équipement existant		√
Est-ce que la modification comprend l'introduction d'un nouveau procédé de nouvelle technologie		√
Est-ce que la modification comprend l'introduction d'un nouveau produit chimique		√
Est-ce que la modification augmente l'exposition du personnel aux produits dangereux		√
Est-ce que la modification comprend un changement du système de contrôle du procédé existant	√	
S'agit-il d'une modification qui affecte un équipement ou un système de contrôle stratégique		√
Est-ce que la modification fait apparaître un problème environnemental		√
Est-ce que la modification exige l'augmentation de la capacité du système torche		√
Est-ce que la modification exige-t-elle une déviation par rapport aux normes et standards		√

A partir de ce tableau qu'une analyse approfondie de risques sera par la suite accordée.

B. Etape d'évaluation des risques

Au cours de cette étape, un renseignement de check-list par l'autorisateur est réalisé (tableau IV.4). Il est suivi de la constitution d'un groupe "EST" pour vérification et approbation. Ce groupe "EST" est composé des cadres de différentes Divisions de site de Stah⁷⁵ dont la majorité a subis des formations sur la méthode HAZOP.

Une étude HAZOP a été exigée sur la base de la vérification des documents présentés. La réalisation de HAZOP (tableau IV.5) montre que le niveau de risque obtenu est inacceptable (R3) ; ce qui rend ce projet de modification à haut risque.

A partir de cette évaluation des risques engendrés par ce projet de modification, les membres du groupe "EST" confirment que l'utilisation des vannes manuelles ou celles de purge dès l'élévation de niveau de liquide au niveau des slugcatchers constitue un risque pouvant être catastrophique. Notamment, dès l'entrée de gaz en régime transitoire (phénomène des bouchons de gaz et de liquide). Ce résultat est confirmé par le REX des accidents industriels déjà survenus.

⁷⁵ Actuellement, un Service d'Engineering de la Division Technique est à prochainement créer pour que le groupe "EST" soit de ce service.

CHAPITRE IV : Proposition d'un modèle en spirale du management des changements

Tableau IV.4. Evaluation des risques par une check-list (premier projet).

DANGER	PERSONNEL			ENVIRONNEMENT			BIENS ET EQUIPEMENTS			REPUTATION			MESURES DE CONTROLE DE RISQUE
	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	
Opérations omises ou effectuées incorrectement	C	1	R1	C	3	R2	C	4	R2	C	3	R2	Orientations de la société EMERSON : Cette société est le vendeur de programme de contrôle-commande et de sécurité au niveau de l'SBF.
Système de sécurité by-passé ou en panne	B	1	R1	C	3	R2	E	4	R3	C	4	R3	
Dysfonctionnement d'un programme informatique	C	1	R1	C	3	R2	C	4	R2	C	3	R2	
Dysfonctionnement du système de contrôle	C	1	R1	C	3	R2	C	4	R2	C	3	R2	

P : Probabilité ; G : Gravité ; R : Niveau de risque.

Tableau IV.5. Extrait d'une étude HAZOP (premier projet de modification)^(*).

Déviation : Niveau élevé													
CAUSES	CONSEQUENCES	P	G	R	PREVENTION	P	G	R	PROTECTION	P	G	R	RECOMMANDATIONS
150-LIT-20-0001 A/B/C/D HH est désactivé	Liquide se dirige vers les ballons (Inlet separator) puis vers les compresseurs	E	4	R3	20-LAH-0002 B/C/D (Level Alarm High) pour intervention des opérateurs	E	3	R3	/				/

(*) Le niveau de risque (R) est calculé pour les biens et les équipements.

Par ailleurs, l'examen du dossier fourni au groupe "EST" met en évidence un défaut de conception des purges des slugcatchers qui contiennent seulement une vanne pour chacune au lieu d'avoir au moins deux vannes en série pour chaque purge afin d'éviter le phénomène de givrage.

Sur la base de cette évaluation poussée des risques engendrés par ce projet de modifications, il a été décidé d'annuler ce projet en accord avec l'autorisateur et le groupe "EST".

IV.2.3. Projet de modification des deux lignes de collecteur principal

Le second projet de modification permanente était au niveau de CPF. Plus précisément, les deux lignes venant du collecteur principal (M1) vers ses trains de traitement de gaz (dont une ligne 30" est vers les trois trains construits par "Fluor" et l'autre 16" vers le train N°4 construit par "Mitsubishi"). A ce propos, une modification a également été proposée par le Service du Laboratoire de la Division d'Exploitation.

En référence au référentiel MOC, ce second projet de modification a suivi les trois principales étapes de ce référentiel.

A. Etape d'initiation

La description de cette modification ainsi que ses opportunités ont fait l'objet d'une description détaillée par l'initiateur de ce projet : la corrosion des lignes 30" et 16" de gaz expédié du SBF vers CPF par le biais le collecteur (M1) est en augmentation remarquable ; notamment, après la mise en service récente du SBF avec un taux de fer élevé qui atteint 150 ppm -partie par millions- (figure IV.11) :

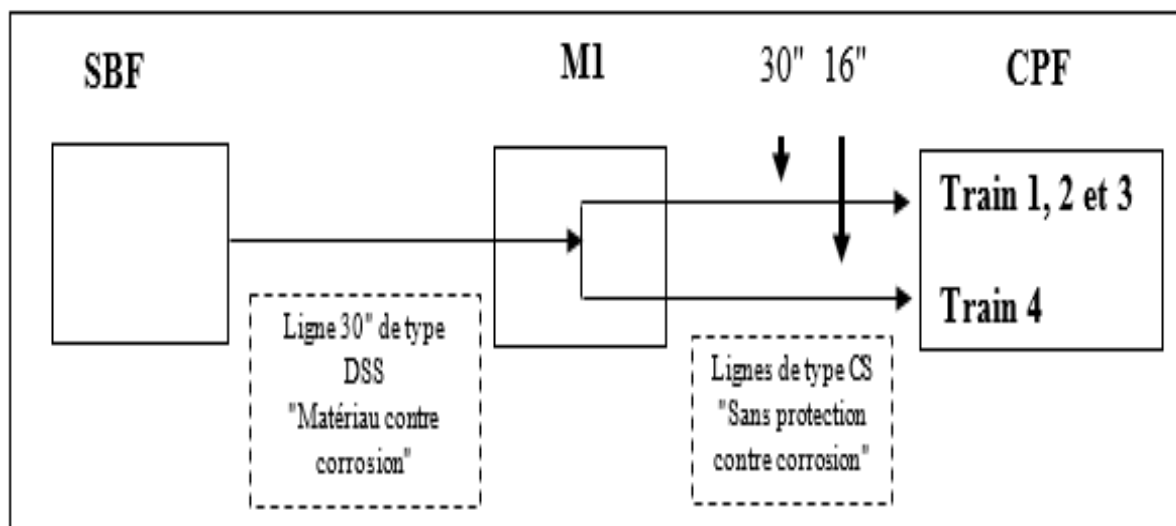


Figure IV.11. Schéma d'acheminement entre M1 et CPF.

Ce phénomène va favoriser le "vieillissement" de ces lignes qui sera matérialisé par leur endommagement et par conséquent un éventuel arrêt d'expédition du gaz vers le CPF.

CHAPITRE IV : Proposition d'un modèle en spirale du management des changements

A cet effet, l'injection d'un inhibiteur de corrosion sera suggérée au niveau de ces lignes et ce, par l'installation d'un skid équipé par (figure IV.12) : un réservoir de produit chimique, deux pompes doseuses d'injection et une douche de sécurité :

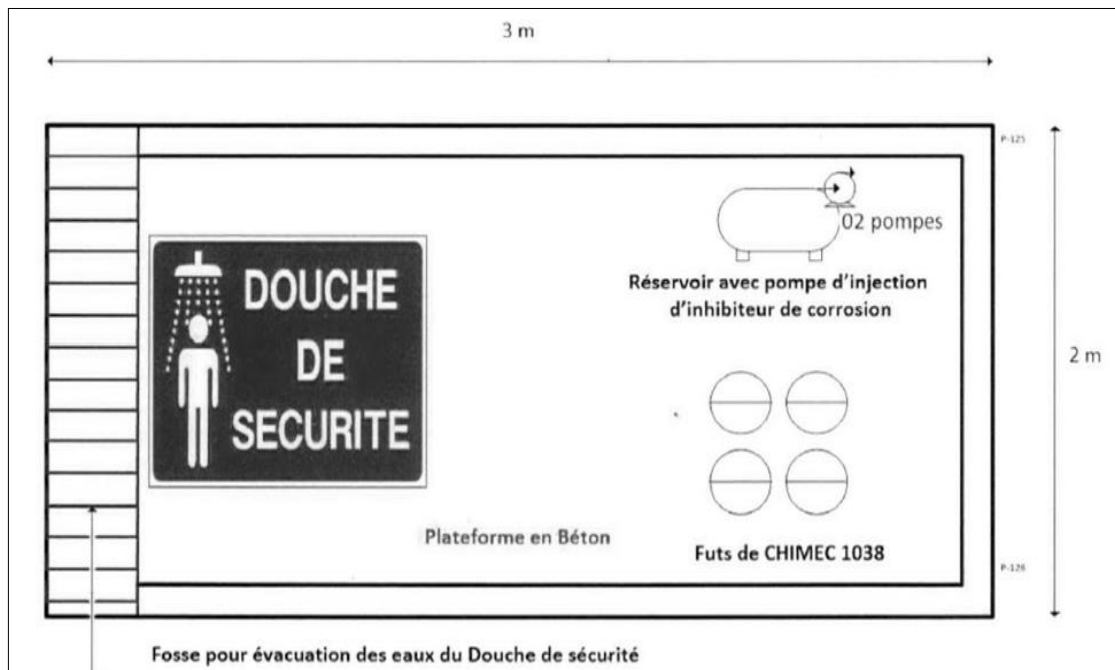


Figure IV.12. Schéma de skid proposé.

L'AVM de ce projet est résumée par le tableau suivant.

Tableau IV.6. AVM de projet de modification des lignes de collecteur principal.

	OUI	NON
S'agit-il d'un changement/ajout d'un produit, matériaux, catalyse (pas à l'identique)	√	
S'agit-il d'une modification dans les utilités du procédé (vapeur, eau de refroidissement, électricité, ...)		√
S'agit-il d'une modification dans une unité en service		√
S'agit-il d'une modification dans les procédures opératoires	√	
S'agit-il d'une modification de la capacité d'une pièce, équipement ou unité en matière de débit, taille ou pression		√
S'agit-il d'une modification dans les dimensions d'un pipe ou dans son plan isométrique		√
S'agit-il d'une modification d'un matériau de construction		√
S'agit-il d'une modification du plan de zonage ATEX		√
S'agit-il d'un changement de type de vanne, matériaux, pression, ou dimension		√
S'agit-il d'un changement du lieu d'implantation d'un équipement ou un ajout temporaire d'un équipement		√
S'agit-il d'un changement dans le système de protection des installations		√
S'agit-il d'un changement d'un programme ou d'un système de contrôle du procédé		√
S'agit-il d'une modification de conception du procédé initial	√	
S'agit-il d'une modification dans les paramètres d'exploitation instaurés par le concepteur de l'installation		√
S'agit-il d'un changement de normes et de standards		√
S'agit-il d'une modification dans le système de production / distribution électrique		√
S'agit-il d'une modification des plans du site (P&ID,...)	√	
S'agit-il d'un changement des procédures	√	
S'agit-il d'un changement du staff		√
S'agit-il d'un changement du plan de circulation à l'intérieur du site		√
S'agit-il d'une remise en service d'un équipement après son decommissioning		√

CHAPITRE IV : Proposition d'un modèle en spirale du management des changements

A l'issue de cette AVM qu'une RM est ensuite déclenchée. Pour rappel, les renseignements de RM correspondent, en plus des informations relatives à la modification, à la résolution technique approuvée par l'autorisateur (Division Exploitation) et aux réponses au questionnaire par l'autorisateur pour évaluation de la pertinence de procéder à des évaluations des risques approfondies (tableau IV.7).

Tableau IV.7. *Evaluation de la nécessité d'évaluation poussée (second projet).*

	OUI	NON
Est-ce que la modification comprend l'installation de nouveaux équipements ou de nouveaux instruments	√	
Est-ce que la modification comprend une modification d'un équipement, instrument, ou le système d'arrêt d'urgence de l'installation		√
Est-ce que la modification comprend le retrait d'un équipement existant	√	
Est-ce que la modification comprend l'introduction d'un nouveau procédé de nouvelle technologie		√
Est-ce que la modification comprend l'introduction d'un nouveau produit chimique	√	
Est-ce que la modification augmente l'exposition du personnel aux produits dangereux	√	
Est-ce que la modification comprend un changement du système de contrôle du procédé existant		√
S'agit-il d'une modification qui affecte un équipement ou un système de contrôle stratégique		√
Est-ce que la modification fait apparaître un problème environnemental		√
Est-ce que la modification exige l'augmentation de la capacité du système torche		√
Est-ce que la modification exige-t-elle une déviation par rapport aux normes et standards		√

Cette RM a conduit, logiquement, à une évaluation des éventuels risques engendrés par ce projet de modification.

