



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sécurité Industrielle
Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

Etudes comparatives des méthodes de sûreté de fonctionnement
: la maîtrise des risques industriels

Présenté et soutenu publiquement par :
ABDELLAOUI Mohamed Amine
AZIZ Oussama

Devant la commission du jury composée de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
MOUFOK Souad	MAA	IMSI/Univ Oran 2	Présidente
CHENNOUFI Mohamed	MCB	IMSI/Univ Oran 2	Encadreur
SERAT Fatima Zohra	MAB	IMSI/Univ Oran 2	Examinatrice

Année 2019/2020

DEDICACES

A mes chers parents,

*Qui me semblent le plus précieux, qui ont toujours cru en moi,
ainsi que ses valeurs éducatives, ses qualités humaine, leur
soutien et leurs encouragements.*

A mon cher frère Ayoub et son épouse.

A mes chères sœurs.

A mon cher binôme Oussama.

*A toutes celles et ceux qui ont participé à éveiller ma curiosité
scientifique depuis mon plus jeune âge. Que ce soit ma famille
ou encore mes enseignants tout au long de mon parcours
scolaire et qui m'ont donné l'envie de comprendre comment
fonctionnent les choses.*

Mohamed Amine

*C'est avec toute l'ardeur de mes sentiments que je dédie ce
modeste travail qui est le fruit de ma profonde reconnaissance*

à :

Mes chers parents, que dieu les garde et les protège.

*Mes chères sœurs : Nour El Houda, Imane et
Marwa.*

Mon cher binôme et frère Mohamed Amine.

Mes enseignants et mes amies.

*A tous les êtres chers dont leur soutien m'a été indispensable
et qui attendent avec impatience ma réussite,*

En espérant être à la hauteur de leurs attentes.

Oussama

REMERCIEMENTS

Cette page sera sans doute la seule que certaines personnes prendront le temps de lire, c'est-à-dire son importance... Pas de méthode miracle, pas de résultat extraordinaire ni de résumé de ce qui a été fait ou reste à faire... non, juste une pensée sincère pour toutes les personnes, qui par leur encadrement, leur confiance ou leur soutien, ayant compté dans la réalisation de ce travail !

Tout d'abord, on aimerait remercier Dieu le tout-puissant, de nous avoir donné la force et la patience de pouvoir mener ce travail à terme.

On exprime notre gratitude aux différents membres du jury qui ont accepté la lourde tâche de juger ce travail, dont Madame MOUFOK comme présidente et Madame SERAT pour son rôle d'examinatrice. On les remercie bien pour l'intérêt porté à notre travail et pour leurs précieuses et constructives remarques.

Quelques mots de remerciements sont bien peu en regard de toute l'aide qu'on a reçu pour la réalisation de cette thèse. Il y a ceux qui nous ont aidés dans les expérimentations, ceux qui nous ont encouragé pour la rédaction et ceux qui nous ont supporté.

Les premières personnes concernées par la lecture du présent manuscrit sont celles par lesquelles on aimerait débiter nos remerciements. Comment ne pas commencer par remercier notre encadreur qui nous a largement accompagnés au cours de la réalisation de ce travail. Sachez Professeur M. CHENNOUFI, Directeur Adjoint Chargé des études et des questions liées aux étudiants, qu'on a vraiment apprécié de travailler avec vous. On vous remercie pour nous avoir donné l'occasion de travailler sur un sujet passionnant et pour la confiance et le soutien que vous nous avez accordé tout au long de cette période. Nous espérons que l'avenir nous permettra de nous retrouver de nouveau dans une future recherche.

On tient à remercier vivement et à exprimer toute nos gratitude au directeur de l'unité de stockage et de distribution du carburants GALA OIL et son staff pour l'accueil et l'aide à la réalisation de notre expérimentation.

Enfin un clin d'œil à nos familles, une pensée plus particulière et très chaleureuse pour nos parents qui nous ont toujours soutenus tout au long de notre parcours et nous ont aidé à remonter le moral chaque jour. Sans leur soutien permanent et infailible, cette thèse n'aurait pas pu voir le jour. Avec toute notre estime et tout notre amour, on vous dédie ce mémoire, car ce sont votre amour et votre sacrifice qui nous ont poussés d'aller à réaliser un de nos rêves qui fut l'un des vôtres.

Nous ne voudrions surtout pas oublier de remercier très vivement nos frères et sœurs.

Il nous reste à remercier toutes nos collègues, enseignants et personnels de l'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle (IMSI) de l'Université d'Oran2.

Répertoire des abréviations

- SDF** : La sûreté De Fonctionnement
- MTBF** : Mean Time Between Failure (Temps moyen entre deux défaillances consécutives)
- MTTR** : Mean Time To Repair (Durée moyenne de réparation)
- MTTF** : Mean Time To Failure (Temps moyen de bon fonctionnement avant la première défaillance)
- MUT** : Mean Up Time (Durée moyenne de fonctionnement après réparation)
- MDT** : Mean Dawn Time (Durée moyenne d'indisponibilité)
- FMECA** : Failure Modes, Effects, And Criticality Analysis
- FMEA** : Failure Modes, And Effects Analysis
- FDMS** : Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité et Sécurité
- AFNOR** : Association Française de Normalisation
- AMDE** : Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets
- AMDEC** : Analyse des Modes de Défaillance, de Leurs Effets et de leur Criticités
- AAD** : Analyse par Arbre de Défaillance
- AAE** : Analyse par Arbre d'Evènement
- HACCP** : Hazard Analysis Critical Control Point
- HAZOP** : Hazard and Operability Studies
- APD** : Analyse Préliminaire des Dangers
- APR** : Analyse Préliminaire des Risques
- MTD** : Méthode de la Table de Décision
- MTV** : Méthode de la Table de Vérité
- MADS** : Méthodologie D'analyse de Dysfonctionnement des Systèmes
- MDF** : Méthode du Diagramme de Fiabilité
- MDS** : Méthode du Diagramme de Succès
- MOSAR** : Méthode Organisée Systémique D'analyse Du Risque
- ATEX** : Atmosphère Explosible
- CEI** : Commission Electrotechnique Internationale
- EN** : European Norm
- EPI** : Equipement de Protection Individuel
- FFP** : Filtering Facepiece Particles
- IP** : Incapacité Permanente

ISO : International Organization For Standardization (Organisation Internationale De Normalisation)

NF : Norme Française

OHSAS : Occupational Health and Safety Assessment Series

PHA :Preliminary Hazard Analysis

POI : Plant D'opération Interne

PPI : Plan Particulier D'intervention

PPRT : Plan De Prévention des Risques Technologiques

SCM : Séquence De Coupes Minimales

PCA : Plan De Continuité D'activités

GNL : Gaz Naturel Liquéfié

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié

GPL/C : Gaz de Pétrole Liquéfié/Carburant

SONATRACH : Société Nationale De Transport Et De Commercialisation Des Hydrocarbures

COVID_19 : Coronavirus Disease_2019

SARS : Syndrome Respiratoire Aigüe Sévère.

Table des figures

Figure 1.1 La fiabilité décroissante avec le temps	8
Figure 1.2 Interdépendance des paramètres fondamentaux de la sûreté de fonctionnement	10
Figure 1.3 L'IEC 61508 et ses dérivées (11).....	11
Figure 1.4 Durées des différentes phases de vie d'un système (15)	12
Figure 1.5 Période de vie d'un équipement (15)	15
Figure 1.6 Schéma fonctionnel d'un système.....	16
Figure 1.7 Schéma de structure d'un système	16
Figure 2.1 Risque : Probabilité et Gravité (26).....	19
Figure 2.2 Typologie des risques industriels (30)	22
Figure 2.3 Les principes de maîtrise des risques d'accidents majeurs (30)	24
Figure 2.4 Processus de management de risque	27
Figure 2.5 Plan de maîtrise des risques	28
Figure 3.1 Typologie d'approches d'analyse des risques	38
Figure 3.2 Mode de recherche inductif. Identique au sens de déroulement des dysfonctionnements	39
Figure 3.3 Mode de recherche déductif. Inverse au sens de déroulement des dysfonctionnements	39
Figure 3.4 Démarche de fonctionnement d'une l'AMDEC	43
Figure 4.1 Administration de l'Unité GALA OIL	48
Figure 4.2 Moyens Matériel de GALA OIL	48
Figure 4.3 GALA OIL Vue de ciel (35)	49
Figure 4.4 Les événements en haut des bacs.....	51
Figure 4.5 Cuvette de rétention	52
Figure 4.6 Accessoires des bacs	52
Figure 4.7 Trous de gauge	53
Figure 4.8 Parafoudre et mises à la terre (Poste de dépotage et Unité).....	53
Figure 4.9 Regard d'évacuation.....	54
Figure 4.10 Vannes d'intervention (Mousse + Eau).....	54
Figure 4.11 Réserve d'eau	55
Figure 1 Procédure mise en place par GALA OIL durant la pandémie COVID-19	77

Table des tableaux

Tableau 2.1 : Tableau de maladies professionnelles	23
Tableau 2.2 : Niveau de probabilité d'occurrence	29
Tableau 2.3 : Niveau de gravité	29
Tableau 3.1 : Exemple de tableau utilisable pour APR.....	41
Tableau 3.2 Exemple de présentation d'une AMDE ou AMDEC	44
Tableau 4.1 Identification des dangers au niveau de l'Unité GALA OIL	50
Tableau 4.2 Grille de criticité Probabilité / Gravité	55
Tableau 4.3 Analyse AMDEC des réservoirs de stockage	60
Tableau 4.4 Analyse APR des bacs de stockage.....	66
Tableau 4.5 Déroulement d'un scénario d'accident (Explosion d'un bac de stockage)	67

Résumé

Les travaux de recherche présentée ont porté sur la maîtrise des risques qui doivent être une partie intégrante de la gestion générale du système.

A cet égard, notre mémoire a pour ambition d'établir une étude comparative des méthodes de sûreté de fonctionnement afin d'assurer la maîtrise des risques industriels basée sur une analyse plus en moins exhaustive des risques d'un bac de stockage des carburants installé dans l'unité de stockage et de distribution du carburant GALA OIL.

En effet nous avons cadré le concept de sûreté de fonctionnement, le concept de risque et ses corollaires en les regroupant selon les liens sémantiques qui puissent exister entre eux ainsi les activités relatives à la sécurité.

En outre des méthodologies de sûreté de fonctionnement sont basées sur l'analyse des risques associées aux installations industriels afin de proposer les critères de choix d'une méthode par rapport à une autre en déterminant le dispositif de sécurité performant qui peut assurer la prévention ainsi que l'intervention en cas des dégâts. De ce fait on a utilisé les méthodes AMDEC et APR qui a permis la récapitulation des résultats et l'identification des accidents le plus probables et les plus pénalisants dans le but de diminuer les conséquences et d'obtenir un maximum de FDMS (Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité, Sécurité) d'un bac de stockage installé dans l'unité de stockage et de distribution du carburant GALA OIL.

Enfin, face à cette pandémie de COVID-19 nous avons traité l'évaluation des risques de contamination afin de décider des mesures adaptées à la continuité des activités, prenant en compte les consignes sanitaires propres à garantir la santé des salariés.

Mots clés : La sûreté de fonctionnement, La maîtrise des risques, Etude comparative des méthodes de SDF, Risque, Prévention, Intervention, AMDEC, APR, Fiabilité, disponibilité, Maintenabilité, Sécurité, Bac de stockage, COVID-19.

Abstract

The research presented concerned the control of risks which must be an integral part of the general management of the system.

In this regard, our thesis aims to establish a comparative study of dependability methods to ensure the control of industrial risks based on a more and less comprehensive analysis of the risks of a fuel storage bin installed in the storage and distribution unit of the fuel GALA OIL.

In fact, we have framed the concept of dependability, the concept of risk and its corollaries by grouping them according to the semantic links that may exist between them and the activities related to safety.

In addition, dependability methodologies are based on the analysis of the risks associated with industrial installations in order to propose the criteria for choosing one method by contribution to another by determining the high-performance safety device which can ensure prevention as well as intervention in the event of damage. As a result, the AMDEC and APR methods were used, which allowed the summary of the results and the identification of the most likely and most penalizing accidents in order to reduce the consequences and obtain a maximum of FDMS (Reliability, Availability, Maintainability, Security) of storage bin installed in the storage and distribution unit of the fuel GALA OIL.

Finally, in the face of this COVID-19 pandemic, we processed the contamination risk assessment in order to decide on measures adapted to the continuity of activities, taking into account the health instructions required to guarantee the health of employees.

Key words: dependability, control of risks, comparative study of dependability methods, risk, prevention, intervention, AMDEC, APR, Reliability, Availability, Maintainability, Security, storage bin, COVID-19.

الملخص

ركزت البحوث المقدمة على السيطرة على المخاطر التي يجب أن تكون جزءاً لا يتجزأ من الإدارة الشاملة للنظام.

وفي هذا الصدد، تهدف دراستنا إلى وضع دراسة مقارنة لأساليب السلامة التشغيلية لضمان التحكم في المخاطر الصناعية استناداً إلى تحليل أقل وأكثر شمولاً لمخاطر حاوية تخزين الوقود المثبتة في وحدة تخزين وتوزيع الوقود **.GALA OIL**.

والواقع أننا قمنا بتأطير مفهوم السلامة التشغيلية ومفهوم الخطر ونتائجها من خلال تجميعها وفقاً للروابط الدلالية التي قد توجد بينها وكذلك الأنشطة المتصلة بالأمن.

وبالإضافة إلى ذلك، تستند منهجيات السلامة التشغيلية إلى تحليل المخاطر المرتبط بالمنشآت الصناعية من أجل اقتراح معايير اختيار طريقة ما من خلال تحديد أجهزة السلامة الفعالة التي يمكن أن تضمن الوقاية وكذلك التدخل في حالة الضرر. ونتيجة لذلك، تم استخدام أساليب **AMDEC** و **APR** لتلخيص النتائج وتحديد الحوادث الأكثر احتمالاً والأكثر ضرراً من أجل الحد من العواقب والحصول على الحد الأقصى من **FDMS** (الموثوقية، التوافر، الصيانة، الأمن) على حاوية تخزين مثبتة في وحدة تخزين وتوزيع الوقود **.GALA OIL**.

أخيراً، في مواجهة وباء **COVID-19**، قمنا بتشخيص مخاطر انتقال العدوى من أجل اتخاذ قرار بشأن التدابير التي تتكيف مع استمرارية الأعمال، مع الأخذ بعين الاعتبار التعليمات الصحية الخاصة بضمان صحة الموظفين.

الكلمات المفتاحية: السلامة التشغيلية، السيطرة على المخاطر، دراسة مقارنة لأساليب السلامة التشغيلية، الخطر، الوقاية، التدخل، **AMDEC**، **APR**، الموثوقية، التوافر، الصيانة، الأمن، حاوية تخزين، وباء **COVID-19**.

Sommaire

<i>DEDICACES</i>	I
<i>REMERCIEMENTS</i>	III
<i>Répertoire des abréviations</i>	IV
<i>Table des figures</i>	VI
<i>Table des tableaux</i>	VII
<i>Résumé</i>	VIII
<i>Abstract</i>	IX
المخلص.....	X
INTRODUCTION GENERALE.....	5
CHAPITRE I Notions et Concepts de la Sûreté de Fonctionnement	7
1. Notions et Concepts de la Sûreté de Fonctionnement	7
1.1 Introduction.....	7
1.2 En regardant dans le rétroviseur.....	7
1.3 Sûreté de fonctionnement des systèmes	8
1.3.1 Définition.....	8
1.3.2 Eléments constitutifs de la sûreté de fonctionnement	8
1.3.3 Relation entre composants.....	9
1.3.4 Le but de la sûreté de fonctionnement.....	10
1.3.5 Les études de sûreté de fonctionnement.....	10
1.3.6 Normalisation.....	10
1.3.7 Métrique de la SdF.....	12
1.3.8 Démarches et méthodes d'Analyse des risques	13
1.3.9 Les défaillances.....	14
1.3.10 Analyse fonctionnelle et structurelle du système.....	15
1.3.11 Méthodes fondamentales d'une approche SdF	16
1.4 Conclusion	17
CHAPITRE II Maîtrise des Risques Industriels	18
2. Maîtrise des Risques Industriels.....	18
2.1 Introduction.....	18
2.2 Concepts et notions de bases.....	19
2.2.1 Notion du risque selon les normes	19

2.2.2	Catégories de risque	20
2.2.3	Notion de danger et phénomène dangereux.....	20
2.2.4	Notion de dommage et conséquence d'accident	20
2.2.5	Notions de gravité, de fréquence d'occurrence et d'exposition.....	21
2.2.6	Notion de sécurité.....	21
2.2.7	Maîtrise des risques	22
2.3	Typologie des risques industriels	22
2.3.1	Les risques d'accidents du travail	22
2.3.2	Les risques de maladies professionnelles	23
2.3.3	Les risques d'accidents majeurs.....	24
2.3.4	Les risques de crises	25
2.4	Démarche de gestion des risques	26
2.4.1	Caractérisation des risques	26
2.4.2	Processus de maîtrise des risques.....	26
2.5	Plan de management (maîtrise) des risques	28
2.5.1	Identification des risques	28
2.5.2	Analyse des risques (évaluation et hiérarchisation)	28
2.5.3	Traitement du risque.....	30
2.5.4	Suivi des risques.....	31
2.5.5	Contrôle des risques	32
2.5.6	Communication et enregistrement du processus de management du risque	32
2.8	Conclusion	33
CHAPITRE III La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques		34
3.	La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques	34
3.1	Introduction.....	34
3.2	Démarche pour l'analyse des risques associés aux installations industriels.....	35
3.2.1	Définition du système et des objectifs à atteindre.....	35
3.2.2	Recueil des informations indispensables à l'analyse des risques	35
3.2.3	Définition de la démarche à mettre en œuvre	36
3.2.4	La mise en œuvre de l'analyse des risques.....	37
3.3	Méthodes principales du courant de la sûreté de fonctionnement	37
3.3.1	Classifications des méthodes d'analyse des risques.....	37
3.3.2	Le sens de raisonnement.....	38
3.3.3	Panorama des méthodes d'analyse des risques	39
3.3.4	Critères de choix d'une méthode d'analyse de risque	45

3.4	Conclusion	46
CHAPITRE IV Opérationnalisation et expérimentation de terrain : Application sur les bacs de stockage.....47		
4.	Application des méthodes APR et AMDEC sur les bacs stockage de l'unité GALA OIL 47	
4.1	Introduction.....	47
4.2	Présentation de l'organisme d'accueil GALA OIL :.....	48
4.3	Application des méthodes AMDEC et APR afin d'analyser les risques liés au stockage des carburant :	51
4.3.1	Description de bac de stockage :.....	51
4.3.2	Analyse des risques par la méthode AMDEC	55
4.3.3	Analyse des risques par la méthode APR.....	60
4.3.4	Limites des méthodes rencontrées lors de son application.....	68
4.3.5	Recommandations	69
4.4	Comparaison des deux approches déterministe et probabiliste dans un processus complet d'analyse et de gestion des risques	70
4.4.1	Etape d'identification des dangers et de hiérarchisation des risques.....	70
4.4.2	Informations sur la maîtrise des risques	71
4.4.3	Quantification des scénarios choisis : calcul des conséquences	71
4.4.4	Quantification des scénarios choisis : calcul des probabilités	72
4.5	Avis globale sur l'Approche probabiliste / approche déterministe	72
4.6	Conclusion	73
CONCLUSION GENERALE.....		74
ANNEXES		75
BIBLIOGRAPHIE		81

INTRODUCTION GENERALE

La notion de risque est intimement liée à la vie quotidienne. Cette notion polysémique renvoie à des phénomènes perçus comme étant de plus en plus présents dans notre société malgré toutes les précautions que nous prenons pour «éviter». Ce paradoxe reflète l'augmentation de la complexité de nos systèmes. Peretti-Watel, dans son ouvrage sur « Société du risque » (2001 ; p. 1), l'illustre parfaitement : «*Notre société est paradoxale : de moins en moins dangereuse, mais de plus en plus risquée*». (1)

Progressivement, la société moderne a bien été forcée de reconnaître que le risque zéro n'existait pas en matière technologique. Les catastrophes ont fait émerger une culture du risque et de la sécurité industrielle et une conscience de l'impact sur l'environnement des activités industrielles. Les efforts poursuivis par les industriels et les pouvoirs publics n'ont cependant pas permis d'éviter la survenance d'accidents, même récemment, et le nombre d'incidents n'a pas considérablement baissé depuis 20 ans.

Afin d'assurer un haut niveau de fiabilité, disponibilité, maintenabilité, et sécurité (FDMS), des barrières de sécurité, des études d'analyse de risque concrètes et plus approfondies doivent être établies afin de mettre en évidence les points critiques au regard de la sécurité de ces systèmes de sécurité et aussi de déterminer les pratiques de maîtrise de leur fonctionnement optimale durant leur durée de vie. Pour cela des analyses qualitatives, semi-quantitatives et quantitatives de risque ont été développées, elles reposent sur les principes de la sûreté de fonctionnement : Une connaissance parfaite du système à analyser et son environnement est un nombre important de données obtenu par retour d'expérience ou bien par jugements d'expert.

En outre, gérer un risque est un processus itératif qui a pour objectif d'identifier, d'analyser et de réduire au maximum le risque ou comme Leroy et Signoret (1992, p. 109) (2) ont dit, la maîtrise des risques correspond au « *maintien des risques à l'intérieur de limites considérées comme acceptables* ». La gestion des risques est une des composantes fondamentales de la gestion d'un système. Elle est essentielle à la réussite des entreprises, que ce soit en terme économique ou environnemental. L'analyse des risques est une étape clé du processus de gestion des risques. Sa réalisation nécessite de mettre en œuvre une démarche structurée systématique. Cette démarche d'analyse de risques vise principalement à quantifier ou à qualifier le niveau de maîtrise des risques, en évaluant les mesures de sécurité mises en place par l'exploitant, ainsi que l'importance des dispositifs et dispositions d'exploitation, techniques, humains ou organisationnels, qui concourent à cette maîtrise.

Il existe à l'heure actuelle, de nombreuses méthodes dédiées à l'analyse des risques et il serait illusoire de vouloir les décrire toutes dans le délai. La partie a été prité dans ce mémoire de présenter quelques-unes des méthodes dont l'usage est particulièrement répandu.

A cet effet, notre mémoire a pour ambition d'établir une étude comparative des méthodes de sûreté de fonctionnement afin d'assurer la maîtrise des risques industriels basée sur une analyse plus en moins exhaustive des risques d'un bac de stockage des carburants installé dans l'unité de stockage et de distribution du carburant GALA OIL.

L'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticités (AMDEC) est considérée comme étant une méthode d'analyse qualitative des risques parmi les méthodes les plus recommandées dans l'analyse détaillée de chaque composant que ce soit mécanique ou électronique qui constitue le bac de stockage. Elle permet d'identifier les différents modes de défaillance des composants, leurs causes et leurs effets et de sélectionner les plus indésirables pour le fonctionnement du système. L'analyse préliminaire des risques (APR) est aussi, l'une des meilleures méthodes qualitative utilisées par une large variété d'industrie dans différentes étapes de réalisations de leurs projets.

Soulignons également que les méthodes présentées dans ce document sont dédiées prioritairement à l'identification des risques générés par une installation industrielle et son environnement.

Le premier et le deuxième chapitres présentent une revue de littérature de la sûreté de fonctionnement d'une manière générale, où nous suivons une démarche inductive dans la présentation des différents concepts : de fiabilité, disponibilité, maintenabilité, et sécurité vue leur importance d'une part (chapitre 1), la maîtrise des risques où on sera focalisée principalement de lever certaines ambiguïtés relatives aux activités de management des risques (appréciation, maîtrise, analyse, estimation, évaluation, etc.). Nous proposerons un processus de management des risques sous la forme d'une proposition formulée dans la norme ISO 31000 (chapitre 2).

Dans le troisième chapitre, nous étudierons les méthodes de traitement des risques. A la fin, nous allons identifier les critères de choix de la méthode adaptée pour réaliser une démarche d'analyse de risques.

Pour mettre en œuvre notre analyse, nous avons mobilisé des outils à la fois théoriques et pratiques dans le cadre d'un travail de terrain pour la démarche de maîtrise des risques industriel.

Le 4^{ème} chapitre présente l'application des méthodes sur un cas d'étude issu du secteur industriel qui a pour objectifs de présenter le système étudié (Bacs de stockage) installé dans l'unité GALA OIL étant notre cas d'étude. Nous établirons l'AMDEC par ces différentes étapes. En se basant sur l'analyse qualitative qui avait pour objectif de déterminer l'évènement redouté (le dysfonctionnement du système), par l'application d'APR qui est un préalable à l'étude fiabiliste des systèmes suite à la présentation de l'unité d'accueil et enfin un bilan comparatif des deux approches probabiliste et déterministe de la sûreté de fonctionnement suivit par un avis globale sur ces derniers.

Ce mémoire s'achèvera par une conclusion générale dans laquelle nous repositionnerons l'ensemble de nos développements en regard des objectifs initiaux de l'étude.

Des informations complémentaires aux différents chapitres sont citées dans plusieurs annexes.

CHAPITRE I

Notions et Concepts de la Sûreté de Fonctionnement

1. Notions et Concepts de la Sûreté de Fonctionnement

1.1 Introduction

Dans un contexte international extrêmement concurrentiel, les entreprises doivent maîtriser les différents outils qui leur permettent de rester compétitives et doivent s'engager dans des actions d'amélioration à tous les niveaux.

La complexité croissante des systèmes, la réduction de leurs coûts de conception et d'exploitation, leur utilisation de plus en plus importante dans la vie quotidienne font que la sûreté de fonctionnement est devenue incontournable dans le développement de tout système industriel.

La sûreté de fonctionnement (SdF) fait partie des enjeux majeurs de ces dernières années et des années à venir. Cette notion désigne à la fois un ensemble de moyens et un ensemble de résultats produits par ces moyens (3) :

- des méthodes et des outils pour caractériser et maîtriser les effets des aléas, des pannes et des erreurs (4), (5)
- la quantification des caractéristiques des systèmes pour exprimer la conformité dans le temps de leurs comportements et de leurs actions, (6),

1.2 En regardant dans le rétroviseur

Les techniques de sûreté de fonctionnement ont été développées assez tardivement en comparaison avec les autres domaines des sciences de l'ingénieur. C'est à partir des années 1940 dans le domaine de l'aéronautique que, confrontés à des défaillances dans des systèmes électroniques, des ingénieurs se sont intéressés à caractériser les défaillances d'un système en considérant la fiabilité observée du système, la fiabilité de ses composants et les liens qui pouvaient exister entre ces entités. Partant de ces premières approches probabilistes, diverses méthodes ont été mises au point afin d'analyser les risques potentiels d'un système, de recenser les éventuelles séquences d'évènements qui mènent à une défaillance du système et de quantifier sa performance en terme de fiabilité. Les études de sûreté ont pris un grand essor à partir des années 60 et 70 dans l'industrie de l'armement et dans le secteur du nucléaire où les enjeux étaient de taille. (7)

Ainsi, il apparait au milieu des années 1980 que la prise en compte des techniques de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité tend à se généraliser, d'une part, pour la maîtrise et la gestion des grands risques industriels et, d'autre part, pour la conception de matériels de grande consommation.

Après ce bref historique sur l'apparition et le développement de la science de la sûreté de fonctionnement, nous allons dans ce chapitre, définir ce qu'est la sûreté de fonctionnement

d'un système et les concepts de base associés comme la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité, le taux de défaillance d'un composant et le taux de réparation, etc..

1.3 Sûreté de fonctionnement des systèmes

La sûreté de fonctionnement est souvent appelée « la science des défaillances » ; elle inclut leur connaissance, leur évaluation, leur prévision, leur mesure et leur maîtrise. Il s'agit d'un domaine transverse qui nécessite une connaissance globale du système comme les conditions d'utilisation, les risques extérieurs, les architectures fonctionnelle et matérielle, la structure et fatigue des matériaux. Beaucoup d'avancées sont le fruit du retour d'expérience et des rapports d'analyse d'accidents. Alors de quoi s'agit-il ?

1.3.1 Définition

La sûreté de fonctionnement s'est peu à peu imposée pour décrire l'ensemble des démarches, des concepts, des méthodes convoqués pour évaluer, prévoir, traiter les risques d'un système conçu, réalisée, mis en œuvre, et maintenu par des hommes, qui ne rendrait pas les services prévus ou causerait des dommages inacceptables, et même de tenter à minimiser les conséquences des situations catastrophiques lorsqu'elles se présentent. (8)

Elle se caractérise à la fois par les études structurelles statiques et dynamiques des systèmes, du point de vue prévisionnel mais aussi opérationnel et expérimental (essais, accidents), en tenant compte des aspects probabilistes et des conséquences induites par les défaillances techniques et humaines.

1.3.2 Eléments constitutifs de la sûreté de fonctionnement

La démarche et le raisonnement de la sûreté de fonctionnement s'appuient sur des grandeurs qui seront précisées dans cette partie.

➤ Fiabilité $R(t)$

La fiabilité (Reliability en anglais) est l'aptitude d'une entité à assurer des fonctions requises dans des conditions données pendant un temps donné. On ajoute souvent : elle se mesure par la probabilité $R(t)$ que, le système E assurant ces fonctions à l'instant 0, continue à les assurer jusqu'à l'instant t sachant que le système n'est pas en panne à l'instant 0 (Fig 1.1). (9)

$$R(t) = P [E \text{ non défaillante sur } (0, t)]$$

L'aptitude contraire sera dénommée « défiabilité » : sa mesure est notée $F(t)$.

$$F(t) = 1 - R(t)$$

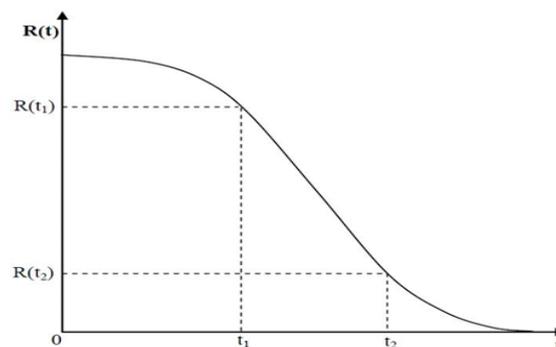


Figure 1.1 La fiabilité décroissante avec le temps

➤ **Disponibilité A(t)**

La disponibilité (Availability en anglais) est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir les fonctions requises dans les conditions données et à un instant donné. Elle se mesure par la probabilité A(t) que le système E soit en état d'assurer les fonctions requises dans les conditions spécifiées à l'instant t. (10)

$$A(t) = P [E \text{ non défaillante à l'instant } t]$$

L'aptitude contraire sera dénommée « indisponibilité » : sa mesure est notée U(t)

$$U(t) = 1 - A(t)$$

➤ **Maintenabilité M (t)**

La maintenabilité (Maintainability en anglais) est l'aptitude d'un produit à être maintenu ou rétabli, pendant un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque l'exploitation et la maintenance accomplies dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits. Elle est caractérisée par la probabilité M (t) que le système E soit en état, à l'instant t, d'accomplir ses fonctions, sachant que E était en panne à l'instant 0.

$$M(t) = P[E \text{ est réparée sur } (0, t)]$$

➤ **Sécurité**

La sécurité (Safety en anglais) est la propriété d'un produit de présenter, pour son environnement et pour lui-même, un risque déterminé en fonction des dangers potentiels inhérent à sa réalisation et à sa mise en œuvre qui ne doit pas être supérieur à un risque convenu. Elle se mesure par la probabilité S(t) qu'aucun accident n'ait été causé par le système E de sa mise en service à l'instant 0 jusqu'à l'instant t. (11)

$$S(t) = P [E \text{ évite des évènements critiques ou catastrophiques sur } (0, t)]$$

➤ **Autres composants**

• **Testabilité**

La testabilité est l'aptitude d'une entité à être déclarée défaillante dans des limites de temps spécifiées, selon des procédures prescrites et dans des conditions données.