B. Etape d'évaluation des risques

Le long de cette étape, il s'agit tout d'abord du renseignement de check-list par l'autorisateur (tableau IV.8) et la constitution d'un groupe "EST" pour vérification et approbation.

Le groupe "EST" est composé, conformément aux instructions du référentiel MOC, des cadres de différentes divisions de site de Stah dont la majorité est familiarisée avec la méthode HAZOP.

Un extrait de l'étude HAZOP⁷⁶ est présenté dans le tableau IV.9.

⁷⁶ Dans cette étude, nous présentons seulement les déviations ayant pour conséquences des éventuels scénarios.

CHAPITRE IV : Proposition d'un modèle en spirale du management des changements

Tableau IV.8. Evaluation des risques par une check-list (second projet).

DANGER	PERSONNEL			ENVIRONNEMENT			BIENS ET EQUIPEMENTS			REPUTATION			MESURES DE CONTROLE DE RISQUE
	P	G	R	P	G	R	P	G	R	P	G	R	
Inflammabilité	A	3	R2	B	3	R2	B	3	R2	A	2	R1	Réseau anti-incendie, Procédure de travail
Toxicité	C	3	R2	B	2	R2	A	2	R1	C	3	R2	Equipements de protection individuelle Evacuation des eaux contaminées
Contamination	B	2	R2	B	2	R2	B	2	R2	B	2	R2	Equipements de protection individuelle Inspection des installations
Grue	B	2	R2	B	2	R2	C	2	R2	B	2	R2	Permis de travail
Construction	B	2	R2	B	2	R2	C	2	R2	B	2	R2	Permis de travail
Opération effectuées dans le désordre	C	3	R2	B	2	R2	B	2	R2	C	2	R2	Procédure de travail
Opérations omises ou effectuées incorrectement	C	3	R2	B	2	R2	B	2	R2	C	2	R2	Procédure de travail
Dysfonctionnement d'une pièce d'un équipement	C	3	R2	B	2	R2	C	3	R2	B	2	R2	Vanne d'isolement, Inspection périodiques des pompes
Débit haut/ débit bas/ flux inversé	B	2	R2	B	2	R2	C	3	R2	B	2	R2	Clapet anti-retour, Vanne d'isolement Vanne de purge, Tournées des opérateurs
Haute/ basse pression	B	2	R2	B	2	R2	C	3	R2	B	2	R2	Clapet anti-retour, Tournées journalières des opérateurs
Défaillance dans la structure	B	2	R2	B	2	R2	C	2	R2	C	2	R2	Inspections périodiques
Fuite	B	2	R2	B	2	R2	C	2	R2	C	2	R2	Inspections périodiques
Accident professionnel	C	3	R2	B	2	R2	A	2	R1	C	3	R2	Equipements de protection individuelle Procédure de travail
Fuite de produits nocifs pour l'environnement	B	2	R2	B	2	R2	C	2	R2	C	2	R2	Inspections périodiques, Tournées des opérateurs
Accidents dû aux opérations répétitives	B	2	R2	B	2	R2	B	2	R2	B	2	R2	Equipements de protection individuelle Procédure de travail
Grue	B	2	R2	B	2	R2	C	2	R2	B	2	R2	Permis de travail, Procédure de travail
Chariot élévateur	B	2	R2	B	2	R2	C	2	R2	B	2	R2	Permis de travail, Procédure de travail
Déconnexion d'un équipement	B	2	R2	B	2	R2	C	2	R2	C	2	R2	Inspections périodiques, Tournées des opérateurs
Emission d'une substance dangereuse	B	2	R2	B	2	R2	C	2	R2	C	2	R2	Inspections périodiques, Tournées des opérateurs
Risque de brûlure	A	3	R2	B	3	R2	B	3	R2	A	2	R2	Equipements de protection individuelle Réseau anti-incendie
Ignition des liquides inflammable	A	3	R2	B	3	R2	B	3	R2	A	2	R2	Equipements de protection individuelle Réseau anti-incendie
Eclatement des tiges sous pression	B	2	R2	B	2	R2	C	3	R2	B	2	R2	Vanne de purge, Tournées périodiques

Tableau IV.9. Extrait de l'étude HAZOP (second projet de modification).

Déviations : Trop de pression			
CAUSES	CONSEQUENCES	MESURES EXISTANTES	RECOMMANDATIONS
- Vanne d'isolement est bloquée fermée - Clapet anti-retour bloqué fermé	- Défaillance de raccord - Déversement l'inhibiteur de corrosion - Pipe non protégé	- Tournées périodiques	- Respect des dispositions de fiche de données de sécurité (FDS) d'inhibiteur de corrosion sur site
Déviations : Pas assez de pression			
CAUSES	CONSEQUENCES	MESURES EXISTANTES	RECOMMANDATIONS
Fuite au niveau de raccord ou capillaire	- Déversement de l'inhibiteur de corrosion - Pipe non protégé - Incendie - Pollution	- Tournées périodiques - Inspections périodiques - Réseau anti-incendie	- Respect des dispositions de fiche de données de sécurité (FDS) d'inhibiteur de corrosion sur site - Douche de sécurité - Fosse pour l'évacuation
Déviations : Pas assez de niveau			
CAUSES	CONSEQUENCES	MESURES EXISTANTES	RECOMMANDATIONS
Fuite au niveau de bac	- Pipes non protégés - Endommagement des pompes	- Inspections périodiques - Tournées périodiques	- FIS (Level Swich Low ; Level Swich Low Low)
Déviations : Influences externes			
CAUSES	CONSEQUENCES	MESURES EXISTANTES	RECOMMANDATIONS
Travaux adjacents	- Endommagement des équipements (clapet, capillaire,)	- Permis de travail	

Les résultats de l'analyse HAZOP confirment que les risques engendrés par ce second projet de modification sont maîtrisables. En conséquence, ce projet de modification a fait l'objet d'une approbation par le Top management (Directeur de site de Stah).

C. Etape de gestion de la modification

Cette dernière étape est marquée par la constitution de CET qui s'est penché sur :

- l'exposition devant le CET⁷⁷ du projet de la modification par l'initiateur ;
- la vérification du dossier du présent projet de modification et acceptation ;
- la catégorisation de modification : niveau 2 (mineur) ;
- la codification de la modification CM : Modif-EQ-008 et consignée dans le registre de modification par le coordonnateur (un membre EST relevant de la division HSE est chargé de cet opération au niveau de site de Stah) ;
- l'approbation de la modification (figure IV.13).

⁷⁷ Le coordonnateur est le directeur de site et ce, en attente de la création de Service d'Engineering.

Support N° 1C Approbation de la modification

Informations (mettez √ dans la case appropriée)

N° DMI	
Initiateur	Service Laboratoire
Date d'initiation	
Coût	

Type de la modification		Description : Etapes pour la réalisation de la DMI: ➤ Elaboration d'un skid bétonné (plateforme, réservoir, pompe, support de pompe, douche de sécurité.....) ➤ Raccordement d'un tube 1/2" des pompes vers les points d'injections .
Permanent	√	
Temporaire		
Urgente		
Nature de la modification		
Installation	√	
Procédé		
Equipement	√	
Produit		
Staff		
Motif de la modification		
Amélioration opérationnelle	√	
Amélioration de la sécurité		
Amélioration des aspects environnementaux		
Maintenance		
Les études HAZID, HAZOP, WHAT IF sont exigés	√	

Exigences de la modification	Avant réalisation	Pendant réalisation	Après réalisation
Manuel opératoire	√		√
Procédures de maintenance			
PID, PFD, autres plans	√		√
Plan d'urgence			
Formation du personnel			
Formation des sous-traitants			
Plan de prévention			

Approbation
Responsables
Autorisateur
Chargé du dossier
Chef de structure Maintenance
Chef de structure Infrastructure
Chef de structure Technique
Chef de structure Finances
Chef de structure HSE
Directeur régional

Cette partie du tableau est censurée ; car, elle contient des visas et noms des responsables chargés de l'approbation du projet de cette modification chacun à son niveau

Figure IV.13. Approbation de la modification par CET.

Il est à noter qu'aucune interface avec ce projet de modification n'a été édictée et une demande d'établir le planning des travaux est établie avec la désignation des responsables chargés de la concrétisation de cette modification :

- SRM : Division des Infrastructures est chargée de la réalisation de skid bétonné ;
Division des Techniques est chargée de l'installation des équipements.
- Deux ingénieurs au niveau de site ont été désignés pour le suivi de la réalisation de cette modification.
- PM en termes de matériels nécessaires à cette modification : deux pompes doseuses avec support, réservoir de produit chimique, deux clapets anti-retour de ½", deux vannes de purge de 1" ½ et 1", un capillaire ½ d'une longueur de 350 ml avec son support et, enfin, deux raccords de réduction.

Evidemment, d'autres matériels non disponibles sur site nécessitent d'être acheté. Il s'agit notamment d'une douche de sécurité.

Enfin, le planning de la réalisation de ce projet de modification est composé de quatre phases :

- phase 1 = élaboration de skid bétonné ;
 - phase 2 = emplacement des équipements (réservoir, supports, pompes, douche de sécurité) ;
 - phase 3 = raccordement des tubes des pompes vers les points d'injection ;
 - phase 4 = raccordement de douche de sécurité avec une source d'eau.
- LCM : n'est pas encore envisagée ; car, ce projet de modification est actuellement dans sa première phase "élaboration de skid bétonné".

Notons, enfin, que l'actualisation du manuel opératoire ainsi que le P&ID (figure IV.13) sont prévus après la clôture de ce projet de modification « sa concrétisation sur le terrain ».

IV.2.4. Commentaires et discussions des deux projets de modification

Les deux exemples de modifications présentés ci-dessus nous incitent à évoquer, dans premier temps, deux remarques d'ordres techniques :

- Dans le premier projet de modification étudié qui a fait l'objet d'annulation par le groupe "EST", nous rappelons que les nouvelles installations d'O&G (SBF dans notre cas) sont équipées des systèmes ICSS (Integrated Control & Safety System) qui englobent le DCS et le SIS (Safety Instrumented System). Dans ce cas, la modification qui touche le SIS touchera nécessairement le DCS ;
- Dans le référentiel MOC, la LCM stipule que l'ingénieur chargé du suivi de la réalisation de la modification doit informer les instances internes du site à tenir compte des conséquences de la modification sur d'autres équipements de l'installation. Cependant, ce qui n'a pas été évoqué dans le référentiel MOC est l'éventuelle demande d'Autorisation d'exploitation pour cause de cette modification. Nous jugeons que c'est une lacune de taille dans ce référentiel.

Pour illustrer nos propos, nous rappelons les exigences réglementaires algériennes ; notamment les articles 5 et 26 du DE relatifs, successivement, à l'EDD (N°15-09) et à l'EIE (N°08-312) du secteur d'O&G. Il s'agit donc de la demande d'une nouvelle EDD/EIE et par conséquence une nouvelle Autorisation d'exploitation. Cette clause

règlementaire est la même au niveau international où certaines modifications peuvent conduire à de nouvelles Autorisations d'exploitation (IFIJ, 2020).

Ceci nous conduit à évoquer la signification d'une modification industrielle afin de tenir compte des exigences réglementaires qui s'imposent en cas de la réalisation des modifications. En effet, d'après le JOR N°4 (2015), la modification est définie comme étant "une opération induisant des changements visant la conversion de l'activité, le changement dans le procédé et/ou les produits, la transformation des équipements et/ou l'extension des activités et/ou des ouvrage". Il est clair que cette définition converge avec celle fournie par le référentiel MOC qui définit la modification comme étant un changement par rapport à une conception originale.

Par ailleurs, des auteurs (INERIS, 2015b ; Kletz & Amyotte, 2010) soulignent que les actions d'une éventuelle modification se résument essentiellement dans le changement, la redondance ou le remplacement (totale ou partielle) d'une installation d'O&G. Donc, de telles actions conduisent inévitablement le Groupe Sonatrach à procéder à des nouvelles Autorisations d'exploitation pour espérer avoir une conformité règlementaire.

Mise à part de ces deux remarques, les deux projets de modifications que nous venons de présenter confirment le grand intérêt de se référer au référentiel MOC du Groupe Sonatrach. Car, il permet d'unifier les pratiques en matière des modifications. Mieux encore, il permet d'œuvrer dans le sens de "bonnes pratiques". En effet, le référentiel MOC s'impose actuellement au sein du Groupe Sonatrach comme une démarche d'amélioration de la performance industrielle permettant de faire face aux problèmes de vieillissement de ses équipements en respectant une chronologie d'étapes pour une meilleure mise en œuvre des éventuelles modifications.