• **Durabilité**

La durabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions données d'utilisation et de maintenance, jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint.

1.3.3 Relation entre composants

Les quatre paramètres, mentionnés ci-dessus, sont interdépendants. Cette figure (Fig1.2) met en évidence que :

- Une "mauvaise" fiabilité d'un système peut conduire à une mauvaise disponibilité en cas de nombreuses pannes, mais peut également agir sur la sécurité puisque l'occurrence d'un accident est souvent associée à une panne.
- Une maintenabilité insuffisante (dans le cas de systèmes réparables) peut compromettre la disponibilité d'un système (augmentation du nombre de pannes) mais aussi sa sécurité (augmentation du risque d'accidents)
- Un système peut être fiable et disponible sans être sécuritaire.

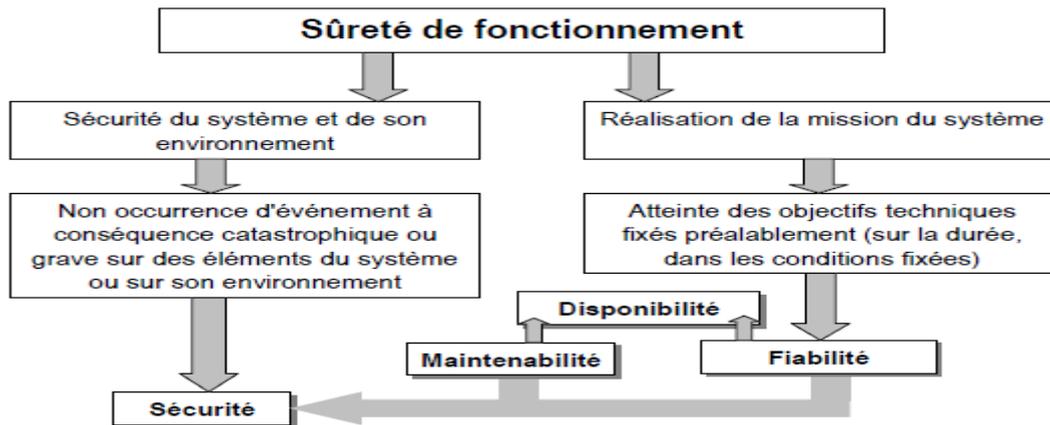


Figure 1.2 Interdépendance des paramètres fondamentaux de la sûreté de fonctionnement

1.3.4 Le but de la sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement est une notion générique qui mesure la qualité de service délivré par un système, de manière à ce que l'utilisateur ait en lui une confiance justifiée.

Cette confiance justifiée s'obtient à travers une analyse qualitative et quantitative des différentes propriétés du service délivré par le système, mesurée par les grandeurs probabilistes associées : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité. (12)

1.3.5 Les études de sûreté de fonctionnement

Les études de sûreté de fonctionnement reposent sur des méthodes généralistes établies dans ce domaine et adaptées aux spécificités. Elles constituent un préalable indispensable à la conception d'un système voulu sûr, et permet une aide à la décision en :

- comprenant et identifiant les risques ;
- optimisant l'architecture et comparant des solutions différentes ;
- optimisant les moyens de soutien en comparant des solutions ;
- justifiant les choix de façon rationnelle et démontrée ;
- vérifiant la bonne atteinte des objectifs de sûreté de fonctionnement.

Elles peuvent aussi aider à l'optimisation en :

- diminuant le nombre de pannes qui seront observées durant la vie du système ;
- optimisant économiquement la conception par le dimensionnement des équipements et des architectures ;
- rendant la maintenance plus ciblée et plus efficace.

1.3.6 Normalisation

Au-delà des normes spécifiques à un domaine, il existe des normes génériques pour la sûreté de fonctionnement.

Ces normes sont normalement émises par le comité technique 56 "Dependability" de la commission électrotechnique internationale (13).

➤ **LA NORME CEI 61508**

La norme IEC 61508 traite de la sûreté de fonctionnement des systèmes électriques, électroniques et électroniques programmables (comme l'électronique numérique et les logiciels) pour l'industrie. Régulièrement déclinée en normes spécifiques pour différents secteurs d'activité, elle est la référence en termes de safety.

Assurer la conformité d'un système à l'IEC 61508, c'est mettre en place, dès son démarrage, une méthodologie délimitée et rigoureuse dont l'objectif est la diminution des risques à un niveau acceptable, et construire une architecture qui répond à des exigences structurelles. (13)

➤ **LES NORMES DÉRIVÉES DE L'IEC 61508 : 50126, 50128 ET 50129**

Les normes dérivées de l'IEC 61508 comprennent par exemple les normes pour les procédés industriels (IEC 61511), le secteur du nucléaire (IEC61513), la sécurité des machines (IEC 62061 et ISO 13849) ou encore le transport ferroviaire (EN 50126/EN 50128/EN 50129) (Fig 1.3).

Dans ce domaine, les normes EN 5012x sont basée sur le cycle de vie système et ont été écrites afin d'adapter les exigences de la norme générique IEC 61508 aux contraintes de ce secteur. Le respect des prescriptions des normes EN 5012x suffit à assurer la conformité à la norme IEC 61508 sans qu'une évaluation complémentaire soit nécessaire. (13)



Figure 1.3 L'IEC 61508 et ses dérivées (11)

1.3.7 Métrique de la SdF

Les grandeurs présentées ci-après caractérisent des durées moyennes associées à la sûreté de fonctionnement (Fig 1.4) : (14)

- **MTBF (Mean time between failure)** : Temps moyen entre deux défaillances consécutives d'un système réparable.

$$MTBF = MDT + MUT$$

- **MTTR (Mean Time To Repair)** : Durée moyenne de réparation

$$MTTR = \int_0^{\infty} (1 - M(t)) dt$$

- **MTTF (Mean Time To Failure)** : Temps moyen de bon fonctionnement avant la première défaillance. C'est un moyen de caractériser la fiabilité.

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

- **MDT (Mean Dawn Time)** : Durée moyenne d'indisponibilité.

Cette durée correspond aux phases suivantes :

- Détection de la panne ;
- Durée de diagnostic de la panne ;
- Durée d'intervention jusqu'au début de la réparation ;
- Réparation de la panne ;
- Remise en service.

Le MDT traduit en fait la moyenne des indisponibilités consécutives à des défaillances.

- **MUT (Mean Up Time)** : Durée moyenne de fonctionnement après réparation

Ces deux derniers indicateurs ne sont pertinents que dans le cas de systèmes réparables. Leur somme $MUT+MDT$ représente le temps moyen qui sépare deux pannes consécutives du système. On le note MTBF, comme (Mean Time Between Failures).

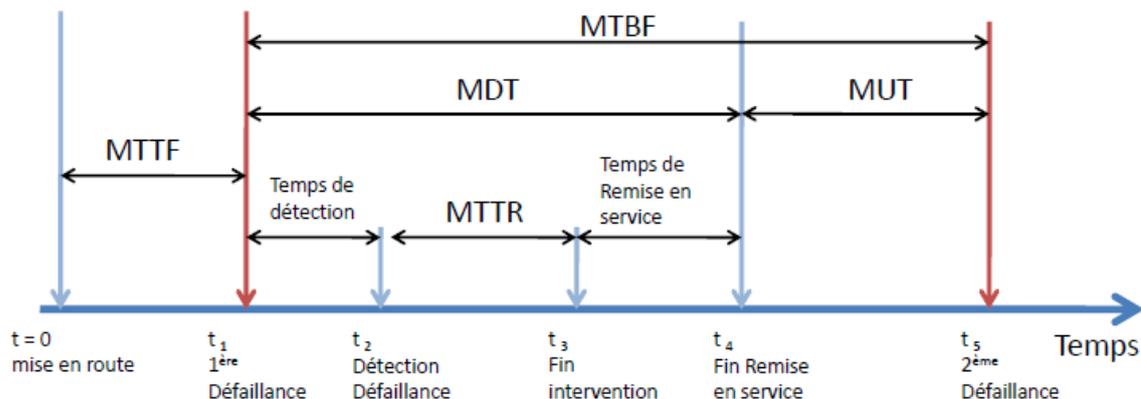


Figure 1.4 Durées des différentes phases de vie d'un système (15)

1.3.8 Démarches et méthodes d'Analyse des risques

Il est difficile de parler de l'analyse des risques sans aborder les méthodes issues du monde de sûreté de fonctionnement (SDF). (16) (17)

Elle peut être caractérisée par les concepts suivants :

➤ **Méthodes qualitatives :**

Les analyses qualitatives (pour un système dynamique) consistent à extraire du modèle les Séquences de Coupes Minimales (SCM), c'est à dire, les séquences d'évènements les plus courtes conduisant à l'échec du système.

Une analyse qualitative ne consiste pas à quantifier mais à donner une appréciation. On cherchera à déterminer avec une analyse qualitative quelles occurrences sont possibles ; par exemple une défaillance pourra avoir une probabilité d'occurrence très faible, faible, moyenne ou forte.

Ses résultats renseignent sur les caractéristiques du système : points faibles du système, fausses redondances, influence d'un élément donné sur la fiabilité du système, repérage des chemins critiques, test des méthodes d'élimination, etc...

➤ **Méthodes semi quantitatives :**

L'évaluation semi quantitative de la criticité s'applique à la catégorisation des paramètres des risques (la fréquence et la gravité), et le score finale du risque obtenu moyennant différents méthodes. (18)

➤ **Méthodes quantitatives :**

Les analyses quantitatives consistent le plus souvent à évaluer la fiabilité et/ou la disponibilité du système (ou parfois certaines valeurs temporelles ou fréquentielles, fortement liées à celles-ci). Elles caractérisent numériquement le système à analyser, en déterminant par exemple le taux de défaillance, la probabilité d'occurrence d'une défaillance, les coûts des conséquences, ... (18)

➤ **Méthodes inductives :**

Basées sur une démarche montante, elles considèrent un événement initiateur (défaillance technique, dysfonctionnement organisationnel,...) dont elles cherchent à caractériser les conséquences sur le système et son environnement. Ces approches partent donc des causes pour en déduire les conséquences. (18)

➤ **Méthodes déductives :**

La démarche est inversée puisque l'on part de l'événement indésirable, la défaillance, et l'on recherche ensuite par une approche descendante toutes les causes possibles. (18)

➤ **Méthodes dynamiques :**

Permet de prendre en compte l'évolution de la configuration des composants du système au cours du temps. (18)

➤ **Méthodes statiques :**

Cette méthode étudie un système à différents instants de son cycle de vie, c'est-à-dire pour différents états possibles, sans pour autant s'intéresser aux transitions entre ces états. (18)

1.3.9 Les défaillances

➤ Définition

Une défaillance (ou panne) est la cessation de l'aptitude d'une entité ou d'un système à accomplir une fonction requise. Elle résulte d'une ou plusieurs fautes (écart anormal avec la caractéristique désirée), ou encore anomalie de fonctionnement. (19)

Une défaillance peut être complète, partielle, brève, intermittent ou permanente. Elle peut conduire à la panne du système.

Un ensemble est défaillant si ses capacités fonctionnelles sont interrompues (panne ou arrêt volontaire par action d'un système interne de protection ou une procédure manuelle équivalente).

Il s'ensuit qu'un ensemble est défaillant s'il est considéré ou déclaré incapable d'assurer les fonctions requises par l'exploitant utilisant des critères fonctionnels simples.

➤ Les modes de défaillance

Un mode de défaillance est l'effet par lequel une défaillance est observée. Plus, précisément, il s'agit d'un des états possibles d'une entité en panne pour une fonction requise donnée.

➤ Le taux de défaillance $\lambda(t)$

C'est un taux horaire (homogène à l'inverse d'un temps) représentant la probabilité que le composant tombe en panne entre t et $t+\Delta t$, sachant qu'il a fonctionné de 0 à t . Il est défini de la manière suivante (en appelant les probabilités P). (20) (14)

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot P[\text{panne du composant entre } t \text{ et } t + \Delta t \text{ sachant qu'elle n'a pas eu lieu entre } 0 \text{ et } t]$$

D'après le théorème des probabilités conditionnelles, on a :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{P[\text{panne du composant } t \text{ et } t+\Delta t \text{ et pas de panne entre } 0 \text{ et } t]}{p[\text{panne du composant entre } t \text{ et } t+\Delta t]}$$
$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{P[\text{panne du composant } t \text{ et } t+\Delta t] - P[\text{panne du composant entre } 0 \text{ et } t]}{p[\text{panne du composant entre } t \text{ et } t+\Delta t]}$$

En introduisant la fiabilité $R(t)$ (définie au paragraphe 1.3.2.1) dans l'équation précédente, on obtient :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{[(1-R(t+\Delta t)) - (1-R(t))]}{R(t)} \text{ d'où } \lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{[R(t) - R(t+\Delta t)]}{R(t)}$$

On a ainsi :

$$\lambda(t) = - \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt}$$

Le taux de défaillance est ainsi élevé dans sa période de « jeunesse » et sa période d'usure : cela s'interprète comme les défauts d'un équipement qui sont mis en évidence dès sa mise en service (période de jeunesse), ensuite des défaillances aléatoires (vie utile), puis des défaillances du composant en fin de vie (période d'usure) (Fig 1.5).

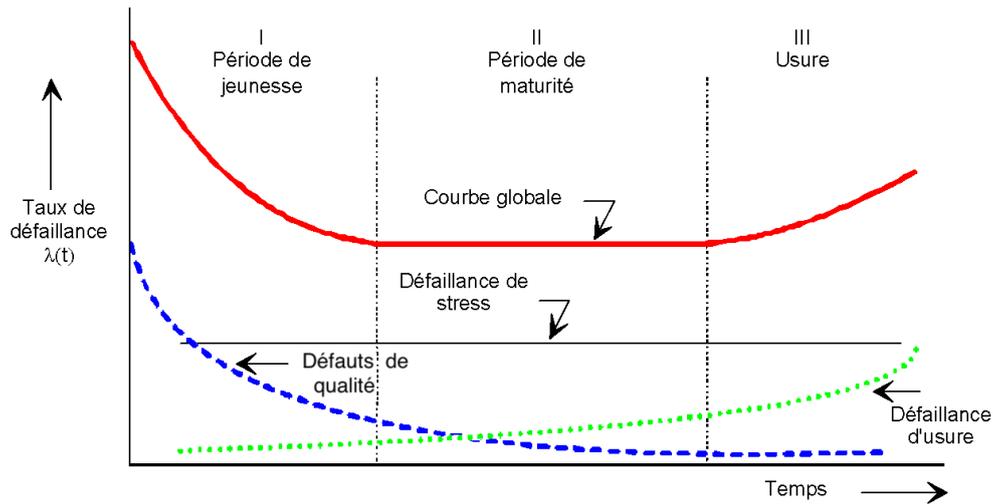


Figure 1.5 Période de vie d'un équipement (15)

➤ **Le taux de réparation $\mu(t)$**

Il est défini de manière analogue à $\mu(t)$:

$$\mu(t) \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot P[\text{composant est réparé entre } t \text{ et } t + \Delta t \text{ sachant qu'il était en panne entre } 0 \text{ et } t]$$

En introduisant la maintenabilité $M(t)$ (définie au paragraphe I.2.2.3), on démontre de la même manière que $\lambda(t)$: (20) (14)

$$\mu(t) = \frac{1}{1-M(t)} \cdot \frac{dM(t)}{dt}$$

➤ **Le taux de défaillance à la sollicitation**

La fonction d'un composant peut s'étendre sur une durée dite de fonctionnement. Dans ce cas, les défaillances du composant sont décrites par le taux de défaillance $\lambda(t)$. Mais la fonction à assurer peut être « ponctuelle », comme un système de protection qui agit lorsqu'un événement dangereux se déroule. Dans ce cas, c'est un taux de défaillance à la sollicitation $\gamma(t)$ qui caractérise ce type de défaillance « ponctuelle ». Il est défini comme la probabilité que le composant tombe en panne lorsqu'il est sollicité. Ce taux peut s'exprimer sous la forme d'un taux de défaillance : (14) (20)

$$\lambda(t) = \gamma(t) \cdot P[\text{le composant est sollicité à } t]$$

1.3.10 Analyse fonctionnelle et structurelle du système

➤ **Analyse fonctionnelle du système**

L'analyse fonctionnelle a pour but de caractériser le fonctionnement du système. On identifie ainsi les composants du système, leur rôle ainsi que les contraintes de fonctionnement. Les différentes configurations que peut prendre le système sont répertoriées (modes fonctionnement normaux, mode de secours, mode pour la maintenance préventive,) (Fig1.6).

Les méthodes d'analyse fonctionnelle permettent de :

- Décrire le besoin d'un utilisateur en termes de fonctions,

- Décrire les choix technologiques que l'on impose au concepteur, en termes de contraintes. Les contraintes peuvent venir de l'environnement, de la technologie, du marché, de la situation et des choix de l'entreprise ou de l'organisme ;
- D'initialiser l'optimisation du produit du point de vue coût que du point de vue fiabilité. (17)

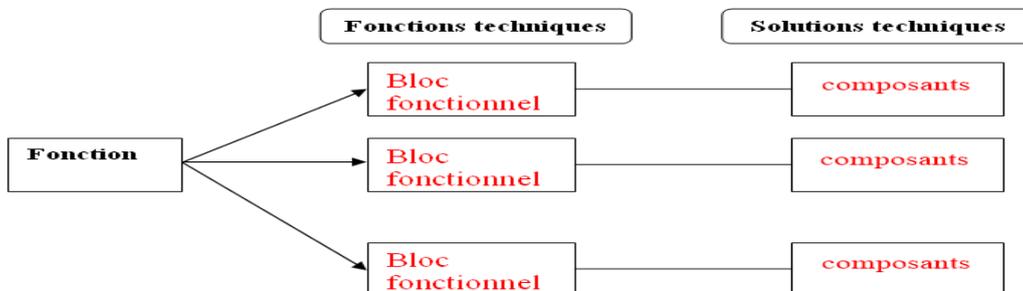


Figure 1.6 Schéma fonctionnel d'un système

➤ Analyse structurelle du système

L'analyse structurelle d'un système consiste à décrire les composants du système et les relations qui existent entre eux (Fig 1.7) (21).

La structure d'un système doit être prise en compte pour les analyses de sûreté de fonctionnement.

L'analyse structurelle permet de répondre aux questions :

- De quoi est composé le système ?
- Comment est organisé le système ?

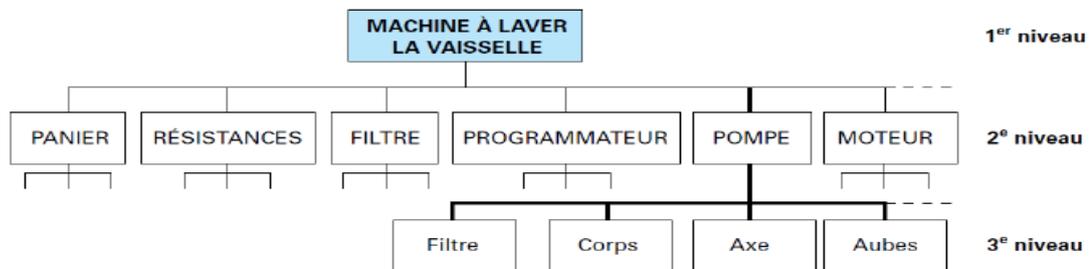


Figure 1.7 Schéma de structure d'un système

1.3.11 Méthodes fondamentales d'une approche SdF

Les méthodes (22) qui décrivent des liens causes/conséquences partent des causes pour en déduire les conséquences, on les dit inductives, ou partent des conséquences pour remonter aux causes, on les dit déductives. L'un est exclusif de l'autre, mais une approche par une méthode inductive est judicieusement complétée par une approche déductive et réciproquement.

Il n'y a pas de recherche de quantification sans analyse qualitative. Par contre, il peut y avoir une analyse qualitative sans quantification.

L'objectif de la présentation des méthodes et démarches est de les caractériser rapidement et de les situer les unes par rapport aux autres.

Quelques-unes des méthodes les plus fréquemment utilisées sont :

- l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) ;
- l'Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leurs Criticité (AMDEC) ;
- l'Analyse des risques sur schémas type HAZOP ;
- la méthode « What-if ? » qui est une adaptation de la méthode HAZOP ;
- l'Analyse par arbre de défaillances ;
- l'Analyse par arbre d'événements
- l'Analyse par Nœud papillon.

Ces méthodes prises individuellement ou de façon combinée permettent le plus souvent de répondre aux objectifs d'une analyse des risques portant sur un procédé ou une installation.

1.4 Conclusion

Après un tour d'horizon sur l'historique de la sûreté de fonctionnement, nous avons passé en revue de littérature sur l'analyse par sûreté de fonctionnement, une discipline de plus en plus utilisée dans les systèmes industriels pour des questions de contrôle de sécurité, d'amélioration de la disponibilité et de garantie de la fiabilité en tenant en considération la notion du coût.

La Sûreté de Fonctionnement représente pour des systèmes opérationnels ou en cours de conception, un des leviers importants pour réduire les coûts de maîtrise tout en contribuant de façon significative à des gains de productivité des biens ou des services.

Ces dernières années la sûreté de fonctionnement s'est dotée de multiples méthodes qui permettent le diagnostic et le contrôle de la fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité des systèmes.

Mais avant de présenter quelques méthodes jugées utiles pour notre travail parmi ces différentes méthodes. Il a été nécessaire de passer par les notions de base de la sûreté de fonctionnement que nous avons présenté, à savoir ; les concepts de la fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité. Par la suite, une métrique de sûreté de fonctionnement a été abordée, elle représente les différentes phases par les quelles un composant passe, ainsi que le taux de défaillance, de réparations et le taux de défaillance à la sollicitation.

Nous avons aussi, approché à des méthodes qui sont utilisées dans chaque étape du cycle de développement pour analyser la fiabilité des systèmes. Une classification de ces méthodes par rapport à chaque phase du cycle a montré que les méthodes utilisées dans les étapes descendantes du cycle de développement sont plutôt qualitatives, alors que dans les étapes montantes elles sont en plus, quantitatives.

Le deuxième chapitre sera consacré à la maîtrise des risques industriels, nous allons s'intéresser aux démarches et outils de management des risques.

CHAPITRE II

Maîtrise des Risques Industriels

2. Maîtrise des Risques Industriels

2.1 Introduction

Le zéro défaut ou le risque zéro n'existe malheureusement pas pour les activités industrielles à cause de l'occurrence de défaillance humaines et matérielles.

Toutefois, pour tenter de réduire les risques à un niveau le plus faible possible et acceptable, des méthodes, des techniques et des outils scientifiques ont été développés pour évaluer les risques potentiels, prévoir l'occurrence des faiblesses et tenter de minimiser les conséquences des situations catastrophiques lorsqu'elles se produisent.

Le management des risques est un processus intégrant plusieurs activités essentielles pour la sécurité. Encore une fois ces dernières sont nuancées, et il se trouve que les termes management des risques et maîtrisé des risques sont employés pour désigner la même étude. Il en est même pour évaluation et estimation voire aussi appréciation des risques.

Au cours de ce chapitre nous allons nous focaliser sur la maîtrise des risques industriels.

Dans une première partie nous présenterons les différents concepts associés à la sécurité en regroupant les concepts en sous-ensembles ayant une forte dépendance causale, à l'image de danger et phénomène dangereux ou bien dommage et conséquence.

Dans un deuxième temps nous détaillerons la maîtrise des risques et ; nous essayerons aussi de lever certaines ambiguïtés relatives au management des risques, en vue d'une meilleure compréhension.

Pour terminer, nous avons jugé important de proposer une structure globale de processus de management des risques en s'inspirant essentiellement des normes.

2.2 Concepts et notions de bases

2.2.1 Notion du risque selon les normes

Tout comme son étymologie, la notion « risque » présente plusieurs définitions .Sa signification diffère d'une personne à l'autre et d'une organisation à l'autre. Et c'est ce que nous voyons à travers différentes définitions selon les normes suivantes :

L'ISO nous donne plusieurs définitions presque identique du risque. :

- ISO 31000 1999 : « Le risque est la combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité »
- ISO 31000 2015 : « Le risque est l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs » (23)
- ISO 14971 : « le risque est la combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité ». (24)

L'association française de normalisation (AFNOR) : « le risque est la combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences ».

Il est défini par la norme OHSAS 18001 comme « Combinaison de la probabilité et de la (les) conséquence(s) de la survenue d'un événement dangereux spécifié ». (25)

La norme européenne (NF EN 292 -1) : « le risque est la combinaison de la probabilité et de la gravité d'une lésion physique ou d'une atteinte à la santé pouvant survenir dans une situation dangereuse ».

Selon la directive SEVESO : « le risque est considéré comme la probabilité qu'un effet spécifique se produit dans une période précise ou dans des circonstances déterminées ».

Toutes les définitions suscitées reprennent les mêmes mots. Nous concluons que ces définitions se convergent vers une vision unique du risque qui peut être résumée dans trois mots-clés qui sont gravité, probabilité d'occurrence et l'acceptabilité (Fig 2.1).

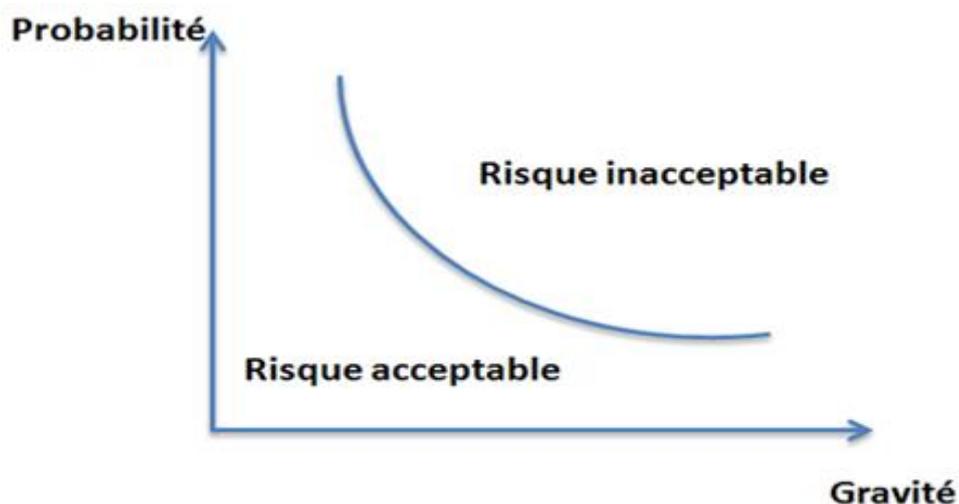


Figure 2.1 Risque : Probabilité et Gravité (26)

2.2.2 Catégories de risque

Le risque fait l'objet de plusieurs classifications selon de multiples paramètres, à savoir les mécanismes d'apparition (physique, chimique, électrique...), le degré de gravité ou de la probabilité d'occurrence.

Nous présenterons dans ce qui suit une classification selon la nature. Cette classification nous permet de regrouper les risques observés selon le milieu dans lesquels ils se manifestent.

Les auteurs distinguent pour cette classification plusieurs types de risque : bancaire, politique, urbain, militaire et bien d'autres. Mais nous nous limiterons dans le développement suivant aux trois types qui se rapportent au domaine industriel à savoir les risques naturel, les risques technologique et les risques professionnels.

2.2.3 Notion de danger et phénomène dangereux

➤ Danger

Le danger est le concept le plus important dans la science de danger. Comprendre la phénoménologie lui est propre nécessite le recours aux sciences fondamentales ce qui nous permettra la maîtrise du processus de danger et le mécanisme d'apparitions des événements nos souhaités. Dans ce qui suit nous proposons les définitions établies par des instances de normalisation.

Selon la norme, « le danger désigne une nuisance potentielle pouvant porter atteinte aux personnes, aux biens (détérioration ou destruction) ou à l'environnement ». (27)

Le référentiel OHSAS 18001 définit le danger comme étant : « une source ou une situation pouvant nuire par blessure ou atteinte à la santé, dommage à la propriété et à l'environnement du lieu de travail ou une combinaison de ces éléments ». (25)

➤ Phénomène dangereux

Plusieurs définitions proposées par les organismes de normalisation reprennent la même définition que celle de danger pour le phénomène dangereux. Mais notons que le phénomène dangereux peut se distinguer du danger lui-même par la manifestation, le danger est par définition une propriété intrinsèque de la matière à provoquer un dommage même si le dommage n'est pas provoqué, le danger reste présent.

Le phénomène dangereux est uniquement la manifestation de danger donc l'on parle de phénomène dangereux que devant une matière ou situation dont le danger est déjà manifeste. Ce concept est très ambigu et peut être interprété dans plusieurs cas comme risque et danger.

2.2.4 Notion de dommage et conséquence d'accident

➤ Dommage

Le dictionnaire Larousse définit le dommage comme « préjudice ou dégât causé à quelqu'un, à quelque chose ». Le dommage est un préjudice causé par un système à son environnement passif conduisant à une diminution de l'intégrité physique des personnes ou de la valeur initiale des biens ou des équipements.

L'ISO dans sa série de norme 14000 définit le dommage comme suit : « Blessure physique ou une atteinte à la santé des personnes ou dégât causé aux biens ou à l'environnement ».

Il existe trois types de dommages :

- Le dommage corporel ;
- Le dommage matériel ;
- Le dommage moral.