Cependant, la généralisation de ces bonnes pratiques sur l'ensemble des sites d'O&G du Groupe Sonatrach nous incite à rappeler que le concept de "meilleures pratiques" suppose (Bronet & al, 2003) que le Groupe Sonatrach doit : localiser, caractériser et formaliser de bonnes pratiques détenues au sein d'un site d'O&G afin de généraliser leurs déploiements dans d'autres sites.

Ces bonnes pratiques correspondent, certainement, à des processus opérationnels, de support ou de management du Groupe Sonatrach.

S'intégrant dans ce contexte, la suite de ce dernier chapitre présente une proposition d'enrichissement du référentiel MOC dans le but de capitaliser les modifications engagées dans ses sites d'O&G à des fins de généralisation sur l'ensemble de ses sites, d'une part, et pour une optimisation de ces modifications, d'autre part.

En d'autres termes, il s'agit d'un modèle en spirale(s) que nous détaillerons ci-après.

IV.3. Proposition d'un modèle en spirale(s) pour l'enrichissement du Référentiel MOC du Groupe Sonatrach

Le modèle en spirale proposé (figure IV.14) est basé sur le quadruplet « Initiation, Evaluation, Gestion et Mémorisation ». Ce modèle permet de formaliser quatre phases que nous proposons pour tout projet de modernisation au sein du Groupe Sonatrach.

En effet, ce modèle de développement en spirale permet de transiter d'une phase à une autre de manière séquentielle tout en passant obligatoirement par la phase "mémorisation" qui permet de capitaliser les trois phases du référentiel MOC du Groupe Sonatrach "initiation – évaluation – gestion" par un "partage de la connaissance relative à la modification".

Le choix de ce modèle en spirale est renforcé, en s'appuyant d'une part sur le contexte des modifications qui nécessite à notre avis, le recours au REX (mémoire de connaissances sur la modification, dans notre cas), et d'autre part sur le nombre d'acteurs impliqués qui nécessitent une bonne coordination entre eux.

Evidemment, cette bonne coordination entre les acteurs de la modification ne se répercute nullement sur leurs autonomies et indépendances mais, au contraire, elle permet d'appuyer avec un bien fondé leurs décisions prises chacun à son niveau.

Le modèle en spirale respecte, non seulement, le séquençement des trois phases "initiation – évaluation – gestion" du référentiel MOC du Groupe Sonatrach mais il les appuie avec une phase de mémorisation qui permet d'alimenter les trois phases du MOC par un REX sur des modifications antérieures qui ont eu lieu dans tous les sites du Groupe Sonatrach.

L'ensemble des quatre phases du modèle en spirale d'une modification sont délimités par deux types de "points de contrôles" :

- Un point de contrôle "amont" qui permet de préparer la phase suivante en annonçant l'état d'avancement d'une modification engagée. C'est le cas des trois points de contrôles (AVM, EPM "Expertise de plan de modification" et PM) qui préparent le déploiement, successif des étapes (initiation, évaluation et gestion).
Ces points de contrôle amont sont schématisés dans notre modèle en spirale par le sigle « Σ » ;
- Un point de contrôle "aval" qui matérialise l'achèvement de l'étape précédente tout en usant de la mémoire de connaissances relative à la modification. C'est le cas des trois points de contrôles (RM, VM "validité de modification" et D/A-M "diffusion ou archivage de modification" qui capitalisent, successivement, le partage de la connaissance issue de l'étape "mémorisation" dans les étapes (initiation, évaluation et gestion).
Ce point de contrôle aval est schématisé dans notre modèle par le sigle « Δ ».

Afin d'illustrer le fonctionnement du modèle en spirale de la modification que nous proposons, nous signalons que le point de départ appartient à l'axe qui marque le début de la première phase d'une modification engagée "phase initiation". Ce point de départ est,

nécessairement, loin du centre du cercle qui englobe la spirale de la modification ; car, le centre de ce cercle est un point qui fusionne les quatre phases du modèle proposé et qu'est, donc, exclu de l'espace du processus de déploiement d'une modification.

Le départ de la phase "initiation" est matérialisé par un point de contrôle amont "AVM" où l'initiateur d'une modification entame la description et les apports d'une modification suggérée. Au cours de la phase "initiation", l'initiateur utilise une check-list qui lui permet de décrire la modification et il use de la mémoire des modifications pour se référer aux modifications antérieures si elles existent. Les "CM" antérieures, lorsqu'elles existent, marquent le deuxième point de contrôle de la modification suggérée "RM". Autrement-dit, le premier apport du modèle en spirale des modifications permet de lister dans la "RM" les modifications antérieures similaires à la modification engagée afin d'exploiter ultérieurement les connaissances qui leurs sont associées (partage de la connaissance issue de la phase "mémorisation").

Le point de contrôle "RM" est suivi instantanément d'un troisième point de contrôle "EPM" qui matérialise la phase d'évaluation de la modification engagée. A l'issue d'une évaluation poussée de la modification, conformément au référentiel MOC et en prenant en considération l'expérience des évaluations poussées précédentes que le quatrième point de contrôle de la spirale est atteint "VM". D'où le second apport du modèle en spirale suggérée qui permet d'user des expériences acquises lors des évaluations poussées des modifications précédentes afin de rendre cette "EPM" plus objective en tenant compte du REX sur ce type de modification.

Le point de contrôle "VM" est suivie instantanément d'un autre point de contrôle "PM" qui marque le début de la phase "gestion" de la modification suggérée. Dans le référentiel MOC du Groupe Sonatrach, cette phase s'achève par la clôture officielle de la modification. Notre modèle en spirale des modifications suggère que cette clôture doit se matérialiser par deux actes :

- une diffusion des informations issues de ces modifications sur l'ensemble des sites d'O&G afin de gérer les interdépendances qu'engendre cette modification comme le suggère le référentiel MOC ;
- un archivage de toutes ces informations dans la "mémoire du référentiel" pour des futurs partages et exploitations de ces informations.

Ainsi, le modèle en spirale des modifications s'achève au niveau du sixième point de contrôle "D/A-M".

Notons que dans le modèle en spirale des modifications proposé, les parties pointillées de la spirale (figure IV.14) indiquent qu'aux niveaux de ces parties les phases de modification correspondantes "initiation, évaluation ou gestion" ne sont pas concernées. Il s'agit plutôt d'une propagation en divergence de la spirale.

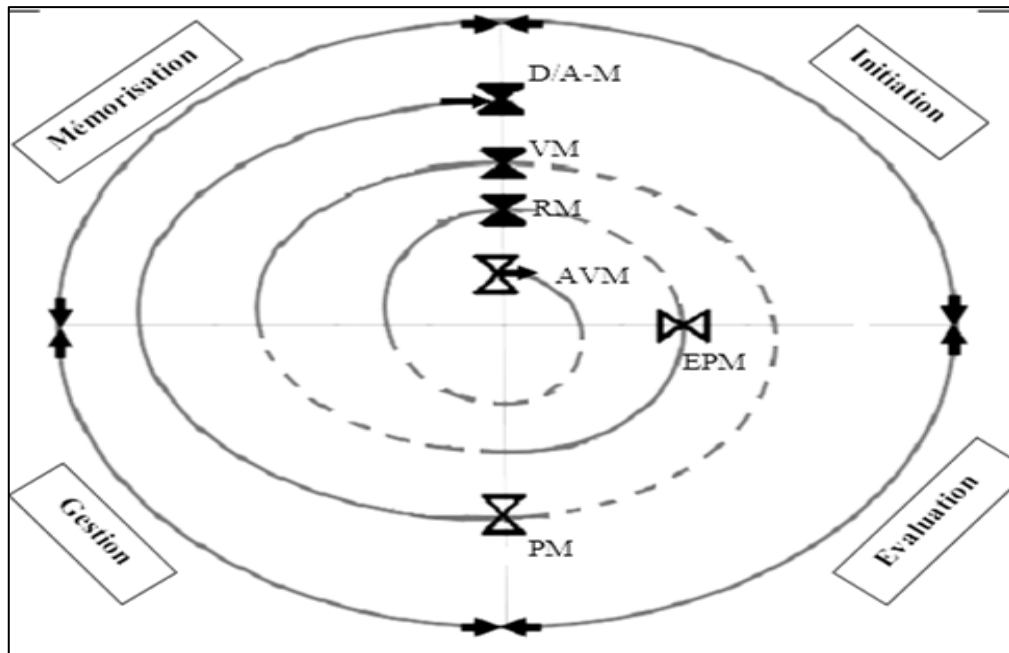


Figure IV.14. *Modèle de la spirale d'une modification engagée.*

Afin de solutionner cette ambiguïté, dans le modèle proposé, nous pouvons formaliser ce modèle autrement en créant deux spirales : une macro-spirale qui cadre les trois phases du référentiel MOC et une micro-spirale qui caractérise la phase de "mémorisation" que nous avons intégré dans le modèle MOC. La figure IV.15 présente la seconde version du "modèle des spirales" de la modification que nous proposons qui montre clairement l'intégration systématique de la "mémorisation" des modifications dans les trois phases du référentiel MOC du Groupe Sonatrach.

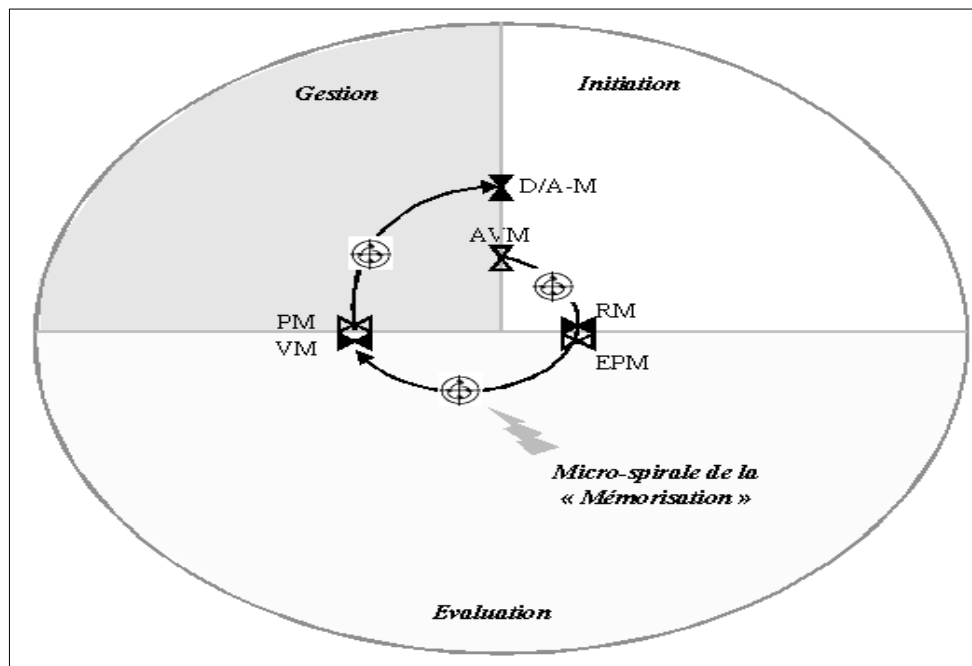


Figure IV.15. *Modèle des spirales d'une modification engagée.*

Dans la figure IV.15, la micro-spirale de la mémorisation de la connaissance relative aux modifications est un processus de partage et d'appropriation de ces connaissances. Ce

processus permet de capitaliser les connaissances extraites des modifications antérieures pour des éventuelles exploitations tout en tenant compte de la phase actuelle du processus de la modification.

Notons par ailleurs, que la micro-spirale de la "mémoire" peut être gouvernée par deux types d'approches (Bekhti & al, 2001) : une approche orientée vers la prise de décision et une approche axée sur la résolution des problèmes.

Dans notre cas, c'est la première approche que nous retenons ; car, elle permet de consolider la convergence des acteurs impliqués dans la prise des décisions rattachées aux trois phases du référentiel MOC. Plus précisément, nous considérons cette approche "d'aide à la décision" comme une approche participative et de concertation (Hadef, 2019).

Un autre avantage de la micro-spirale de la figure IV.15 est qu'elle permet d'obtenir une trace d'une prise de décision à base d'expériences antécédentes. C'est ce qui permet de structurer cette trace dans la phase "mémoire" de sorte à ce qu'elle soit facilement utilisable dans d'autres circonstances. D'où un modèle dynamique des spirales des modifications basé sur une réutilisation des connaissances émergentes. Cette réutilisation de ce type de connaissances issues des modifications antérieures permet d'éviter leurs pertes. D'où l'autre apport du modèle des spirales proposé.