➤ **Conséquence**

La conséquence est un concept primordial dans la science de danger. Elle est définie par l'ISO comme : « Effet d'un événement affectant les objectifs. Une conséquence peut être certaine ou incertaine et peut avoir des effets positifs ou négatifs sur l'atteinte des objectifs. Les conséquences peuvent être exprimées de façon qualitative ou quantitative. Des conséquences initiales peuvent déclencher des réactions en chaîne ». (23)

2.2.5 Notions de gravité, de fréquence d'occurrence et d'exposition

➤ **Gravité**

Le terme de gravité se dit de l'importance des choses. C'est le caractère de ce qui est important, de ce qui ne peut être considéré avec légèreté, de ce qui peut avoir des suites fâcheuses. La gravité caractérise globalement l'ensemble des conséquences parmi différentes classes d'importance. Cette classification est effectuée généralement par des experts. Dans le domaine du risque professionnel, la gravité concerne essentiellement les préjudices portés à l'homme.

➤ **Fréquence d'occurrence**

La fréquence d'occurrence d'un événement est la mesure du nombre moyen d'occurrences attendues en un laps de temps donné dans des conditions connues. Cette fréquence est estimée sur une période de temps donnée (année, jour, heure, etc.).

➤ **Exposition**

La notion d'exposition en situation dangereuse a été définie par la norme européenne EN 292 comme : « Situation dans laquelle une personne est exposée à un ou des phénomènes dangereux ». (28) Le facteur d'exposition est estimé en fonction des besoins d'accès à la zone dangereuse, de la nature d'accès, du temps passé dans la zone dangereuse, du nombre de personnes demandant l'accès et de la fréquence d'accès.

2.2.6 Notion de sécurité

La sécurité peut être vue comme la tranquillité d'esprit inspirée par la confiance, par le sentiment de n'être pas menacé. Elle est en général associée à l'absence de risque inacceptable. À ce titre et en suivant le guide ISO/CEI 73, la sécurité est « l'absence de risque inacceptable, de blessure ou d'atteinte à la santé des personnes. Directement ou indirectement, résultant d'un dommage au matériel ou à l'environnement ». (29)

À l'instar de ce qui est fait pour la fiabilité et la disponibilité dans diverses normes, la sécurité d'un système peut être définie en terme d'aptitude : « la sécurité d'un système est son aptitude à fonctionner ou à dysfonctionner sans engendrer d'évènement redouté à l'encontre de lui-même et de son environnement, notamment humain ».

2.2.7 Maîtrise des risques

L'ISO 31000 définit la maîtrise des risques d'une manière générale comme étant : « L'ensemble des activités coordonnées dans le but de diriger et piloter un organisme vis-à-vis du risque visant à les ramener sous le seuil d'acceptabilité ». (23)

2.3 Typologie des risques industriels

Généralement, trois types de risque sont associés à l'industrie : les risques d'accident de travail, les risques de maladies professionnelles et les risques d'accidents majeurs. Il nous semble important d'ajouter un quatrième type de risque : les risques de crises (Fig 2.2).

Dans notre domaine de recherche ces types de risque sont au cœur de la sécurité. De manière non exhaustive, nous allons aborder chacune de ces catégories de risque ainsi que leur maîtrise.

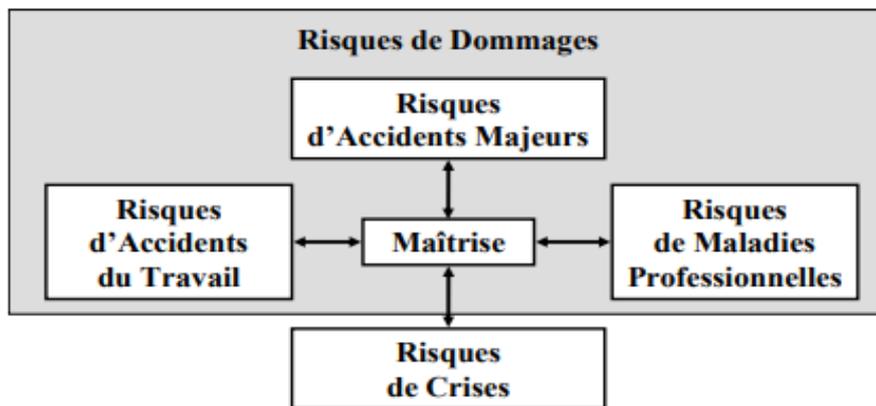


Figure 2.2 Typologie des risques industriels (30)

2.3.1 Les risques d'accidents du travail

La notion de l'accident du travail est défini selon les normes comme « l'accident survenu par le fait ou à l'occasion du travail à toute personne salariée ou travaillant à quelque titre que ce soit ou en quelque lieu que ce soit, pour un ou plusieurs employeurs ou chefs d'entreprises ».

Les risques d'accidents du travail sont généralement les mieux connus car ce sont les plus fréquents au sein des établissements industriels. Et par extension la possibilité de survenue d'un accident.

Pour qu'il y ait accident de travail, deux conditions doivent être remplies :

- Il faut qu'il y ait un fait ayant entraîné une lésion immédiate ou différée ; que cet accident survienne à l'occasion ou par le fait du travail ;
- L'accident survenu pendant et sur le lieu de travail.

On distingue :

- Les accidents sans arrêt de travail ;
- Les accidents avec arrêt de travail ;
- Les accidents avec incapacité permanente (IP) ;

- Les accidents mortels.

La maîtrise des accidents du travail doit être associée à une démarche d'évaluation des risques au poste de travail car nous nous intéressons aux risques pouvant avoir des conséquences à l'échelle d'un salarié.

Il est obligé de mettre en place les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs.

Ces mesures comprennent :

- **Retour d'expérience sur les accidents**
- **L'évaluation des risques :**
- **Cartographie des risques :** L'objectif de cette partie est double. D'une part, proposer pour le décideur, une cartographie des risques de ses ateliers, et d'autre part être un outil d'aide à la décision pour les actions à réaliser ;
- **Hiérarchisation des risques :**
- **Mesures correctives :** Les mesures correctives qui peuvent être mises en place sont de trois types : techniques, organisationnelles et humaines ;
- **Plan d'action**
- **Contrôle et réévaluation périodique.**

2.3.2 Les risques de maladies professionnelles

Une maladie professionnelle est un état pathologique résultant de l'exposition habituelle à une nuisance (physique, chimique, biologique...) déterminée au cours du travail.

Les risques de maladies professionnelles peuvent donc être définis comme la possibilité d'apparition chez un individu d'une maladie désignée dans un tableau de maladies professionnelles et contractée dans les conditions mentionnées à ce tableau (Tab 2.1).

Affectations péri-articulaires provoquées par certains gestes au travail		
Date de création :		Dernier mise à jour :
Désignations des maladies	Délai de prise en charge	Liste limitative des travaux susceptibles de provoquer ces maladies

Tableau 2.1 : Tableau de maladies professionnelles

Nous n'allons peu ou pas parler de maîtrise mais de prévention concernant les maladies professionnelles. Non pas que le terme ne puisse être employé mais bien pour connoter la démarche qui est une démarche de prévention. Si l'on cherche à limiter (mitiger) le risque de maladie professionnelle, on s'aperçoit rapidement que des actions de protection ne sont pas compatibles avec l'éthique. On cherchera donc à prévenir l'apparition de maladies professionnelles même si le problème est fort complexe.

2.3.3 Les risques d'accidents majeurs

L'accident majeur est un événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion de caractère majeur, en relation avec un développement incontrôlé, d'une activité industrielle, entraînant un danger grave immédiat ou différé, pour l'homme, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement et/ou pour l'environnement, et mettant en jeu une ou plusieurs substances dangereuses. (30)

L'explication des accidents majeurs n'est pas une tâche simple, bien souvent se pose un problème de réductionnisme, dans le sens où il est difficile d'isoler des causes simples, les différents composants de ces systèmes étant imbriqués les uns dans les autres.

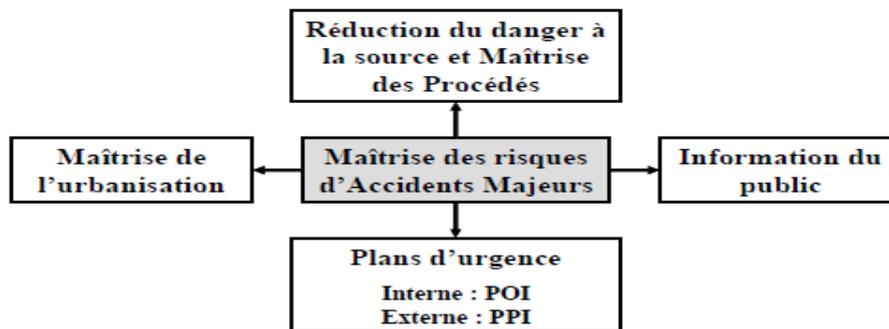


Figure 2.3 Les principes de maîtrise des risques d'accidents majeurs (30)

Nous allons aborder dans ce qui suit la maîtrise des risques d'accident majeur qui se repose sur quatre principes (Fig 2.3) :

- **Réduction des dangers à la source :** Après l'identification de l'ensemble des phénomènes dangereux qui peuvent se produire dans l'installation. L'exploitant met en œuvre toutes les mesures techniques ou technologies nécessaires pour atteindre un niveau de risque aussi bas que possible (utilisation de procédés intrinsèquement sûrs, substitution de substances intrinsèquement dangereuses par des substances moins dangereuses, remplacement de procédés obsolètes par les meilleurs techniques disponibles...).

Les exploitants de sites industriels mettent également en place tous les dispositifs de protection et d'intervention pour prévenir les accidents (communément appelés les barrières de prévention), comme la supervision humaine du bon fonctionnement de l'installation. Les exploitants sont également tenus de limiter les conséquences d'un incident ou d'un accident et prévoyant des systèmes de détection et de protection (dispositifs techniques visant à limiter l'ampleur des rejets accidentels, des mécanismes de détection de fuite de gaz, de fumée de pulvérisation d'eau ou d'écrans de vapeurs...). Ce sont les barrières de protection.

- **Maîtrise des procédés :** Il existe de nombreuses méthodes de maîtrise des risques liés aux procédés et de défaillances qui prennent en compte l'aspect dynamique (4). Il convient d'évoquer la sûreté de fonctionnement qui est « une riche palette de méthodes et de concepts au service de la maîtrise des risques » (31).

Toutes ces méthodes présentent bien évidemment des avantages et inconvénients pour la maîtrise du risque procédé.

- **Plans d'urgence :** La mise en place des plans d'urgence nécessite un préalable : l'acceptation que le risque zéro n'existe pas.

La cadre de la maîtrise des accidents majeurs est fondée par deux plans complémentaires :

- **Plant d'opération interne (POI) :** Le chef d'établissement définit les méthodes d'organisation, les méthodes d'intervention et les moyens nécessaires à mettre en œuvre progressivement en fonction de l'évolution de la situation.

Si l'accident dépasse le cadre de l'installation, le préfet met en œuvre :

- **Plan particulier d'intervention (PPI) :** C'est un plan d'urgence qui vise à mobiliser des acteurs précisément identifiés, dont les services de secours, les collectivités territoriales concernées ou encore des exploitants d'autres sites à risques proches de l'accident.
- **L'information préventive du public :** On peut citer deux catégories de mesures envers la population : l'information proprement dite sur les risques et l'alerte ; cela constitue un élément essentiel pour construire la confiance avec la société civile, les riverains, les usagers...
 - **Maîtrise de l'urbanisation :** Ce volet a pour objectif de limiter le nombre de personnes exposées aux flux de dangers des accidents majeurs potentiels par la maîtrise, essentiellement du point de vue de la distance physique, entre d'une part l'urbanisation, les activités humaines et d'autre part les activités industrielles, qu'il s'agisse d'installations ou de flux (marchandises dangereuses, énergie).
Pour ce qui est des installations industrielles à hauts risques il applique les plans de prévention des risques technologiques (PPRT), dont l'élaboration est à la charge de l'État, sur la base des études de dangers de ces installations.

2.3.4 Les risques de crises

On désigne par crise tout événement qui survient brusquement, qui provoque une (déstabilisation d'une organisation (Etat, entreprise...)) et qui s'accompagne d'une forte charge émotionnelle faisant perdre à cette organisation ses repères.

L'approche de la notion de crise va s'orienter en fonction des facteurs qui la structurer et qui sont :

- L'ampleur des conséquences de la défaillance ;
- La déstabilisation et L'urgence ;
- La plongée dans l'inconnu et le manque d'informations ;
- La difficulté à gérer la temporalité et les problèmes de communication ;

Il est important de doter l'entreprise d'un processus de décision qui lui permette en contexte de crise d'intégrer simplement la multitude de parties prenantes, d'évaluer les différents scénarios avec un maximum d'objectivité, de prendre des décisions rapides. (30)

Afin de maîtriser et de réduire la gravité des risques de crises, il faut mentionner les grandes familles d'efforts de management des crises :

- Les efforts stratégiques ;
- Les efforts techniques et structurels ;
- Les efforts d'évaluation et de diagnostic ;
- Les efforts de communication, psychologiques et culturels.

2.4 Démarche de gestion des risques

2.4.1 Caractérisation des risques

Un risque peut être caractérisé par 2 paramètres principaux :

- Sa gravité G
- Sa probabilité d'occurrence P

Et aussi

- La période où il est susceptible de se manifester, sa durée
- Sa nature (financier, humain...)
- Son origine (client, règlement...)
- Sa détectabilité D
- Sa contrôlabilité (choisis ou subis)

➤ **La criticité** : permet de hiérarchiser le risque, c'est le produit de la probabilité d'occurrence P et la gravité G.

$$\text{Criticité} = P \times G$$

Dans certains secteurs d'activités comme les milieux extrêmes ou les activités présentant un danger pour l'homme la détectabilité est un paramètre majeur.

$$\text{La criticité vaut alors : } P \times G \times D$$

2.4.2 Processus de maîtrise des risques

Les différentes approches de la gestion des risques présentes dans la littérature proposent une démarche de prise en compte des risques fondée sur une même structure. La figure ci-après (Fig 2.4) schématise le processus de maîtrise, comme l'enchaînement des phases.

Il convient alors, que le management du risque soit mis en œuvre en s'assurant que le processus de management est appliqué dans le cadre d'un plan de gestion du risque, à toutes les fonctions et à tous les niveaux pertinents de l'organisme dans le cadre de ses pratiques et processus.

Le processus de gestion ou maîtrise des risques comporte trois grandes phases :

- **Une phase préparatoire** : la définition du plan de management (ou maîtrise) des risques ;
- **Une phase itérative** : l'identification au contrôle des risques ;
- **Une phase de clôture** ou de Retour d'Expérience (bilan de la maîtrise des risques).

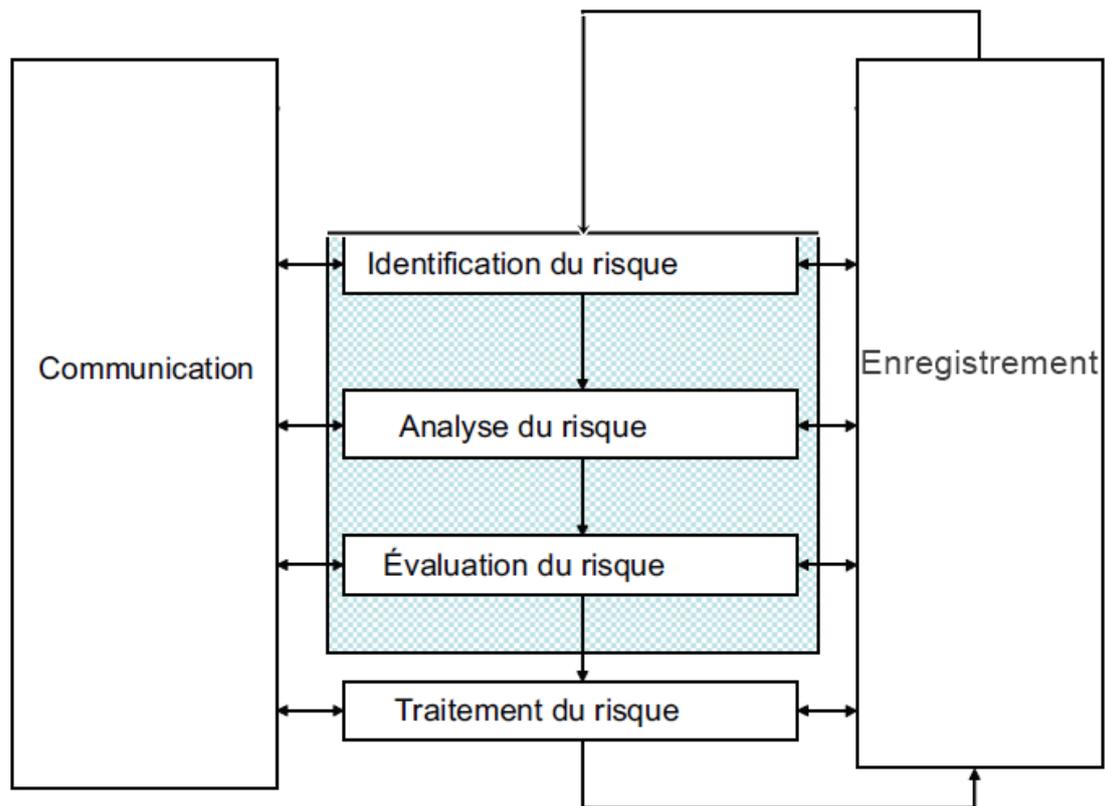


Figure 2.4 Processus de management de risque

Remarque : Le processus de gestion des risques commence par une démarche qui est considéré comme étape de préparation. Cette étape est caractérisé par ce que l'on veut faire, et comment on va le faire, avec quels moyens et à quel niveau de performance ; identifier notre périmètre de décision. C'est-à-dire la frontière en deçà de laquelle nous avons les moyens d'agir car la décision nous appartient et au-delà de laquelle nous devons subir la décision ne nous appartient plus .Autrement dit, il s'agit de définir le système sur lequel vont porter nos choix de décisions, ses limites, son environnement, ses milieux extérieurs et ses interfaces.

2.5 Plan de management (maîtrise) des risques

Le plan de management des risques est un ensemble de procédures documentées pour gérer les risques qui pourraient affecter les résultats souhaités. Il définit notamment les rôles, les responsabilités, les méthodes d'identification, d'analyse des risques, les provisions financières, la fréquence de révision des risques et les méthodes de communication (Fig 2.5).

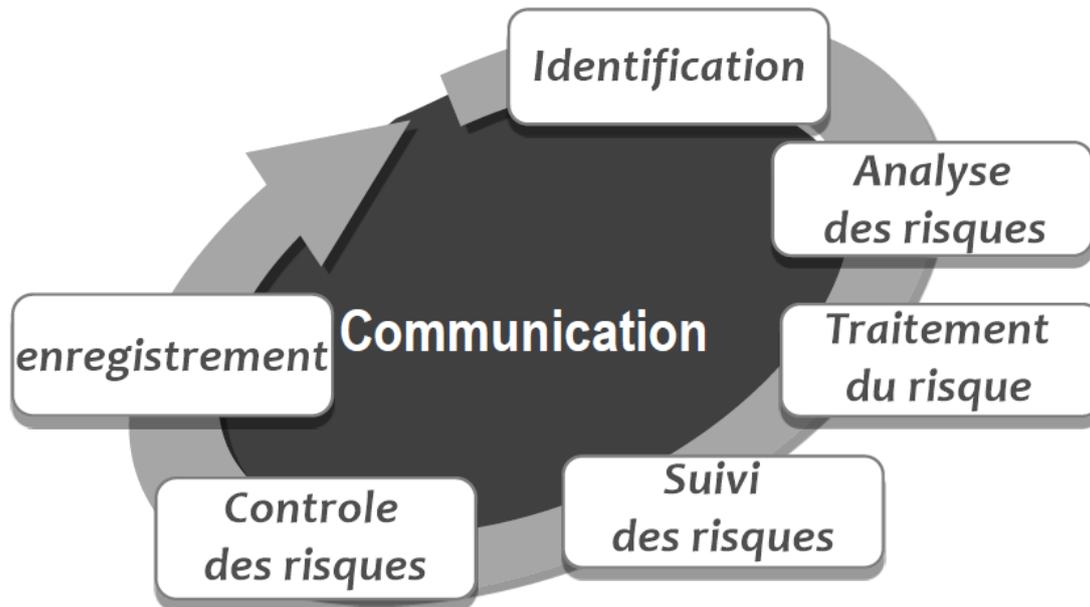


Figure 2.5 Plan de maîtrise des risques

2.5.1 Identification des risques

Il convient que l'organisme identifie les sources de risque, les domaines d'impact, les événements (y compris les changements de circonstances), ainsi que leurs causes et conséquences potentielles. Cette étape a pour objectif de dresser une liste exhaustive des risques basée sur les événements susceptibles de provoquer, de stimuler, d'empêcher, de gêner, d'accélérer ou de retarder l'atteinte des objectifs. Il est essentiel de procéder à une identification exhaustive, car un risque non identifié à ce stade ne sera pas inclus dans une analyse ultérieure.

Il convient que l'identification inclue les risques, que leur source soit ou non sous le contrôle de l'organisme, même si la source ou la cause du risque peut ne pas être évidente. Il convient que l'identification du risque comporte l'examen des réactions en chaîne des conséquences particulières, y compris les effets en cascade et cumulatifs.

Il convient que l'organisme utilise des outils et techniques d'identification des risques adaptés à ses objectifs et ses aptitudes, et aux risques auxquels il est exposé. Il est essentiel que les informations utilisées pour l'identification des risques soient pertinentes et à jour et qu'elles soient accompagnées d'une documentation appropriée.

2.5.2 Analyse des risques (évaluation et hiérarchisation)

L'analyse du risque nécessite d'acquérir une compréhension du risque. L'analyse du risque fournit des données pour évaluer les risques et prendre la décision de les traiter ou non, et permet de choisir les stratégies et méthodes de traitement les plus appropriées

L'analyse du risque implique la prise en compte des causes et sources de risque, de leurs conséquences positives et négatives, et de la vraisemblance que ces conséquences surviennent. Il convient d'identifier les facteurs affectant les conséquences et leur vraisemblance. Un événement peut avoir des conséquences multiples et affecter des objectifs multiples. Il convient de prendre en compte les moyens de maîtrise des risques existants, leur efficacité et leur performance.

Les conséquences et leur vraisemblance peuvent être déterminées en modélisant les suites d'un événement ou d'un ensemble d'événements, ou par extrapolation d'études expérimentales ou de données disponibles. Les conséquences peuvent être exprimées en termes d'impacts tangibles et intangibles. Dans certains cas, plusieurs valeurs numériques ou descripteurs sont nécessaires pour préciser les conséquences et leur vraisemblance à différents moments, en différents lieux, dans différents groupes ou situations.

L'analyse des risques a pour objectif, à partir de la liste des risques identifiés, d'évaluer la criticité de chacun des risques en fonction de leur probabilité d'occurrence et de leur niveau d'impact, voire de leur détectabilité.

Sur la base des résultats de l'analyse du risque, le but de l'évaluation du risque est d'aider les décideurs à déterminer les risques nécessitant un traitement et la priorité dans la mise en œuvre des traitements.

Il convient que les décisions respectent les obligations légales, réglementaires et autres exigences.

Dans certains cas, l'évaluation du risque peut déboucher sur la décision d'entreprendre une analyse plus approfondie. L'évaluation du risque peut également conduire à la décision de ne pas traiter le risque autrement qu'en maintenant les moyens de maîtrise du risque existants. Cette décision va dépendre de l'attitude de l'organisme face au risque, ainsi que des critères de risque qui ont été établis. (23)

La méthode proposée ci-après à titre d'exemple est qualitative, c'est à dire basée sur une évaluation « simplifiée » qui prend en compte les paramètres gravité et probabilité d'occurrence selon trois niveaux. Cette étape est généralement menée par le groupe qui a identifié les risques. Elle se déroule, dans la mesure du possible, à la suite de la démarche précédente d'identification des risques.

➤ **Estimation des risques**

En reprenant la liste des risques identifiés, on en estime la probabilité d'occurrence et l'importance de l'impact sur les coûts, les délais et les performances. (Tab 2.2) (Tab 2.3).

Probabilité d'occurrence		
0	Nulle	Ne peut se produire
1	Faible	Événement improbable
2	Moyenne	Événement probable
3	Forte	Événement très probable

Gravité de l'impact		
0	Nulle	Sans effet
1	Faible	Gravité négligeable
2	Moyenne	Gravité majeur
3	Forte	Gravité catastrophique

Tableau 2.2 : Niveau de probabilité d'occurrence

Tableau 2.3 : Niveau de gravité

Note 01 : Le classement en 3 niveaux implique que chaque niveau couvre un domaine étendu. Dans une quantification notée sur 20 points, le risque de niveau 1 couvrirait une plage de 1 à 6 points, par exemple.

Note 02 : D'autres méthodes, utilisant une évaluation plus précise des différents paramètres, voire une quantification (estimation des surcoûts, paramètres à cinq niveaux, AMDEC,..), pourront être utilisées.

➤ **Grille de criticité des risques**

Les risques peuvent être présentés, après l'opération d'évaluation, sous une forme synthétique : la grille de criticité (Tab 2.4).

Cette grille fournit une vision globale hiérarchique des Risques.

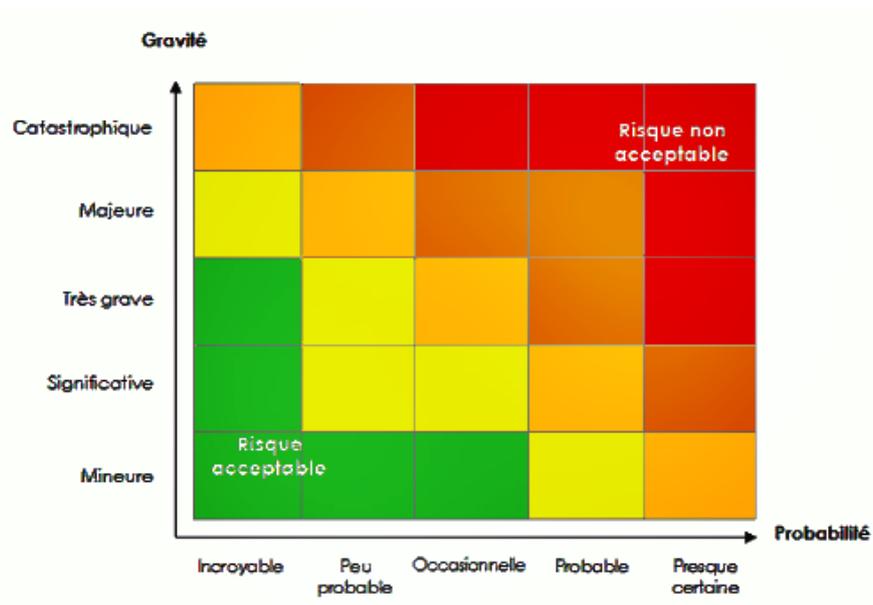


Tableau 2.4 Grille de criticité (32)

2.5.3 Traitement du risque

➤ **Généralités**

Le traitement du risque implique le choix et la mise en œuvre d'une ou de plusieurs options de modification des risques. Une fois mis en œuvre, les traitements engendrent ou modifient les moyens de maîtrise du risque.

Le traitement du risque implique un processus itératif :

- Evaluer un traitement du risque ;
- Décider si les niveaux de risque résiduels sont tolérables ;
- S'ils ne sont pas tolérables, générer un nouveau traitement du risque ; et
- Apprécier l'efficacité de ce traitement.

Les options de traitement du risque ne s'excluent pas nécessairement les unes les autres, ni ne sont appropriées à toutes les circonstances.

La sélection de l'option de traitement du risque la plus appropriée implique de comparer les coûts et les efforts de mise en œuvre par rapport aux avantages obtenus, compte tenu des obligations légales, réglementaires et autres exigences, comme la responsabilité sociale et la protection de l'environnement naturel. Il convient que les décisions tiennent aussi compte des risques dont le traitement n'est pas justifiable au plan économique, par exemple certains risques graves (conséquences hautement négatives) mais rares (faible vraisemblance). (23)

Le traitement du risque peut également engendrer des risques secondaires qui doivent être appréciés, traités, surveillés et revus. Il convient que ces risques secondaires soient intégrés au même plan de traitement que le risque original et ne soient pas traités en tant que nouveau risque. Il convient que le lien entre les deux risques soit identifié et fasse l'objet d'un suivi.

➤ **Élaboration et mise en œuvre des plans de traitement du risque**

Les plans de traitement du risque sont destinés à documenter la manière dont les options de traitement choisies sont mises en œuvre. Il convient que les informations fournies dans ces plans de traitement comportent.

- Les raisons ayant motivé le choix des options de traitement, y compris les avantages attendus,
- Les personnes responsables de l'approbation du plan et celles responsables de sa mise en œuvre,
- Les actions proposées,
- Les besoins en ressources, en tenant compte des impondérables,
- La mesure des performances et les contraintes,
- Les exigences en matière de rapports et de surveillance, et
- Le calendrier et le séquençement.

Il convient que les plans soient intégrés aux processus de management de l'organisme et soient discutés avec les parties prenantes appropriées.

L'avancement de la mise en œuvre des plans de traitement des risques constitue une mesure de la performance. Les résultats peuvent être intégrés au management global des performances de l'organisme, à leur mesurage et aux activités d'élaboration de rapports externes et internes.

2.5.4 Suivi des risques

➤ **Objectifs**

Certains risques peuvent disparaître, d'autres apparaître ou d'autres encore, considérés initialement comme faibles, pouvant devenir rapidement inacceptables.

Le niveau d'exposition aux risques est amené à changer, c'est pourquoi il est nécessaire de procéder périodiquement au suivi des risques initiaux.

➤ **Mise en œuvre du suivi**

Le suivi permet de mettre à jour les fiches de la liste initiale des risques déjà connus (tous les risques identifiés lors de la précédente itération), pour tenir compte de l'évolution de la situation de chaque risque. C'est un processus continu.

Le suivi de risque peut être facilité par la mise en place d'indicateurs généraux concernant l'état des risques : évolution du nombre de risques, du montant (contingence) provisionné pour les risques, de leur criticité,....

2.5.5 Contrôle des risques

Le contrôle des risques consiste à suivre et recalculer l'analyse de risque à une fréquence déterminée dans le plan de management des risques.

Il a pour objectif d'analyser les résultats de la démarche de maîtrise des risques et de décider les actions à mener parmi les suivantes :

- Identification de nouveaux risques ;
- Nouvelle planification ;
- Clôture du risque ;
- Elaboration d'un plan de contingence, mise en œuvre d'un plan de contingence ;
- Réalisation d'analyses plus poussées.

2.5.6 Communication et enregistrement du processus de management du risque

Il convient que les activités de management du risque puissent être tracées. Dans le processus de management du risque, les enregistrements fournissent la base de l'amélioration des méthodes et des outils ainsi que du processus dans son ensemble.