Afin d'illustrer l'usage de la micro-spirale, nous nous intéressons à deux cas que nous synthétisons sous forme de figures :

- la figure IV.16 pour l'extraction des solutions pour l'EPM à partir de la mémoire de connaissances sur les modifications ;
- la figure IV.17 où la mémoire de "CM" partagée qui permet d'alimenter l'EPM au niveau des sites du Groupe Sonatrach (instauration de bonnes pratiques au sein du Groupe Sonatrach).

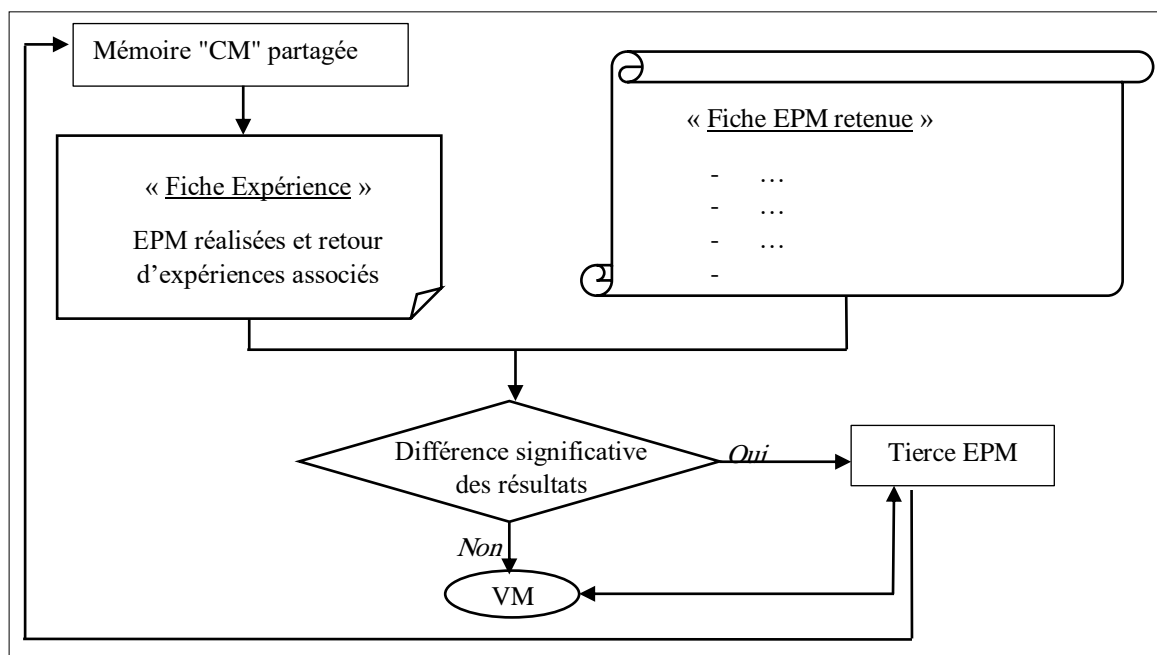


Figure IV.16. Extraction des solutions pour l'EPM.

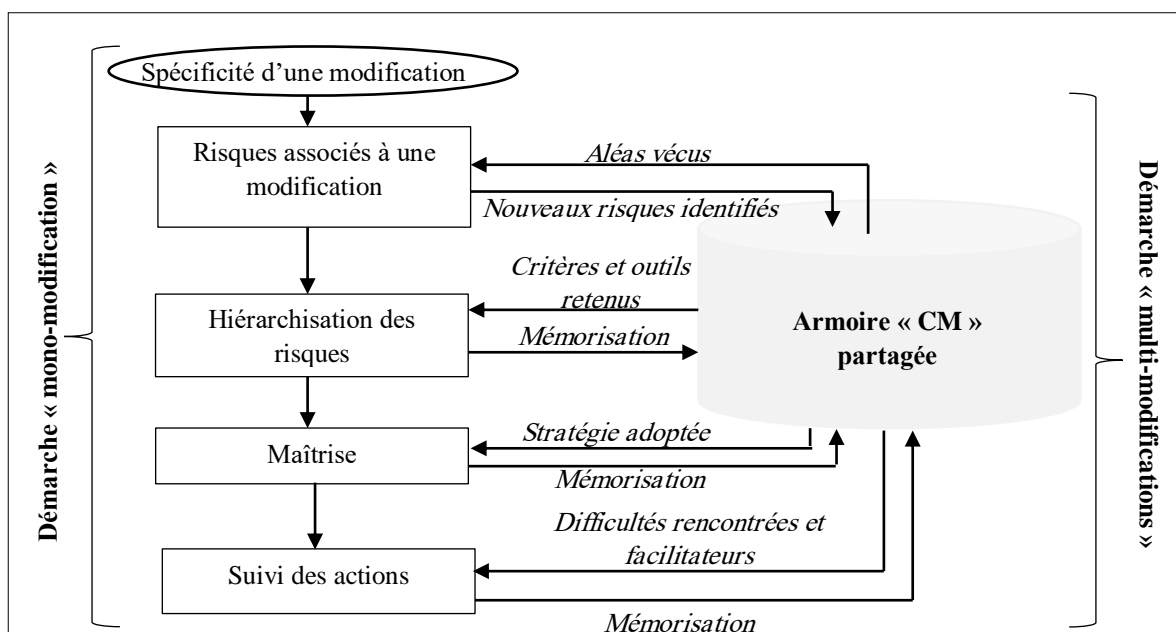


Figure IV.17. Mémoire de "CM" partagée.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté, dans un premier temps, le référentiel MOC du Groupe Sonatrach ainsi que son illustration sur deux projets de modifications.

Le premier projet de modification a fait l'objet d'une annulation par contre le second a été validé en référence au référentiel MOC.

Ces deux exemples ont permis de mettre en lumière l'intérêt de ce référentiel pour la mise en œuvre des modifications dans les sites d'O&G du Groupe Sonatrach. A l'instar de ces deux projets de modifications que deux recommandations ont été formulées par nos soins : la première concerne l'obligation d'intégrer la mise en conformité réglementaire des éventuelles modifications dans ce référentiel (nouvelle demande d'Autorisation d'exploitation issue d'une modification) et la seconde concerne l'intérêt d'intégrer la mémoire de connaissances pour capitaliser les modifications réalisées. Car, nous sommes convaincus qu'une telle capitalisation des connaissances issues des modifications réalisées permet de standardiser ces modifications au sein de ses sites d'O&G.

Ensuite, nous avons jugé utile de contribuer modestement à capitaliser ce référentiel MOC par la mémorisation des connaissances acquises des modifications réalisées. Cette mémoire de connaissances associées au MOC a été cadrée par un modèle en spirale(s) que nous avons proposé dans la dernière partie de ce chapitre.

CONCLUSION GENERALE

Le vieillissement industriel est la dégradation dans les performances d'un équipement industriel sous l'effet du temps ou des conditions de son utilisation. La surveillance de ce phénomène problématique, pour les organisations industrielles, consiste à suivre les indicateurs qui le traduisent et à contrôler l'efficacité des mesures mises en œuvre pour le maîtriser.

L'étude du vieillissement a suscité l'intérêt de la communauté scientifique où de nombreuses études ont été réalisées sur la phénoménologie du vieillissement industriel, d'une part, et sur les méthodologies de sa maîtrise, d'autre part.

Pour cela, la revue bibliographique que nous avons effectuée dans la première partie de cette thèse de doctorat (chapitres un et deux) a permis d'énumérer trois approches axées sur des visions différentes (probabiliste "fiabiliste", déterministe "physique") mais complémentaires. Il s'agit des approches : par anticipation, par niveau de risques et par usage d'indicateurs appropriés.

Vu l'intérêt de l'approche à base d'indicateurs, nous nous sommes focalisés dans le troisième chapitre sur la gestion de la complexité de la construction des indicateurs, d'une part, et leur priorisation à des fins de maîtrise du vieillissement industriel, d'autre part.

Dans ce contexte, notre choix s'est porté sur le Groupe Sonatrach en tant que champs d'investigation privilégié de nos contributions scientifiques et dont la première consiste en une proposition d'une méthode d'allocation des objectifs du Groupe Sonatrach en vue de maîtriser le problème du vieillissement de ses installations industrielles onshore. L'intérêt de cette méthode d'allocation est qu'elle est cadrée par l'approche à base de risques (Risk-Based Inspection "RBI") pour la déduction des sous-objectifs du Groupe Sonatrach pour l'horizon 2030.

Un autre intérêt de fusionner cette approche d'allocation d'objectifs de maîtrise du vieillissement avec la méthode RBI est que contrairement aux approches bien connues d'allocation qui sont souvent du type descendant, notre approche est à la fois descendante et ascendante. Cette double allocation (ascendante et descendante) permet, non seulement, de réussir l'allocation de l'objectif en sous-objectifs mais également de suivre dans le temps la réalisation de l'objectif de maîtrise du vieillissement industriel.

La deuxième contribution porte sur la construction des indicateurs de maîtrise du vieillissement industriel en concertation avec les cadres du Groupe Sonatrach de différents sites du Groupe. A ce propos, onze indicateurs de maîtrise du vieillissement ont été retenus par usage de la méthode Delphi. Ces indicateurs ont fait l'objet d'une priorisation par la méthode TOPSIS. Le résultat attendu par cette méthode de priorisation a confirmé la forte interdépendance entre le vieillissement et la modernisation industrielle.

C'est ce qui nous a conduit à se focaliser sur le problème dual du vieillissement industriel qu'est celui de la modernisation industrielle ou plus précisément le problème des changements (modifications). A ce propos, notre troisième et dernière contribution consiste en une étude exploratoire du référentiel MOC du Groupe Sonatrach dont son déploiement sur des projets de modification des équipements industriels nous a permis de proposer modestement deux actions d'enrichissement de ce référentiel :

- la première consiste à prendre en considération dans la LCM l'éventuelle demande d'une nouvelle Autorisation d'exploitation afin d'acquiescer la conformité règlementaire du Groupe Sonatrach ;
- la seconde consiste à capitaliser les connaissances issues des projets de modification sous forme d'une mémoire de connaissances dédiée à l'exploitation de ces connaissances sur l'ensemble des sites du Groupe. Dans cette seconde proposition, nous avons élaboré un modèle en spirale(s) qui permet d'optimiser la procédure de la modification en référence au référentiel MOC tout en la généralisant sur tous les sites du Groupe Sanatrach.

Ces trois contributions nous ont confirmé que le domaine de recherche sur la problématique du vieillissement industriel en Algérie est très pertinent malgré les difficultés rencontrées pour mener à terme nos réflexions.

A l'issue de ces trois contributions scientifiques, des perspectives de recherches s'annoncent encore plus pertinentes. Nous citons à titre d'illustration de nos propos :

- L'utilisation combinée des méthodes d'aide à la décision multicritères pour la priorisation des indicateurs de maîtrise du vieillissement industriel. Nous envisagerons dans nos travaux futurs de faire le recours à la méthode TOPKOR qui combine TOPSIS ET VIKOR. Le but de cette fusion est de se pencher sur la sensibilité de certaines méthodes d'aides à la décision multicritères ;
- L'usage des chaînes logistiques pour gérer le problème d'indisponibilité des pièces de rechanges pour faire face aux problèmes du VI-O&G ;
- Le renforcement du référentiel MOC par les orientations de la norme ISO 14224⁷⁸ notamment dans l'étape "initiation : catégorisation de la modification" en introduisant la catégorisation de cette norme en termes de changements, redondances et remplacement.

⁷⁸ "Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment", 2016, Third Edition, 285 pages.

CONCLUSION GENERALE

En qualité d'un cadre du Groupe Sonatrach, ma dernière préoccupation est de mobiliser toutes ces connaissances scientifiques et démarches proposées pour les intégrer dans des études du type "Tie-in" qui signifie le raccordement des anciennes et nouvelles installations d'O&G.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adjaj A., Dianous V., Dolladille O., Prod'Homme G. & Reimeringer M., 2014, "*Maîtrise du vieillissement des installations industrielles : comparaison des politiques en France et dans 4 Pays Etrangers*", HAL Id : ineris-000973590, 10 pages.
- AFNOR, 2016, "*Maintenance industrielle – fonction maintenance*", NF X60-000, Association Française de Normalisation.
- Agrebi M., 2018, "*Méthodes d'aide à la décision multi-attribut et multi-acteur pour résoudre le problème de sélection dans un environnement certain/ incertain*", Thèse de Doctorat en Informatique, Université Polytechnique Hauts-de-France et Université de Sfax, 149 pages.
- Ancione G., Bragatto P. & Milazzo M.F., 2020, "*A bayesian network-based approach for the assessment and management of ageing in major hazard establishments*", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 64 : 104080. doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104080
- Animah I., Shafiee M., Simms N., Erkoyuncu J.A. & Maiti J., 2018, "*Selection of the most suitable life extension strategy for ageing offshore assets using a life-cycle cost-benefit analysis approach*", Journal of Quality in Maintenance Engineering, 24 (3): 311–330. doi.org/10.1108/JQME-09-2016-0041
- API 581, 2016, "*Risk-based Inspection Methodology*", Third Edition, American Petroleum Institute.
- API 750, 1990, "*Management of Process Hazards*", First Edition, American Petroleum Institute.
- Autissier D. & Moutot J.M., 2016, "*Méthode de conduite du changement : diagnostic, accompagnement, performance*", Quatrième Edition, Dunod, ISBN : 2100757628, 9782100757626, 288 pages.
- Bekhti S., Matta N., Andéol B. & Aubertin G., 2001, "*Présentation des connaissances dans une mémoire de projet*", Document numérique, Lavoisier, 3 (5) : 193–209.
Accessible sur :
<https://www.cairn.info/revue-document-numerique-2001-3-page-193.htm>

- Belmazouzi Y., 2014, "*La méthodologie ARAMIS : outil d'intégration de la sécurité des installations dangereuses*", 1^{ère} Journée d'Etudes des Jeunes Scientifiques (Doctorants) organisée par les laboratoires : LIECS-MS, LRPI, LESEI, Batna-Algérie le 28 avril.
- Belmazouzi Y. & Djebabra M., 2016, "*Gestion des risques-machines en industries algériennes*", Editions Universitaires Européennes, EAN : 9783659559341, 100 pages.
- Belmazouzi Y., Djebabra M. & Hadeff H., 2020, "*Contribution to the ageing control of onshore oil and gas fields*", *Petroleum*, 6 (3): 311–317. doi.org/10.1016/j.petlm.2019.11.006
- Benard V., Cauffriez L. & Renaux D., 2001, "*Point of view of availability assessment for complex system: a method based onto transfer function*", *IFAC Proceedings*, 34 (17):255–260. doi.org/10.1016/S1474-6670(17)33289-5
- Blaise J.C., Bloch M., Bösch R., Kappelmaier R., Müseler F.J., Mysliwiec B., Niemitz K.J & Sommer J., 2007, "*Maintenance et gestion du changement sur les installations à risque – Guide pratique*", ISSA Prevention Series N°. 2054 (F), ISBN 92-843-7177-5, 75 pages.
- Boubaker L., 2012, "*Contribution à l'intégration d'une politique environnementale dans les activités des entreprises algériennes en vue d'une amélioration de leurs performances environnementales*", Thèse de Doctorat en Hygiène et Sécurité Industrielle, Université de Batna-Algérie, 143 pages.
- Bouziane-Marle L., 2005, "*AVISE, Anticipation du vieillissement par interrogation et stimulation d'experts : Application à un matériel passif d'une centrale nucléaire*", Thèse de Doctorat en Génie Industriel, Ecole Centrale de Paris-France, 318 pages.
- Bragatto P. & Milazzo M.F., 2016, "*Risk due to the ageing of equipment: assessment and management*", *Chemical Engineering Transactions*, 53: 253–258. DOI: 10.3303/CET1653043
- Bragatto P. & Milazzo M.F., 2019, "*A resilient approach to the safety management of ageing and obsolescence in oil and chemical industries*", *Chemical Engineering Transactions*, 74: 1369–1374. DOI: 10.3303/CET1974229
- Bragatto P., Ansaldi S.M., Agnello P., Condina T.D., Zanzotto F.M. & Milazzo M.F., 2020, "*Ageing management and monitoring of critical equipment at Seveso sites: An ontological approach*", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 66: 104204. doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104204
- Bronet V., Maire J.L., & Pillet M., 2003, "*Identification et caractérisation d'une « bonne pratique » industrielle pour un benchmarking interne*", 5^{ème} Congrès International de Génie Industriel, Québec-Canada, 11 pages.
- Brunet L.E. & Longcôté E., 2018, "*Le management en situation de complexité et d'incertitude : apport de la recherche et développement*", *Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement*, 1 (4). DOI : 10.18145/jitipee.v4i1.169
- Cachada A., Barbosa J., Leitão P., Geraldcs C.A.S., Deusdado L., Costa J., Teixeira C., Teixeira J., Moreira A.H.J., Moreira P.M. & Romero L., 2018, "*Maintenance 4.0: Intelligent and predictive maintenance system architecture*", *IEEE 23rd International*

- Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Turin, Italy, 139–146. DOI: 10.1109/ETFA.2018.8502489.
- Candrea F. & Houari M., 2013, "*Plant screening for ageing impact in the process industry*", Chemical Engineering Transactions, 31: 253–258. DOI: 10.3303/CET1331043
- Castellet-Viciano L., Hernández-Chover V. & Hernández-Sancho F., 2018, "*Modeling the energy costs of the wastewater treatment process: The influence of the aging factor*", Science of The Total Environment, 625: 363–372. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.304
- CCPS, 2007, "*Guidelines for risk based process safety*", Center for Chemical Process Safety, Wiley, ISBN : 978-0-470-16569-0, 768 pages.
- CCPS, 2010, "*Guidelines for process safety metrics*", Center for Chemical Process Safety, Wiley, ISBN : 978-0-470-57980-0, 200 pages.
- CCPS, 2011, "*Guidelines for the management of change for process safety*", Center for Chemical Process Safety, Wiley, ISBN : 978-1-118-20993-6, 200 pages.
- CCPS, 2013, "*Guidelines for managing process safety risks during organizational change*", Center for Chemical Process Safety, First Edition, Wiley, ISBN-13 : 978-1118379097, 264 pages.
- CCPS, 2018, "*Process safety metrics : guide for selecting leading and lagging indicators*", Center for Chemical Process Safety, Version 3.2, 63 pages.
- Chati M., 2013, "*Étude exploratoire de la politique HSE du groupe pétrolier Sonatrach*", Thèse de Master en Maitrise des Risques Industriels, Université de Batna-Algérie, 124 pages.
- Chettouh S., Hamzi R. & Benaroua K., 2016, "*Examination of fire and related accidents in Skikda oil refinery for the period 2002–2013*", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 41: 186–193. doi.org/10.1016/j.jlp.2016.03.014
- CNA, 2019, "*Dossier de presse sur les risques industriels 2006-2018*", Conseil National des Assurances, 132 pages.
- Cooke R.M., 1991, "*Experts in uncertainty: opinion and subjective probability in science*", Oxford University Press.
- Cooke R.M. & Goossens L.J.H., 2000, "*Procedure guide for structured expert judgement*", Project report, Nuclear Science and Technology, European Commission, ISBN92-894-0111-7.
- Dandage R., Mantha S.S. & Rane S.B., 2018, "*Ranking the risk categories in international projects using the TOPSIS method*", International Journal of Managing Projects in Business, 11 (2): 317–331. doi.org/10.1108/IJMPB-06-2017-0070
- DEUSA, 1993, "*Guide for operational configuration management program, Part I*", DOE-STD-I073-93-Pt.1, Department of Energy-United States of America.
- DNV, 2010, "*Etudes « Risk Assessment » des unités industrielles de la Division Production « Etudes De Dangers », SONATRACH-DP-Stah*", Det Norske Veritas, N° Rapport EP002718 N°5, Rév.0, 416 pages.
- El Hami A., Delaux D. & Grzeskowiak H., 2018, "*Fiabilité des systèmes mécatroniques de forte puissance 1: Application automobile et aéronautique simulation, modélisation*

- et optimisation*", Volume 1, ISTE Group, ISBN : 1784053627, 9781784053628, 306 pages.
- Faucher J., 2009, *"Pratique de l'AMDEC: Assurez la qualité et la sûreté de fonctionnement de vos produits, équipements et procédés"*, Deuxième Edition, Dunod, ISBN : 2100541897, 9782100541898, 208 pages.
- Francastel J.C., 2009, *"Ingénierie de la maintenance: De la conception à l'exploitation d'un bien"*, Deuxième Edition, Dunod, ISBN : 2100546198, 9782100546190, 548 pages.
- Fumey M., 2001, *"Méthode d'évaluation des risques agrégés : application au choix des investissements de renouvellement d'installations"*, Thèse de Doctorat en Systèmes Industriels, Institut National Polytechnique de Toulouse-France, 178 pages.
- García-Cascales M.S. & Lamata M.T., 2012, *"On rank reversal & TOPSIS method"*, *Mathematical and Computer Modelling*, 56 (5–6): 123–132. doi.org/10.1016/j.mcm.2011.12.022
- Grant W.S., Miller E.J. & Sliter G.E., 1992, *"Nuclear power plant common aging terminology"*, EPRI TR-100844, Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto.
- Grous A., 2013, *"Fiabilité mécanique appliquée : Études de cas concrets"*, Hermes Science, Lavoisier, ISBN : 2746289296, 9782746289291, 384 pages.
- Guitouni A., Martel J.M. & Vincke P.H., 1999, *"Un cadre de référence pour le choix d'une procédure d'agrégation multicritère"*, Document de travail, FSA-1999-013, Université Laval-Canada.
- Guo B., Liu X. & Tan X., 2017, *"Petroleum production engineering"*, Second Edition, Gulf Professional Publishing, 780 pages.
- Hadef H., 2019, *"Apports des outils de concertation à la gestion des risques majeurs en Algérie"*, Thèse de Doctorat en Hygiène et Sécurité Industrielle, Université de Batna 2-Algérie, 120 pages.
- Hadef H. & Djebabra M., 2019, *"PCA-I and AHP methods: unavoidable arguments in accident scenario classification"*, *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 19 (2): 496–503. doi.org/10.1007/s11668-019-00625-x
- Hadef H. & Djebabra M., 2020, *"A conceptual framework for risk matrix capitalization"*, *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*, 11: 755–764. doi.org/10.1007/s13198-020-00949-0
- Halfaoui, 2014, *"Etude de dangers - projet SBF"*, Rev. B, 416 pages.
- Hassan R., 2002, *"Contribution à l'amélioration des performances des systèmes complexes par la prise en compte des aspects sociotechniques dès la conception : proposition d'un modèle original de situation de travail pour une nouvelle approche de conception"*, Thèse de Doctorat en Automatique, Université de Nancy1-France, 200 pages.
- Hassani M., Chaib R., Bouzrara R., Hadef H. & Belmazouzi Y., 2018, *"Prevention of major industrial risks in the context of sustainable development: Proposal a draft general plan for the prevention of major risks GPPMR in Algeria according to the law 04/20"*, ICEMAEP'18 Fourth International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution At Constantine Algeria, 3: 1729-1736.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Hawang Ch.L. & Yoon K., 1981, *"Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey"*, Springer-Verlag, Germany.
- Heng J., 2011, *"Pratique de la maintenance préventive"*, Troisième Edition, Dunod, ISBN : 210055896X, 9782100558964, 416 pages.
- Hey B.R., 2017, *"Performance management for the oil, gas, and process industries: a systems approach"*, First Edition, Gulf Professional Publishing, ISBN: 978-0-12-810446-0, 740 pages.
- Hokstad P., Håbrekke S., Johnsen R. & Sangesland S., 2010, *"Ageing and life extension for offshore facilities in general and for specific systems"*, Safety research, SINTEF Report for the Petroleum Safety Authority Norway, 212 pages.
- IEC 60050, 1999, *"International electrotechnical vocabulary - chapter 191: dependability and quality of service"*, International Electrotechnical Commission.
- IFIJ, 2020, *"Code de l'environnement"*, Institut Français d'Information Juridique, Dernière modification, 1770 pages.
- INERIS, 2009, *"Rapport final – Benchmark international sur les réglementations et pratiques de maîtrise du vieillissement des installations industrielles"*, Rapport d'étude, DRA-09-102957-07985C, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, 91 pages.
- INERIS, 2015a, *"Les enseignements de l'accidentologie liée à l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures"*, DRS-15-149641-02735A, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, 77 pages.
- INERIS, 2015b, *"Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs - Etude de dangers d'une installation classé"*, Rapport d'étude, DRA-15-148940-03446A, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, 122 pages.
- INERIS, 2018, *"Benchmark et analyse sur les méthodologies RBI appliquées aux équipements sous pression"*, Rapport d'étude, DRA-18-160224-01606B, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, 41 pages.
- INRS, 2011, *"Machines"*, Institut National de Recherche et de Sécurité, Nancy-France, 26 pages.
- JOR N°4, 1988, *"JOR de la république algérienne démocratique et populaire"*, 32 pages.
- JOR N°7, 1988, *"JOR de la république algérienne démocratique et populaire"*, 32 pages.
- JOR N°36, 1990, *"JOR de la république algérienne démocratique et populaire"*, 32 pages.
- JOR N°38, 1990, *"JOR de la république algérienne démocratique et populaire"*, 14 pages.
- JOR N°04, 1991, *"JOR de la république algérienne démocratique et populaire"*, 42 pages
- JOR N°50, 1993, *"JOR de la république algérienne démocratique et populaire"*, 20 pages.
- JOR N°65, 2001, *"JOR de la république algérienne démocratique et populaire"*, 23 pages.
- JOR N°43, 2003, *"JOR de la république algérienne démocratique et populaire"*, 32 pages.
- JOR N°47, 2005, *"JOR de la république algérienne démocratique et populaire"*, 20 pages.
- JOR N°37, 2006, *"JOR de la république algérienne démocratique et populaire"*, 23 pages.
- JOR N°34, 2007, *"JOR de la république algérienne démocratique et populaire"*, 112 pages.
- JOR N°63, 2007, *"JOR de la république algérienne démocratique et populaire"*, 24 pages.
- JOR N°58, 2008, *"JOR de la république algérienne démocratique et populaire"*, 34 pages.