Il convient que les décisions relatives à la création des enregistrements prennent en compte

- Les besoins de l'organisme en matière d'acquisition continue de connaissances ;
- Les avantages de la réutilisation d'informations pour répondre à des objectifs de management ;
- Les nécessités légales, réglementaires et opérationnelles d'effectuer des enregistrements ;
- Les coûts et le travail liés à la création et à la maintenance des enregistrements ;
- La période de conservation, et
- Le caractère sensible des informations.

➤ Communication

La communication constitue le pivot de l'analyse des risques. En effet, une analyse de qualité requiert un esprit de transparence et d'ouverture, pour faciliter les choix "éclairés" nécessaires.

Cependant, la mise en œuvre d'une communication efficace est simple en apparence mais plus difficile en pratique. En effet, dans un contexte de gestion des risques, la communication traite de conséquences négatives, qui ne font pas toujours l'objet d'un accueil favorable.

Pour être efficace, la communication favorisera le principe de communication libre, c'est-à-dire un échange d'information libre de contraintes entre intervenants. Elle doit également valoriser les opinions individuelles tout en stimulant le travail d'équipe.

2.8 Conclusion

Le long de ce chapitre nous avons évoqué certains termes clés et des concepts de base relatifs aux risques. Ensuite, nous avons présenté rapidement la typologie des risques ainsi que leur maîtrise.

Pour terminer nous avons introduit la démarche générale de maîtrise des risques. Cette démarche doit être considérée comme un processus qui comprend deux grandes étapes. D'une part l'évaluation des risques et d'autre part le contrôle de ces risques.

Dans ce contexte, nous détaillerons dans le chapitre suivant les méthodes d'analyse des risques qui seront l'outil de notre étude pratique.

CHAPITRE III

La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques

3. La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques

3.1 Introduction

La sûreté de fonctionnement n'est pas un but en soi, mais un moyen ou un ensemble de moyens : des démarches, des méthodes et des outils.

Dans le présent chapitre, nous allons présenter une démarche adoptée pour l'analyse des risques associés aux installations industrielles qui par la suite se décomposent en plusieurs étapes.

Ensuite il nous paraît infiniment plus important de comprendre le courant méthodologique principal de l'analyse des risques à travers une classification des approches.

Compte tenu de la complémentarité des différentes méthodes d'analyse de risque réputées, il est nécessaire, de présenter une typologie et un panorama synthétique des différentes méthodes applicables ainsi que leurs propriétés.

À la fin, nous allons donc faire une petite comparaison entre ses méthodes afin d'établir les critères de choix d'une méthode d'analyse plutôt qu'une autre.

3.2 Démarche pour l'analyse des risques associés aux installations industriels

3.2.1 Définition du système et des objectifs à atteindre

➤ Définition du système

L'analyse des risques est un travail qui peut s'avérer complexe et mobiliser des ressources importantes. Dès lors, il est indispensable d'identifier clairement le système à étudier et de déterminer sans ambiguïtés les limites de l'étude.

Il peut, par exemple, s'agir d'étudier les risques associés à une nouvelle installation devant être implantée, d'identifier les risques associés à la modification d'un procédé existant ou de passer en revue les risques à l'échelle d'un site industriels complet.

Cette définition permet notamment de limiter les descriptions du système aux informations nécessaires et suffisantes au champ de l'étude. (33)

➤ Définition des objectifs à atteindre

La définition des objectifs de l'analyse des risques est une étape essentielle qui permet : notamment de définir les critères d'acceptabilité des risques.

Il peut par exemple être nécessaire de mener une analyse des risques dans l'un des buts particuliers suivants :

- Analyser les risques d'accidents de manière générale et les événements pouvant nuire à la bonne marche du procédé (pannes, incidents...),
- Analyser plus spécifiquement les risques aux postes de travail.
- Analyser les risques d'accidents majeurs (cas de l'étude de danger).

Selon les objectifs poursuivis, la démarche et les outils utilisés pourront être significativement différents. (33)

3.2.2 Recueil des informations indispensables à l'analyse des risques

Le recueil des informations nécessaires à l'analyse des risques est probablement une des phases les plus longues du processus mais également une des plus importantes.

Avant de mettre en œuvre la démarche d'analyse des risques, il est généralement nécessaire de respecter les étapes suivantes : (33)

- description fonctionnelle et technique du système ;
- description de son environnement ;
- identification des potentiels de dangers internes et externes ;
- analyse des incidents/accidents passés.

3.2.2.1 Description fonctionnelle et technique du système

La description fonctionnelle vise notamment à collecter des informations indispensables pour mener l'analyse. De manière très générale, il s'agit de traiter les points suivants : (33)

- Identifier les fonctions du système étudié ;
- Caractériser la structure du système ;
- Définir les conditions de fonctionnement du système ;
- Décrire les conditions d'exploitation du système.

3.2.2.2 Environnement du système

La description de l'environnement du système est importante à double titre :

- L'environnement peut être une source d'agression pour le système ;
- L'environnement constitue généralement un ensemble d'éléments vulnérables pouvant être affectés e cas d'accident.

3.2.2.3 Identification des potentiels de dangers

➤ Potentiel de dangers internes

La définition des potentiels des dangers internes doit être réalisée de la façon la plus exhaustive possible en étudiant entre autres : (33)

- Les dangers liés aux produits ;
- Les conditions opératoires ;
- Les réactions chimiques pour les procédés mettant en jeu des réactions physico-chimique.

➤ Potentiel de dangers externes

L'identification des potentiels des dangers externes doit permettre de caractériser les risques d'agressions externes sur le système. Si parfois un examen rapide de ces potentiels de dangers externes apporte des éléments de réponses non satisfaisantes, il est nécessaire de mettre en œuvre des outils spécifiques. Cela peut notamment être le cas pour : (33)

- Les risques d'agression sismiques ;
- Les risques d'inondation ;
- Les risques liés à la foudre.

3.2.2.4 Analyse des incidents/accidents passés.

L'analyse des accidents passés joue un rôle fondamental dans l'analyse des risques à de nombreux titres :

- Elle permet d'identifier à priori les incidents ou accidents susceptibles de se produire ;
- Elle met en lumière les causes les plus fréquentes d'accidents et donne des renseignements précieux concernant les performances de certaines barrières de sécurité ;
- Elle constitue une base de travail pertinente pour l'analyse des risques.

3.2.3 Définition de la démarche à mettre en œuvre

La définition précise de la démarche d'analyse des risques à mettre en œuvre demande notamment de choisir le ou les outils les mieux adaptés, de définir le groupe de travail qui participera à la réflexion et, le cas échéant, de fixer des échelles de cotations des risque et une grille de criticité.

3.2.3.1 Choix des méthodes d'analyse des risques

Il existe un grand nombre d'outils ou méthodes dédiés à l'identification des dangers et risques associés à un procédé ou une installation. (33)

En 1990, en avaient identifié une quinzaine particulièrement adaptés à l'analyse des risques professionnels. En 2002 en ont recensé 67 en montrant le champ de l'analyse de risque à différentes situations et type de dangers.

3.2.3.2 Constitution d'un groupe de travail

De manière générale, les méthodes d'analyse des risques sont destinées à être mises en œuvre dans le cadre d'un groupe de travail. Si leur utilisation par une seule personne, les résultats obtenus risquent néanmoins de perdre de leur pertinence. Leur intérêt réside en majeure partie dans la confrontation d'avis et de remarque de personnes ayant des expériences et des connaissances complémentaires dans des domaines techniques spécifiques. Cette richesse de points de vue permet généralement de tendre vers un examen le plus exhaustif possible des situations de dangers.

3.2.3.3 Echelles de cotation des risques

Dans ces cas, il faut définir en amont de l'analyse des échelles de cotation des risques en termes de probabilité et de gravité ainsi qu'une grille de criticité explicitant les critères d'acceptabilité sur lesquels le groupe de travail fonde pour proposer des mesures de maîtrise supplémentaires.

3.2.4 La mise en œuvre de l'analyse des risques

L'analyse des risques en groupe de travail, s'agit d'envisager de la façon la plus exhaustive l'ensemble des risques générés en s'appuyant sur des méthodes bien structurées.

Lors de l'analyse, il s'agit d'identifier une défaillance de départ, d'en identifier l'ensemble des causes et enfin, d'en caractériser l'ensemble des conséquences. Pour chaque cause et conséquence, le groupe de travail doit ensuite identifier l'ensemble des barrières de sécurité existantes. Sur la base de cette identification, le groupe de travail estime le risque en terme de probabilité et de gravité de façon quantitative ou semi-quantitative, voire qualitative. Il peut ensuite évaluer si les risques sont maîtrisés ou non. Pour cela, il peut s'appuyer sur une grille de criticité qu'il aura préalablement approuvée ou qui lui aura été fournie.

Si les risques sont jugés insuffisamment maîtrisés, le groupe de travail peut proposer des mesures de réduction des risques supplémentaires jusqu'à un niveau de risque acceptable.

Suite aux réflexions du groupe de travail, une synthèse des travaux doit être réalisée. Cette synthèse permet de mettre en lumière les principales conclusions et d'identifier clairement les points critiques qui devraient être étudiés de façon plus détaillée à l'aide d'outils plus spécifiques.

La mise au propre des notes prises au cours des réunions de travail est également primordiale pour assurer la traçabilité des travaux.

3.3 Méthodes principales du courant de la sûreté de fonctionnement

L'objectif principal des méthodes d'analyse des risques est de réduire le risque global, qui peut entraîner comme conséquence des défaillances inattendues des systèmes d'exploitation, et de reconnaître les événements dangereux qui pourraient conduire à une situation dangereuse ou nuire au bon déroulement du processus (panne, incidents ...).

3.3.1 Classifications des méthodes d'analyse des risques

Selon (34), les méthodes traditionnelles peuvent être divisées en deux groupes principaux : qualitatives et quantitatives. L'analyse quantitative du risque est effectuée par l'estimation de la fréquence et de ses conséquences. L'analyse qualitative du risque est applicable lorsque les risques sont faibles et bien connus. Chaque groupe peut être divisé en trois catégories : déterministes, probabilistes, et une combinaison des approches déterministes

et probabilistes. Les méthodes déterministes prennent en considération le produit, l'équipement et la quantification des conséquences pour différentes cibles comme les personnes, l'environnement et les équipements. Cette approche suppose que l'apparition d'un danger et ses conséquences sont connues et certaines. Les méthodes probabilistes sont basées sur la probabilité ou la fréquence d'apparition de la situation dangereuse ou de la survenance d'un accident potentiel. Les méthodes probabilistes sont principalement axées sur la probabilité de défaillances sur les équipements ou les composants. Les méthodes qui présentent la combinaison des méthodes probabilistes et déterministes sont principalement utilisées pour examiner l'ensemble des établissements industriels (Fig 3.1).

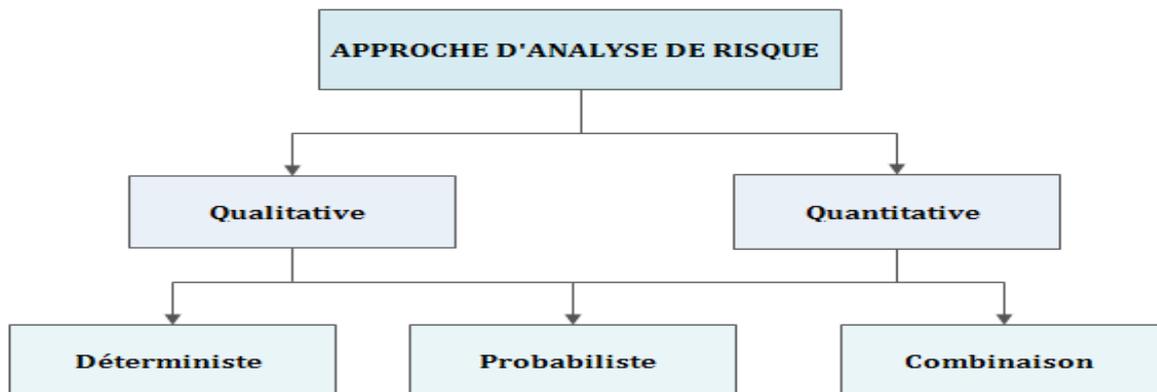


Figure 3.1 Typologie d'approches d'analyse des risques

3.3.2 Le sens de raisonnement

Il existe deux grands types de démarches d'investigation pour l'analyse des risques, inductive et déductive. Les démarches inductives procèdent des causes vers les effets, et celles déductives des effets vers les causes.

Ce sens de raisonnement intervient dans l'analyse des risques lors de l'étape de recherche des scénarios d'accidents potentiels, sous la forme de deux questions possibles à se poser : (18)

- Quels événements peuvent produire un accident redouté (mode déductif) ? (Fig 3.3)
- Quelles conséquences graves (accident) peut avoir un incident (pannes..) (mode inductif) ? (Fig 3.2)

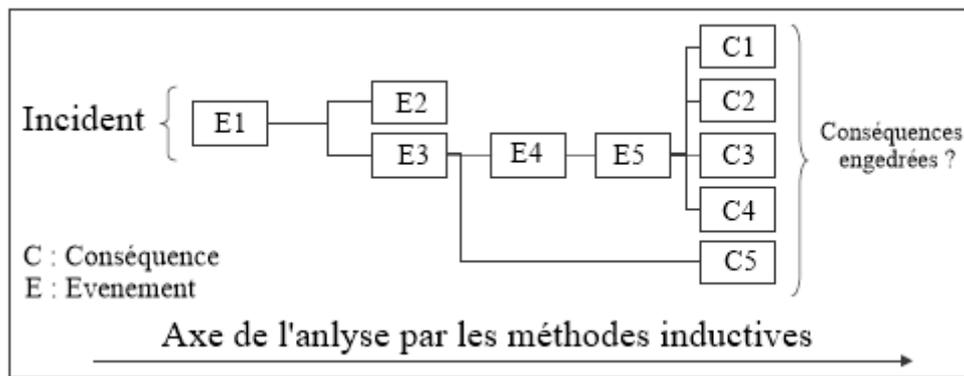


Figure 3.2 Mode de recherche inductif. Identique au sens de déroulement des dysfonctionnements

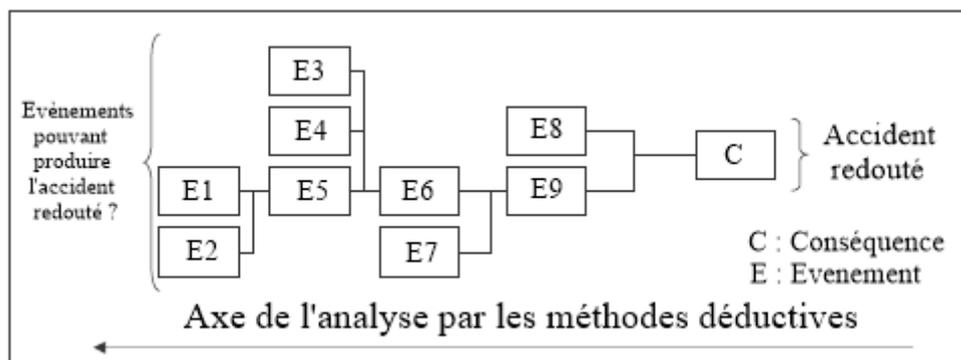


Figure 3.3 Mode de recherche déductif. Inverse au sens de déroulement des dysfonctionnements

On peut classer les études de danger suivant le sens de la démarche mais elles associent souvent les deux modes de réflexion (inductif et déductif) considérés comme complémentaires, en faisant appel à plusieurs méthodes d'analyse (par exemple : AMDEC et arbres de défaillances).