- JOR N°13, 2014, "*JOR de la république algérienne démocratique et populaire*", 32 pages
- JOR N°73, 2014, "*JOR de la république algérienne démocratique et populaire*", 38 pages
- JOR N°1, 2015, "*JOR de la république algérienne démocratique et populaire*", 34 pages.
- JOR N°4, 2015, "*JOR de la république algérienne démocratique et populaire*", 35 pages.
- JOR N°79, 2019, "*JOR de la république algérienne démocratique et populaire*", 42 pages.
- Khan R., Mad A.B., Osman K. & Abd Aziz M.A, 2019, "*Maintenance management of aging oil and gas facilities*", IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.82841.
- Kletz T.A. & Amyotte P., 2010, "*Process plants: A handbook for inherently safer design*", Second Edition, CRC Press, ISBN: 9781439804551, 384 pages.
- Krohling R.A. & Pacheco A.G.C., 2015, "*A- TOPSIS- An approach based on TOPSIS for ranking evolutionary algorithms*", *Procedia Computer Science*, 55: 308–317. doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.054
- Laloix T., Voisin A., Deeb S., Romagne E., Lung B. & Lorange F., 2017, "*Industrial system functioning/dysfunctioning-based approach for indicator identification to support proactive maintenance*", *IFAC-Papers OnLine*, 50 (1): 13704–13709. doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2544
- Lambert M., 2016, "*Les transformateurs électriques ; fonctionnement, mise en oeuvre et exploitation*", Dunod, Technique et Ingénierie, Electronique – Électrotechnique-Automatique, Sciences & Techniques, 290 pages.
- Lannoy A. & Procaccia H., 2001, "*L'utilisation du jugement d'experts en sûreté de fonctionnement*", Editions TEC & DOC, Lavoisier, 392 pages.
- Lannoy A. & Procaccia H., 2005, "*Evaluation et maîtrise du vieillissement industriel*", Lavoisier, Editions TEC & DOC, Lavoisier, 362 pages.
- Lannoy A. & Procaccia H., 2009, "*Evaluation du vieillissement industriel - Méthodologie*", *Technique de l'ingénieur*, Réf. : SE2080 V1, 20 pages.
- Lasnier G., 2011, "*Sûreté de fonctionnement des équipements et calculs de fiabilité*", Hermes Science, Lavoisier, ISBN: 2746241978 9782746241978, 208 pages.
- Léger A., 2009, "*Contribution à la formalisation unifiées des connaissances fonctionnelles et organisationnelles d'un système industriel en vue d'une évaluation quantitative des risques et de l'impact des barrières envisagées*", Thèse de Doctorat en Automatique, Traitement du Signal et Génie Informatique, Université de Nancy I-France, 224 pages.
- Liu Y., Frangopol D.M. & Cheng M., 2019, "*Risk-informed structural repair decision making for service life extension of aging naval ships*", *Marine Structures*, 64: 305–321. doi.org/10.1016/j.marstruc.2018.10.008
- Lyonnet P., Thomas M. & Toscano R., 2012, "*Fiabilité, diagnostic et maintenance des systèmes*", Editions TEC & DOC, Lavoisier, ISBN: 2743063858, 9782743063856, 378 pages.
- Matta N., Vandenboomgaerde Y. & Arlat J., 2012, "*Supervision, surveillance et sûreté de fonctionnement des grands systèmes*", Hermes Science, Lavoisier, ISBN: 2746238403, 9782746238404, 374 pages.
- Méndez M., Galván B., Salazar D. & Greiner D., 2009, "*Multiple-objective genetic algorithm using the multiple criteria decision making method TOPSIS*" In: Barichard V., Ehrgott M., Gandibleux X., TKindt V. (eds) *Multiobjective Programming and*

- Goal Programming. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol 618. Springer, Berlin, Heidelberg. doi.org/10.1007/978-3-540-85646-7_14
- Milazzo M.F., Bragatto P., Ancione G. & Scionti G., 2018, "*Ageing assessment and management at major-hazard industries*", Chemical Engineering Transactions, 67: 73-78. DOI: 10.3303/CET1867013
- Milazzo M.F. & Bragatto P., 2019, "*A framework addressing a safe ageing management in complex industrial sites: The Italian experience in «Seveso» establishments*", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 58: 70–81. doi.org/10.1016/j.jlp.2019.01.005
- Mishra R., Pundir A.K. & Ganapathy L., 2017, "*Evaluation and prioritization of manufacturing flexibility alternatives using integrated AHP and TOPSIS method: Evidence from a fashion apparel firm*", Benchmarking: An International Journal, 24 (5): 1437–1465. doi.org/10.1108/BIJ-07-2015-0077
- Monchy F. & Kojchen C., 2015, "*Maintenance : Outils, méthodes et organisations pour une meilleure performance*", Quatrième Edition, Dunod, ISBN : 2100739697, 9782100739691, 624 pages.
- Niu D., Song Z., Wang M. & Xiao X., 2017, "*Improved TOPSIS method for power distribution network investment decision-making based on benefit evaluation indicator system*", International Journal of Energy Sector Management, 11 (7): 595–608. doi.org/10.1108/IJESM-05-2017-0005
- Ostad-Ahmed-Ghorabi M.J. & Attari M., 2013, "*Advancing environmental evaluation in cement industry in Iran*", Journal of Cleaner Production, 41: 23–30. doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.002
- Otman W.A. & Bunter M.A.G., 2005, "*The libyan petroleum industry in the twenty first century: the upstream, midstream and downstream handbook*", 377 pages.
- Ounnar F., 1999, "*Prise en compte des aspects décision dans la modélisation par réseaux de Pétri des systèmes flexibles de production*", Thèse de Doctorat en Automatique-Productique, Insitut Polytechnique-Grenoble.
- Palkar S., 2010, "*Lifetime extension of ageing oil and gas platforms*", Master Thesis University of Stavanger-Norway.
- Palkar S. & Markeset T., 2012, "*Extending the service life span of ageing oil and gas offshore production facilities*", In: Frick J., Laugen B.T. (eds) Advances in Production Management Systems. Value Networks: Innovation, Technologies, and Management. APMS 2011, IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 384. Springer, Berlin, Heidelberg. doi.org/10.1007/978-3-642-33980-6_25
- PETROFAC, 2015a, "*Alrar inlet separation and boosting facilities - Causes and effects diagram - ESD*", Engineering document, Rev. D2, 46 pages.
- PETROFAC, 2015b, "*Alrar inlet separation and boosting facilities - Piping and instrumentation diagram*", Engineering document, Rév. D2, 120 pages.
- Procaccia H., Ferton E. & Procaccia M., 2011, "*Fiabilité et maintenance des matériels industriels réparables et non réparables*", Editions TEC & DOC, Lavoisier, ISBN : 2743019301, 9782743019303

- Øien K., 2008, "*Development of early warning indicators based on accident investigation*", Paper presented at International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, in Hong Kong, May.
- Øien K., Utne I.B. & Herrera I.A., 2011, "*Building safety indicators: Part 1- Theoretical foundation*", Safety Science 49 (2) : 148–161. doi.org/10.1016/j.ssci.2010.05.012
- Ramesh Kumar A. & Krishnan V., 2017, "*Reliability, availability and maintainability analysis of the systems*", Journal of Mathematics and Informatics, 11: 131–141. DOI: dx.doi.org/10.22457/jmi.v11a17
- Ruault J.R., 2015, "*Proposition d'architecture et de processus pour la résilience des systèmes ; application aux systèmes critiques à longue durée de vie*", Thèse de Doctorat en Automatique, Université de Valenciennes et du Hainautcambresis, 210 pages.
- Saadi S., 2015, "*Développement et validation d'une approche globale, dynamique et participative d'évaluation environnementale stratégique*", Thèse de Doctorat en Hygiène et Sécurité Industrielle, Université de Batna-Algérie, 142 pages.
- Sanders R.E., 2011, "*Chemical process safety: learning from case histories*", Third edition, Elsevier, ISBN: 0080476481, 9780080476483, 342 pages.
- Sonatrach, 2017, "*Référentiel gestion des modifications*", Direction Générale, Rév. 00, 67 pages.
- Sonatrach, 2019, "*Rapport annuel 2019*", Groupe Sonatrach, 77 pages.
- Sutton I., 2010, "*Process Risk and Reliability Management: Operational Integrity Management*", William Andrew, ISBN: 1437778062, 9781437778069, 856 pages
- Thomas M., 2012, "*Fiabilité, maintenance prédictive et vibration des machines*", PUQ, ISBN : 2760533581, 9782760533585, 644 pages.
- UFIP, 2019, "*L'industrie pétrolière française en 2018 et perspectives 2019*", Union Française des Industries Pétrolières", Conférence de presse du 28 mars, 42 pages.
- VERITAS, 2010, "*Etude des dangers - EPF d'Alrar*", Rév. 01, 260 pages.
- Villemeur A., 1988, "*Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels ; Fiabilité, Facteurs Humains, Informatisation*", Editions Eyrolles, Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France (EDF) - France, 822 pages.
- Vinnem J.E., 2010, "*Risk indicators for major hazards on offshore installations*", Safety Sciences, 48 (6) : 770–787. doi.org/10.1016/j.ssci.2010.02.015
- Wanga J.W., Cheng C.H. & Cheng H.K., 2009, "*Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection*", Applied Soft Computing, 9 (1): 377–386. doi.org/10.1016/j.asoc.2008.04.014
- Zwingelstein G., 2014, "*Évaluation de la criticité des équipements - Métriques et indicateurs de performance*", Techniques de l'ingénieur, Réf. : SE4006 V1, 24 pages.
- Zwingelstein G., 2015, "*Méthodes de maintenance basées sur la fiabilité et sur les risques*", Techniques de l'ingénieur, Réf. : SE1650 V1, 28 pages.
- Zwingelstein G., 2018, "*Signalement, analyse et correction de défaillances*", Techniques de l'ingénieur, Réf. : SE1681 V1, 22 pages.

ANNEXE 1 : Définitions et numéros des rubriques

I. Définitions

1. Substances : les éléments chimiques et leurs composés tels qu'ils se présentent à l'état naturel ou tels qu'ils sont obtenus par tout procédé de production contenant éventuellement tout additif nécessaire pour préserver la stabilité du produit et toute impureté résultant du procédé, à l'exclusion de tout solvant pouvant être séparé sans affecter la stabilité de la substance ni modifier sa composition.

2. Préparations : les mélanges ou solutions composés de deux substances ou plus.

3. Catégories de danger :

- **Très toxiques :** substances ou préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée en très petites quantités, entraînent la mort ou des risques aigus ou chroniques ;
- **Toxiques :** substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée en petites quantités, entraînent la mort ou des risques aigus ou chroniques ;
- **Combustibles :** substances ou préparations qui, au contact d'autres substances, notamment des substances inflammables, présentent une réaction fortement exothermique ;
- **Explosibles :** substances ou préparations solides, liquides, pâteuses ou gélatineuses qui, même sans intervention d'oxygène atmosphérique, peuvent présenter une réaction exothermique avec développement rapide de gaz et qui, dans des conditions d'essais déterminées, détonent, déflagrent rapidement ou, sous l'effet de la chaleur, explosent en cas de confinement partiel ;
- **Inflammables :** substances ou préparations liquides, dont le point d'éclair est égal ou supérieur à 21°C et inférieur ou égal à 55°C ;
- **Corrosives :** substances et préparations qui, en contact avec des tissus vivants, peuvent exercer une action destructrice sur ces derniers.

II. Numéros des rubriques et les activités afférentes

1000 Substances

1100 Très toxiques

1110 Très toxiques (fabrication industrielle de substances et préparations)

1125 Sulfure d'hydrogène (fabrication, extraction, mise en œuvre, stockage de)

1200 Toxiques

1210 Toxiques (fabrication industrielle de substances et préparations)

1272 Varech (fabrication de soudes brutes de)

1300 Comburantes

1310 Comburantes (fabrication, emploi ou stockage de substances ou préparations)

1330 Oxygène (emploi et stockage d')

1400 Explosibles

1410 Poudres, explosifs et autres produits explosifs (fabrication, conditionnement, chargement, encartouchage, mise en liaison pyrotechnique ou électrique des pièces d'artifice (en dehors des opérations effectuées sur le site de tir), essais d'engins propulsés, destruction de matières, munitions et engins sur les lieux de fabrication)

1431 Engrais simples solides à base de nitrates (ammonitrates, sulfonitrates) ou engrais composés à base de nitrates (stockage de)

1500 Inflammables

1510 Gaz inflammables (fabrication industrielle de)

1541 Carbone de calcium (stockage)

1600 Combustibles

1610 Dépôts d'allumettes chimiques

1617 Stockages, par voie humide (immersion ou aspersion), de bois non traité chimiquement,

1700 Corrosives

1710 Acides acétiques à plus de 50 % en poids d'acide, chlorhydrique à plus de 20 %, formique à plus de 50 %, nitrique à plus de 20 % mais à moins de 70 %, picrique à moins de 70 %, phosphorique, sulfurique à plus de 25 %, oxydes d'azote, anhydride phosphorique, anhydride acétique, oxydes de soufre (fabrication industrielle d')

1716 Soude ou potasse caustique (emploi ou stockage de lessives de)

1800 Divers

1810 Substances ou préparations dégageant des gaz toxiques au contact de l'eau (emploi ou stockage des)

1812 Acide oxalique (fabrication de l')

2000 Activité

2100 Elevage d'animaux et Activité agricole

2110 Animaux (Elevage d.)

2127 Tabac (Fabrication et dépôts de)

2200 Agro-alimentaires

2210 Abattage d'animaux

2231 Vins (préparation, conditionnement de)

2300 Textiles, Cuirs et Peaux

2310 Blanchisseries, laveries de linge

2324 Tanneries, mégisseries, et toute opération de préparation des cuirs et peaux

2400 Bois- Papier- Carton- Imprimerie

2410 Bois ou matériaux combustibles analogues (ateliers où l'on travaille le)

2418 Pâte à papier (préparation de la)

2500 Matériaux, Minerais et Métaux

2510 Abrasives (emploi de matières)

2542 Verre (travail chimique du)

2600 Chimie, Caoutchouc

2610 Accumulateurs et piles (fabrication d') contenant du plomb, du cadmium ou du mercure

2628 Traitement et développement des surfaces photosensibles à base argentique

2700 Déchets et Traitements des eaux

2710 Bains et boues provenant du dérochage des métaux (traitement des) par l'acide nitrique

2724 Station de dessalement d'eau de mer

2800 Aquaculture et Pêche

2810 Algoculture d'eau douce (mode extensif)

2821 Transformation des produits de la pêche (conservation, salaison, etc.)

2900 Divers

2910 Accumulateurs (ateliers de charge d.)

2922 Vernis, peinture, apprêt, colle, enduit, etc... (application, cuisson, séchage de) sur support quelconque (métal, bois, plastique, cuir, papier, textile, ...)

ANNEXE 2 : Dossier préliminaire et final "HSE"

I. Dossier Préliminaire HSE

- **Général**
 - Description détaillée des installations ;
 - Process Flow Diagram (PFD) ;
 - P&ID.
- **Etude de risque**
 - HAZID (Hazard Identification) ;
 - HAZOP ;
 - SIL (Safety Integrity Level) ;
 - QRA (Quantative Risk Assesment) ;
 - Feu, explosion et dispersion de gaz ;
 - Etude de la performance et de la fiabilité du système de détection de feu et de gaz (Fire and Gas System - FGS) ;
 - Etude de bruit ;
 - Et/ou toute autre étude de risques réalisée dans le cadre du projet).
- **Spécification, note de calcul et plans**
 - Plan de masse, distances de sécurité entre les équipements de l'installation ;
 - Arrêt d'urgence et dépressurisation ;
 - Système de Blowdown et de torchage ;
 - Protection passive : Ignifugeage, calorifugeage, confinement (cuvette de rétention);
 - Drainage ouvert et fermé ;
 - Protection contre la surpression ;
 - Classification des zones dangereuses ;
 - Produits chimiques : inventaire des produits chimiques (quantité, état et emplacement) et leurs FDS ;
 - HVAC ;
 - Mise à la terre et protection contre la foudre ;
 - Protection cathodique ;
 - FGS ;
 - Demande en eau incendie, réseau d'eau anti-incendie et les pompes d'eau anti-incendie ;

- Système à mousse et demande en émulseur ;
- Système d'extinction automatique ou manuel : (sprinklers, système déluge, brouillard à eau, gaz inerte, système CO₂, système poudre sèche, etc.) ;
- Equipements portables de la lutte contre l'incendie (extincteurs) ;
- Moyens mobiles d'intervention ;
- EPC/EPI (Equipements de Protection Collectives et Individuelles) ;
- Station de traitement des eaux huileuses ;
- Systèmes de suivi des rejets liquides et des émissions atmosphériques ;
- Système d'alerte et de signalisation.
- **Plan organisationnel et procédure**
 - Plan de prévention HSE pour la phase de construction ;
 - PII (Plan d'Intervention Interne) ;
 - SGS ;
 - PGE ;
 - Procédure de gestion des modifications pendant les phases de projet.

II. Dossier Final HSE

- Mise à jour du dossier préliminaire HSE ;
- Mise à jour des plans organisationnels : PII, SGS, PGE ;
- Plan de formation du personnel relatif aux procédures de démarrage et procédures d'urgence ;
- Procédures des essais des systèmes de sécurité (ESD, FGS, système à eau et système d'extinction automatique) ;
- Procédure de démarrage conjointe entre le MO et l'entrepreneur définissant l'organigramme de l'équipe de démarrage, les tâches et responsabilités de chacun, ainsi que la chronologie de toutes les étapes de démarrage ;
- Manuel opératoire et manuel de maintenance des systèmes de protection anti-incendie ;
- Plan de maintenance des systèmes de sécurité critiques :
 - Gestion des boucles FIS / SIS (Safety Instrumented System) ;
 - FGS ;
 - Protections passives ;
 - Equipement électriques ATEX ;
 - Soupape de sécurité.
- PV (Procès-Verbaux) et certificats :
 - Rapports FAT (Factory Acceptance Test) et PV des essais réalisés sur site des systèmes de sécurité (ESD, FGS, système à eau et système d'extinction automatique) ;
 - PV de mesure du potentiel de la protection cathodique ;
 - PV de mesure de la résistance du système de mise à la terre ;
 - Soupapes de sécurité :
 - Certificats de conformité du banc de tarage ;
 - PV de tarage des soupapes.
 - Certificats du matériel et équipements électriques ATEX ;

- Boucles SIF/SIS :
 - Certificats SIL des boucles SIF/SIS ;
 - PV de test des vannes ESD /BDV ;
 - Certificat des vannes de sécurité fire safe requirements.
- Rapport FAT des pompes anti-incendie ;
- Système d'ignifugeage :
 - PV d'achèvement mécanique ;
 - Certificats des produits utilisés ;
 - Certificat de compétence des agents intervenant dans l'application des produits.
- Certificats prêts pour le démarrage désignés RFSU (Ready For Start Up) ;
- Certificats de formation des équipes aux équipements et aux systèmes spécifiques.

ANNEXE 3 : Techniques de CND

TECHNIQUES	PRINCIPE	REMARQUES
Examen visuel	Vérification de l'aspect global On observe le respect des dimensions et de l'état macroscopique des surfaces à l'œil nu ou avec des instruments type loupe.	C'est le contrôle le plus "simple", cependant il nécessite une connaissance de l'équipement très étendue pour être efficace.
Ultrasons : <ul style="list-style-type: none"> • ondes longitudinales avec palpeur droit pour la mesure des épaisseurs de parois et la recherche des défauts plans parallèles à la paroi • ondes transversales avec palpeur d'angle pour la recherche de défauts à cœur (de soudures, de compacité, de fissures...) • ondes avec palpeurs focalisé qui permette d'obtenir une sensibilité optimale à une distance prédéterminée de la paroi 	Examen interne et mesure d'épaisseur On transmet à la structure des ondes sonores de très hautes fréquences (ultrasons) dont on analyse la réflexion dans le matériau. Les défauts internes sont mis en évidence par une réflexion modifiée et une diffraction des ondes.	Bien adapté pour les aciers Non adapté pour fontes, les alliages cuivreux et les aciers alliés Difficulté liée à l'interprétation des signaux issus d'une anomalie de propagation Détection de défauts de très faibles dimensions et atteinte de zones non accessibles par d'autres méthodes
Magnétoscopie	Contrôle de la qualité de surface : On applique une poudre ferromagnétique sur la surface à tester avant de la soumettre à un champ magnétique. Les défauts de surface débouchants, colmatés ou sous-jacents sont mis en évidence par l'apparition d'un champ de fuite.	Détection de fissures émergentes ou sous-jacents pour des matériaux ferromagnétiques Respect du temps d'aimantation

ANNEXE 3 : Techniques de CND

<p>Ressuage</p>	<p>Contrôle de la qualité de surface</p> <p>Un liquide pénétrant est appliqué en surface puis celle-ci est nettoyée. On applique ensuite un révélateur qui met en évidence les discontinuités débouchantes (où le liquide a pénétré) dans la surface.</p>	<p>Détection de fissures émergentes, de piqûres, de décollements, de décohésions</p> <p>Préparation de la surface</p>
<p>Emission acoustique</p>	<p>Examen interne et mesure d'épaisseur</p> <p>Ondes US produites localement au sein d'un matériau qui libère une énergie en forme d'ondes dont une partie en émission acoustique.</p> <p>On "écoute" la structure au moment de la mise en charge (i.e.: mise sous pression). Les défauts évolutifs (évolution de fissure, déformation plastique locale...) génèrent des émissions acoustiques qui permettent de les localiser et de les qualifier.</p>	<p>Recherche de défauts actifs : fissures évolutives, corrosion active</p> <p>Mise en œuvre facile sans accès à l'intérieur de l'équipement</p> <p>Contrôle partiel ou global d'une structure</p> <p>Permet de localiser des sources émissives de faible intensité</p> <p>Permet d'effectuer un suivi de l'évolution des défauts</p>
<p>Courants de Foucault</p>	<p>Induction électromagnétique</p> <p>On soumet une pièce métallique à l'action d'un champ alternatif créé par une bobine parcourue par un courant sinusoïdal. Ce champ alternatif donne naissance à des courants induits dit "courant de Foucault". Lorsque le parcours des courants de Foucault est modifié par la présence d'une discontinuité physique (structure) ou géométrique (perte d'épaisseur, défaut de surface) de la pièce contrôlée, l'impédance de la bobine inductrice varie.</p> <p>Les différentes discontinuités ou défauts : trou, piqûre, fissure, perte d'épaisseur,... ; provoquent des perturbations différentes qui peuvent être caractérisées par comparaisons à des défauts "étalons".</p>	<p>Matériaux conducteurs magnétiques ou non</p> <p>Détection de défauts de surface et sous cutanés</p>
<p>Radiographie</p>	<p>Examen interne</p> <p>On contrôle la compacité de la structure à l'aide de rayon X ou gamma. Les défauts internes tels que les soufflures, les porosités ou les fissures internes sont ainsi révélés.</p> <p>Le rayonnement traverse la pièce à contrôler. Son intensité est modifiée par les défauts rencontrés sur son passage. Le rayonnement émergent est recueilli sur un film photographique ou au travers d'un système à images numériques.</p>	<p>Diamètre jusqu'à 8 pouces</p> <p>A travers le calorifuge – frigorifuge</p> <p>Applicable sur circuit chaud (au-dessus de 200 °C)</p> <p>Tous les types de défauts sont détectables, à l'exception des défauts plans perpendiculaires à l'axe du rayonnement qui ne modifient pas l'image photographique</p>

ANNEXE 3 : Techniques de CND

Contrôles dimensionnels 2D ou 3D	Vérification la conformité des caractéristiques dimensionnelles et géométriques des produits par rapport à des documents de définition (plans, spécifications, gammes).	La numérisation 2D ou 3D optique permet d'obtenir un nuage de points denses et ordonnés de la surface de la pièce à contrôler. Le calibrage en usine du capteur ainsi que les vérifications sur étalons géométriques permettent une bonne estimation de l'incertitude sur les points mesurés.
Métallographie répliquée	La technique consiste à tout d'abord polir la zone à examiner, l'attaquer pour générer un microrelief, lui appliquer un microfilm pour capter le relief, et, enfin, prélever le film et l'examiner au microscope. Apparaît alors la microstructure de la zone étudiée.	L'examen de la structure des métaux aux microscopes optique et électronique permet la mise en évidence d'anomalies structurales ainsi que le contrôle de traitements superficiels, de l'état de traitements thermiques, de l'homogénéité de la structure, l'identification des composés ou phases, etc. Cette méthode permet d'évaluer l'état de la structure du métal et d'analyser son évolution dans son environnement.
Ondes US guidées (ondes de Lamb)	Analyse des réflexions provenant des défauts (pertes de métal)	Inspection tuyauterie à longue distance Propagation stoppée par les brides, les coudes (zones d'ombre) Ne détecte pas dans les zones d'ombre Détection mais pas dimensionnement
Technique Multibonds LORUS (Long Range UltraSonics)	Réflexion d'ondes US transversales / saturation acoustique de l'épaisseur à contrôler	Recherche de corrosion dans les zones inaccessibles Détection limitée à 1 m Pas de discrimination entre défauts internes et externes Pas de détection de corrosions de type piqûres Pas de mesure d'épaisseur résiduelle Méthode globale nécessitant des mesures plus précises dans les zones corrodées

ANNEXE 3 : Techniques de CND

<p>Contrôle US "FLOORSCAN"</p>	<p>Méthode basé sur la fuite de flux magnétique</p>	<p>Limité aux matériaux ferromagnétiques</p> <p>Nécessite un fond de bac propre et sablé</p> <p>Contrôle pas possibles en cas de revêtement</p> <p>Les zones trouvées corrodées nécessitent des contrôles US plus précis</p> <p>Méthode rapide : 350 m² /jour (équivalent à un bac de diamètre 21 m)</p>
<p>Méthode SLOFEC (Saturation LOw Frequency Eddy Current)</p>	<p>Principe des courants de Foucault et magnétoscopie</p>	<p>Contrôle de fond de bac revêtu</p> <p>Possible sur matériaux ferromagnétiques ou non</p> <p>Pas de préparation de surface nécessaire</p>
<p>Méthode INCOTEST (Insulated Component TEST)</p>	<p>Principe des courants de Foucault pulsés (mesure de la décroissance des impulsions)</p>	<p>Mesures d'épaisseur à travers des matériaux non conducteurs et/ou non magnétiques (par exemple supports de sphère (à travers le béton ignifuge), Tuyauteries enterrées, supports de racks...)</p> <p>Contrôle rapide : jusqu'à 1000 pts/j</p> <p>Ne détecte pas la corrosion par piqûres, seulement une corrosion de type généralisé</p> <p>Pas de différenciation entre défauts internes et externes</p> <p>Nécessite la pose de la tôle de protection si acier ou acier galvanisé</p>
<p>Méthode TOFD (Time Of Flight Diffraction)</p>	<p>Méthode par US</p> <p>Diffraction des ondes aux extrémités du défaut (deux transducteurs générant une image représentant la coupe latérale d'une soudure)</p>	<p>Détection et mesures de défauts dans les soudures : permet, dans le cas de défauts hors tolérance, de faire une étude de « Fitness for service (aptitude au service) et éventuellement démontrer qu'il est acceptable</p> <p>Solution alternative à la radio pour les fortes épaisseurs (< 300 mm)</p>

ANNEXE 3 : Techniques de CND

ACFM (Alternating Current Field Measurement ou mesure du champ d'un courant alternatif)	<p>Contrôle des soudures et surfaces</p> <p>Technique électromagnétique développée à partir de mesures de chute de potentiel</p> <p>Une sonde mesure les perturbations du champ magnétique autour du défaut</p> <p>Méthode de contrôle électromagnétique capable de détecter des défauts surfaciques et de les dimensionner en termes de longueur et profondeur.</p> <p>L'application d'un courant alternatif à la surface testée provoque un champ magnétique induit. Celui-ci montre des distorsions en présence de fissure ou de défaut débouchant. Cette méthode est également appelée contrôle par courants de Foucault</p>	<p>Détection et dimensionnement en profondeur de fissures de surface dans les soudures</p> <p>Alternative aux contrôles par ressuage et par magnétoscopie</p> <p>Inspection de soudures sur matériau magnétique ou non magnétique</p> <p>Pas de préparation de surface</p>
Gammametry	Absorption des rayons gamma par les matériaux : mesures de densité sur liquides ou solides	
PMI (Positive Materials Identification)	Emission de rayons-X	Identifier / vérifier la composition d'aciers alliés
Tests d'étanchéité par traçage à l'hélium	<p>Détection de fuites</p> <p>Le fluide transporté est « marqué » par une teneur hélium fonction de plusieurs paramètres (débit, pression, profondeur d'enfouissement, nature du sol, taux de fuite minimum recherché). Le gaz est prélevé par pompage dans le sol au travers de petites perforations de 10 cm de profondeur dispersées tous les 3 à 5 m le long du parcours de la canalisation.</p>	<p>Contrôle de l'étanchéité de canalisations enterrées</p> <p>Le seuil de détection est extrêmement bas : de l'ordre du millilitre/heure</p>
Tests d'étanchéité : eau, air,...	Détection de fuites	
Tests destructifs		Utilisés exceptionnellement

ANNEXE 4 : Modèle du bilan annuel de réalisation HSE

سوناطراك



sonatrach

Exploration-Production

Division Production

Direction Régionale :

Canevas Général
BILAN
ANNUEL HSE 2020

Direction Régionale :

II.A- Volet HSE-MS

- **Actions réalisées dans le cadre du déploiement du projet HSE-MS :**

ACTIONS	TAUX D'APPLICATION	ACTIONS ET MOYENS DEPLOYES POUR L'APPLICATION	DIFFICULTES D'APPLICATION

II.B- Volet Sécurité

- **Investigation sur les accidents de travail et la gestion du retour d'expérience :**

INVESTIGATIONS EFFECTUEES DES ACCIDENTS SURVENUS	RESUME SUUCINCT DE L'EVENEMENT ACCIDENTEL	NOMBRE D'INVESTIGATIONS EFFECTUEES	ACTIONS REALISEES POUR LA LEVEE DES RESERVES	SAFETY ALERT ETABLIE

- **Mise en conformité des installations à l'issue des études de dangers, audits environnementaux, visites des risques, audits de contrôle technique des installations ARH :**

	POURCENTAGE DES RESERVES LEVEES	INTITULE DES RESERVES LEVEES	ACTIONS REALISEES POUR LA LEVEE DES RESERVES
Etude de dangers			
Audit environnemental			
Visites des risques			
Audits de contrôle technique des installations ARH			

- **Mise en conformité des installations selon le DE N°14-349 :**

INTITULE DE PROJET	PHASE DE SELECTION ET ATTRIBUTION	PHASE DE DIAGNOSTIC	PHASE DE REALISATION ET PLAN D'ACTION	ETAT D'AVANCEMENT ET OBSERVATIONS

- **Audits internes réalisés dans le domaine de sécurité :**

INTITULE D'AUDIT/ INSPECTION	DATE DE DEROULEMENT	ETAT D'AVANCEMENT

II.E- Conformité Réglementaire

- **Contrôles et vérifications réglementaires des installations et des équipements soumis :**

DESIGNATION	RESUME SUCCINCT DE L'EVENEMENT ACCIDENTEL	NOMBRE D'APPAREILS SOUMIS PROGRAMMES	NOMBRE D'APPAREILS INSPECTES	TYPE D'INSPECTION (PERIODICITE)
APG				
APV				
REEPREUVE HYDROLIQUE REGLEMENTAIRE				
BAREMAGE				
APL				
APE				

II.F- Formation & Sensibilisation

- **Formation et développement des compétences dans le domaine HSE :**

THEMES	NOMBRE D'AGENTS FORMES/ PLANIFIES

- **Sensibilisation en matière HSE**

THEMES	NOMBRE DES SESSIONS/ PLANIFIEES		NOMBRE DES PARTICIPANTS/ PLANIFIES	
	SONATRACH	SOUS-TRAITANTS	SONATRACH	SOUS-TRAITANTS

ANNEXE 5 : Article scientifique

Petroleum 6 (2020) 311-317



Contents lists available at ScienceDirect

Petroleum

journal homepage: <http://www.keaipublishing.com/en/journals/petroleum>



Contribution to the ageing control of onshore oil and gas fields

Belmazouzi Yacine^{a,b}, Djebabra Mébarek^{a,*}, Hadeif Hefaidh^{a,c}

^aLRPI Laboratory, Institute of Health and Safety - University of Bana 2, Algeria

^bLRPI Laboratory and SONATRACH Group, Exploration & Production Activity, Production Division, STAH Field, Algeria

^cLRPI Laboratory and Applied Engineering Department, Institute of Technology, University of Ouargla, Algeria



ARTICLE INFO

Keywords:

Onshore
Oil and gas
Field
Ageing
Control
Indicators
Prioritization

ABSTRACT

The ageing of the Algerian oil and gas (O&G) installations has led to many incidents. Such installations are over 30 years old (life cycle) and still in operation. To deal with this O&G crucial problem, the Algerian authorities have launched a rehabilitation and modernization schedule of these installations. Within the framework of this program, many audit operations are initiated to elaborate a general diagnosis of the works to be performed while optimizing production. In other words, industrial ageing risks shall be controlled.

In the process safety management (PSM) context, the aim of this paper is to study ageing problem of the Algerian industrial installations through proposed indicators. Their prioritization adjusted by (TOPSIS) Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution method which allows identification of ageing control solutions of Algerian onshore fields.

**DEVELOPPEMENT ET VALIDATION D'UNE APPROCHE DE DECISION
SOCIOTECHNIQUE LIEE AUX PROBLEMES D'INDUSTRIALISATION EN
ALGERIE**

RÉSUMÉ - Le Groupe Sonatrach est le géant algérien de l'industrie pétro-gazière. Sa force réside dans sa capacité à être un Groupe intégré dans l'ensemble de la chaîne de valeurs (depuis l'exploration en passant par la production jusqu'à la commercialisation).

Ses installations onshore, qui sont considérées comme des systèmes sociotechniques complexes, souffrent des problèmes de vieillissement matérialisés par la dégradation des performances de ces installations. Cette thèse de doctorat a pour objet d'étudier ce problème de vieillissement dans le but de le maîtriser. S'intégrant dans ce contexte et après avoir rappelé le phénomène du vieillissement ainsi que les approches qui le gouverne, une proposition d'une approche de maîtrise du vieillissement à base d'indicateurs est proposée dans un premier temps et dans un second temps une étude critique du référentiel "Gestion des Modifications" du Groupe Sonatrach est également présentée.

MOTS-CLES : vieillissement, installations onshore, approche à base d'indicateurs, algorithme TOPSIS, modernisation, modification, management.

**تطوير و التحقق من نهج لقرار سوسيو تقني مرتبط بمشاكل التصنيع في
الجزائر**

ملخص - مجمع سونطراك هو المهيمن الجزائري في مجال النفط والغاز أين تتجلى قوته في كونه مجمع يشمل جميع مراحل التصنيع وهذا بدءا من الاستكشاف ثم مرورا بالإنتـاج، وصولا في الأخير الى مرحلة التسويق.

منشآته الصناعية الأرضية والتي تعد كأنظمة سوسيو تقنية معقدة، تعاني من مشكل التقادم الذي يتجلى في تدهور أدائها. وعليه، رسالة الدكتوراه هاته ستركز على دراسة هذا المشكل من أجل التحكم فيه. في هذا السياق وبعد القيام بالتذكير بظاهرة التقادم و المناهج العلمية المطورة في هذا المجال، لجأنا في البداية إلى تطوير نهج مبني على المؤشرات أين ستكمن أهميته في التحكم في مشكل التقادم ثم انتقلنا بعد ذلك الى دراسة نقدية للمرجع المسمى "إدارة التعديـلات" والخاص بمجمع سونطراك.

الكلمات المفتاحية: تقادم، منشآت أرضية، نهج مبني على المؤشرات، خوارزمية طوبسيس، تحديث، تعديل، ادارة

**DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A SOCIOTECHNICAL DECISION-
MAKING APPROACH RELATED TO INDUSTRIALIZATION PROBLEMS IN
ALGERIA**

ABSTRACT - Sonatrach is the biggest Algerian Group acting in the Oil and Gas (O&G) industry. Its strength lies in its ability to integrate Group across the entire value chain (from exploration through production to marketing).

Its onshore facilities, which are being complex sociotechnical systems, suffer from ageing problems caused by performance degradation within its facilities. This Ph.D. thesis studies the ageing problem to manage it. Integrating into this context and after recalling the ageing phenomena and the approaches that govern it, we have initially proposed indicators approach to controlling ageing, then, we have criticized the Group's "Management Of Change MOC" standard.

KEYWORDS : ageing, onshore facilities, indicators approach, TOPSIS algorithm, modernization, change, management.