Ces critères de comparaison et de choix étant posés, il s'avère nécessaire maintenant de décrire chaque méthode dans son fonctionnement et de voir où elle se situe en fonction des critères établis. Il est très peu probable qu'une méthode corresponde au «choix idéal».

3.3.3 Panorama des méthodes d'analyse des risques

3.3.3.1 L'Analyse Préliminaire de Risque - APR / Analyse Préliminaire de Danger – APD (Preliminary Hazard Analysis –PHA)

L'analyse préliminaire des risques (APR) consiste, dans un premier temps, à recenser les dangers potentiels associés au système étudié. La démarche typique de l'APR consiste à exploiter des listes de risques, fondées essentiellement sur l'expérience, associés aux éléments constitutifs du système et de leurs combinaisons. Ces listes, obligent à s'interroger sur l'existence des dangers connus liés à chaque élément dans chaque phase du profil de vie du système dans ses environnements, aux possibilités de se manifester, aux conséquences prévisibles et aux moyens connus de maîtriser les risques associés. Cette phase initiale peut aussi, dans certains cas, mettre en œuvre des méthodes comme AMDEC, HAZOP, arbres de défaillance, etc. qui sont plus typiques des analyses de risques détaillées.

Dans un deuxième temps, accompagnant l'avancement de la conception, l'APR doit :

- établir et décrire des scénarios d'accident, (ceux qui vont nécessiter des études plus approfondies) ;
- évaluer des ordres de grandeurs des risques ;
- d'identifier des mesures de maîtrise des risques et leur pertinence.

L'APR se fonde alors dans l'ensemble des analyses de risques (systèmes, sous-systèmes, processus, etc.) de l'identification, l'évaluation, la confrontation aux critères d'acceptation jusqu'aux actions de maîtrise des risques tout en constituant une colonne vertébrale et un agenda (à mettre à jour au fur et à mesure de l'avancement du projet) des tâches de SdF.

➤ **Principe de la méthode**

La méthode a pour objectifs :

- D'identifier les dangers d'une installation industrielle et ses causes (exemples : entités dangereuses, situations dangereuses, accidents potentiels) ;
- D'évaluer la gravité des conséquences liées aux situations dangereuses et aux accidents potentiels.

On en déduit tous les moyens, toutes les actions correctrices permettant d'éliminer ou de maîtriser les situations dangereuses et les accidents potentiels mis en évidence précédemment.

Cette méthode peut être orientée vers les aspects liés à la sécurité des installations. Il est recommandé de commencer l'Analyse Préliminaire des Risque dès les premières phases de la conception en utilisant toutes les données alors disponibles. Au fur et à mesure du déroulement du projet, cette analyse sera périodiquement vérifiée, remise à jour et complétée jusqu'à la fin de vie de l'installation.

L'identification des dangers est effectuée à l'aide de l'expérience et du jugement des ingénieurs, aidés par l'utilisation de listes-guides élaborées pour un domaine précis et régulièrement enrichies.

L'utilisation de cette analyse préliminaire permet, par exemple de définir des entités à analyser en détail ou des événements indésirables dont il faut rechercher les causes par la méthode de l'Arbre des Causes.

Pour cette méthode, il peut être utile de construire et d'utiliser des check-lists d'éléments et de situations dangereuses, il en existe déjà pour certains domaines d'activité (industrie chimique, industrie aéronautique).

Les résultats d'une APR se présentent en général dans un tableau (Tab3.1) à 11 ou 12 colonnes qui rappelle celui de l'Analyse des Modes de Défaillances et de leur Effets.

Le tableau utilisé est présenté ci-après :

1	2	3	4	5	6
Sous système ou fonction	Phase	Elément dangereux	Elément transformant un élément dangereux en situation dangereuse	Situation dangereuse	Elément transformant une situation dangereuse à un accident potentiel

7	8	9	10	11
Accident	Conséquences	Classification par gravité	Mesures préventives	Application des mesures

Tableau 3.1 : Exemple de tableau utilisable pour APR

Les 11 colonnes du tableau peuvent être explicitées comme suit :

- Système ou fonction : identification de l'ensemble étudié,
- Phase : identification des phases ou des modes d'utilisation du système ou de la fonction pendant lesquels certaines entités peuvent générer un danger,
- Entités dangereuses : identification des entités du système ou de la fonction auxquelles on peut associer un danger intrinsèque,
- Evénements causant une situation dangereuse : identification des conditions, événements indésirables, pannes ou erreurs qui peuvent transformer une entité dangereuse en situation dangereuse,
- Situation dangereuse : identification des situations résultant de l'interaction d'une entité dangereuse et de l'ensemble du système à la suite d'un événement décrit précédemment.
- Evénement causant un accident potentiel : identification des conditions, événements indésirables, pannes ou erreurs qui peuvent transformer une situation dangereuse en accident,
- Accident potentiel : identification des possibilités d'accidents résultant des situations dangereuses à la suite d'un événement décrit précédemment,
- Effets ou conséquences : identification des effets ou conséquences des accidents potentiels, lorsqu'ils se produisent, estimation des probabilités d'occurrence effective des accidents,
- Classification par gravité : appréciation de la gravité des effets ou conséquences suivant une classification du type « mineure », « significative », « critique », « catastrophique »,
- Mesures préventives : recensement des mesures proposées pour éliminer ou maîtriser les risques ainsi identifiés (situations dangereuses ou accidents potentiels),
- Application de ces mesures : recueil d'informations relatives aux mesures préventives proposées (ex : est-ce que ces mesures ont été incorporées dans le système ? Se sont-elles révélées efficaces ? Etc.).

Note : Une 12ème colonne dédiée à l'estimation des probabilités d'occurrence des accidents peut être ajoutée.

➤ **Entrées**

- Profil de vie du système ;
- Dossier de définition du système ;
- AMDEC, HAZOP, AAD, AAE, ...
- Liste des situations dangereuses ;
- Liste des dangers potentiels ;
- Liste générique de dangers.

➤ **Sorties**

Rapport d'APR incluant :

- Les tableaux d'analyse ;
- Des conclusions / recommandations ;
- La cartographie des risques ;
- Le plan de veille, d'audits, de suivi, le registre des dangers.

➤ **Avantages**

Amélioration de la cohérence de la démarche de maîtrise des risques des différentes phases de la vie du système en posant des fondations aussi larges et complètes que possible.

➤ **Limites**

Le caractère exhaustif de la démarche dépend beaucoup de l'expérience sur des événements semblables et du soin apporté à l'étude.

3.3.3.2 Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets - AMDE /et de leur Criticité - AMDEC (Failure Modes, and Effects Analysis - FMEA / Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis - FMECA)

L'AMDE a été employée pour la première fois dans le domaine de l'industrie aéronautique durant les années 1960. Son utilisation s'est depuis largement répandue à d'autres secteurs industriels. L'AMDEC est l'extension de l'étude AMDE quand il est question d'évaluer la criticité des défaillances.

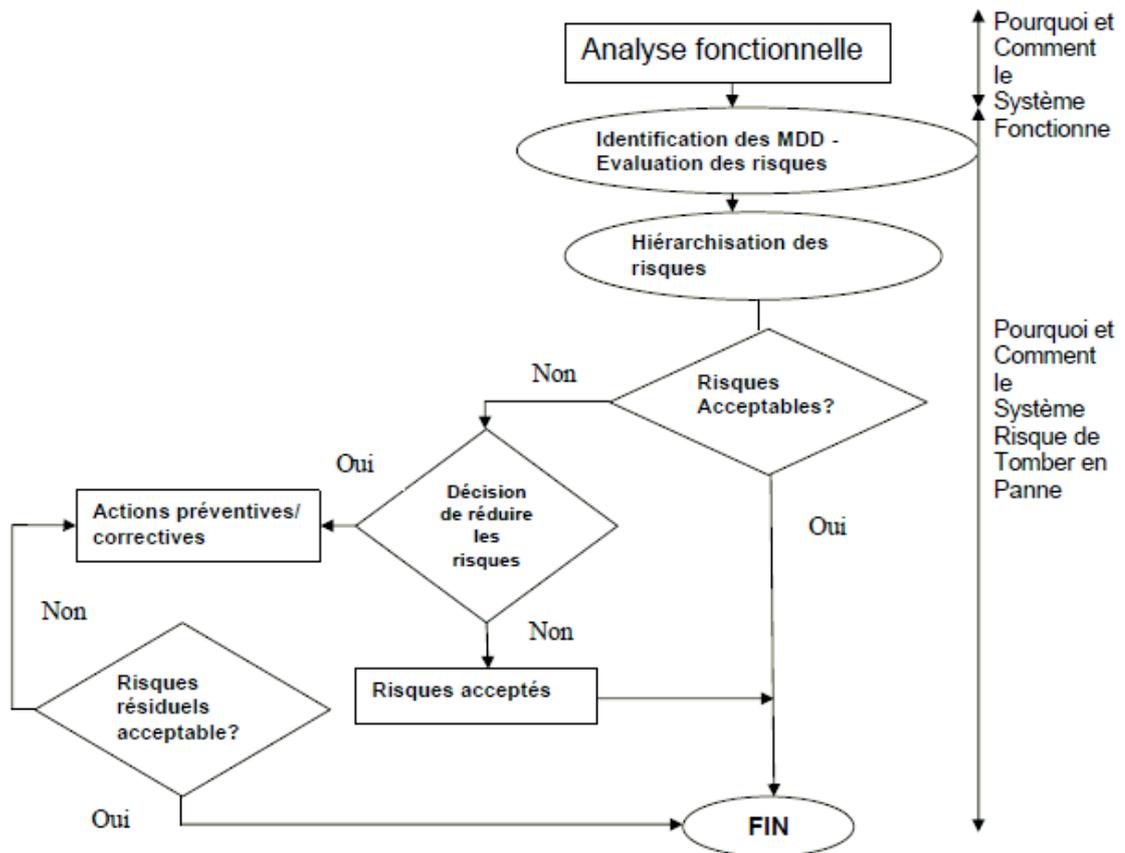


Figure 3.4 Démarche de fonctionnement d'une l'AMDEC

L'AMDEC est une méthode d'analyse inductive et rigoureuse ayant pour buts d'identifier les défaillances dont les conséquences peuvent affecter le fonctionnement d'un système, de les hiérarchiser selon leur niveau de criticité afin de les maîtriser (Fig 3.4).

Dans un premier temps, la méthode vise donc à recenser les faiblesses potentielles d'un système (produit en conception, processus de fabrication, moyen de production...) en recherchant, pour chaque composant du système, les modes vraisemblables de défaillance, les causes possibles, les effets sur le fonctionnement du système, selon la phase de mission et du cycle de vie.

Chaque défaillance est ensuite évaluée en terme de criticité au regard de l'objectif fixé de sûreté de fonctionnement. Deux ou trois critères sont exploités : l'occurrence (fréquence ou probabilité d'apparition) du mode de défaillance, la gravité des effets, la probabilité de détection de la défaillance.

Des grilles (barèmes) de cotation sont utilisées pour réaliser cette évaluation. La criticité résultante est souvent obtenue par le produit des notes obtenues pour chaque critère. Elle permet de hiérarchiser les risques de défaillance et de définir les points critiques éventuels.

Enfin, pour les défaillances jugées critiques ou inacceptables, des actions préventives et/ou correctives sont recherchées dans le but de réduire la criticité. Elles peuvent concerner toutes les étapes du cycle de vie du système.

A la suite de l'analyse, une synthèse des résultats (sous la forme de listes de pannes, de symptômes) doit être réalisée (Tab 3.2).

1	2	3	4	5 et 6		7	8	9	10
Identification du composant	Mode de défaillance	Cause possibles	Phase	Conséquences		Probabilité de la défaillance	Criticité	Actions correctives	Recommandations
				Locale	Sur l'ensemble du système				

Tableau 3.2 Exemple de présentation d'une AMDE ou AMDEC

Il y a plusieurs sortes d'AMDEC, en fonction du stade de la conception : l'AMDEC du concept, l'AMDEC du produit et AMDEC du procédé, (AMDEC de la machine, ...). Toutes ces AMDEC ont la même structure :

- **AMDEC PRODUIT / PROJET** : Son champ d'action est prévu, au départ, pour la conception des produits afin de les fiabiliser, les améliorer... ; par exemple, on peut appliquer l'AMDEC dans l'analyse des risques bancaires, surtout dans le domaine « contrepartie ».
- **AMDEC SECURITE** : S'applique pour assurer la sécurité des opérateurs dans les procédés où il existe des risques pour ceux-ci.
- **AMDEC PROCESSUS** : L'objectif est de mettre en évidence, les problèmes de défaillance créés par les processus de production... Elle est utilisée pour analyser et évaluer la criticité de toutes les défaillances potentielles d'un produit engendrées par son processus. Elle peut être utilisée aussi pour les postes de travail.

Note : Si les solutions ne sont pas satisfaisantes, on relance alors la méthode.

- **Avantage**
 - L'AMDEC est une méthode relativement simple et facilement accessible,
 - En tant que méthode inductive, elle offre une analyse systématique et un maximum de garantie d'exhaustivité,
 - Enfin, le tableau d'analyse assure une bonne traçabilité des réflexions et une aide à la décision pour les actions d'amélioration à entreprendre.
- **Limites**
 - La méthode souffre d'une certaine lourdeur en volume et temps passé,
 - L'AMDEC ne prend pas en compte les défaillances dites de « mode commun »,
 - L'AMDEC est mieux adaptée aux systèmes mécaniques et analogiques qu'aux systèmes numériques.

➤ **Entrées**

- Dossier de conception du nouveau système,
- Historique des pannes du système existant,
- Description fonctionnelle et structurelle du système, issue de l'analyse fonctionnelle.

➤ **Sorties**

- Identification des dysfonctionnements potentiels et de leur criticité,
- Plan d'actions préventives ou correctives, d'amélioration.

3.3.4 Critères de choix d'une méthode d'analyse de risque

De manière générale, une méthode appropriée a les caractéristiques suivantes :

- Elle est scientifiquement défendable et applicable au système considéré.
- Les résultats obtenus se présentent sous une forme permettant une meilleure compréhension de la nature des risques et de la manière dont ils peuvent être contrôlés.
- Elle peut être utilisée par divers analystes de telle sorte qu'elle soit retraçable, reproductible et vérifiable.

Nous avons alors, retenu l'essentiel des critères pesant dans la mise en œuvre d'une méthode plutôt qu'une autre dans l'étude d'un système donné :

- Domaine de l'étude ;
- Utilité et utilisabilité ;
- Sa popularité, une méthode très connue offre un réservoir de personnels qualifiés pour la mettre en œuvre ;
- Stade de l'étude (conception, développement, opération, et modification...etc.) ;
- Suffisamment précises pour être du niveau recherché ;
- Perception du risque dans ce domaine ;
- La langue de la méthode, il est essentiel de maîtriser le vocabulaire employé ;
- Culture de la Sûreté de Fonctionnement de l'organisation ;
- La quantité de moyens humains, logistiques qu'elle implique et la durée de mobilisation ;
- Caractéristiques du problème à analyser ;
- Le rapport coût / efficacité en fonction du risque encouru ;
- Niveau envisagé de la démonstration de la sécurité ;
- Savoir-faire des intervenants ;
- Nature des informations disponibles (spécifications du système et de ses interfaces, contraintes, etc.) ;
- Retour d'expérience et base de données disponibles ;
- Le coût de la mise en œuvre, et
- Autres contraintes d'étude.

3.4 Conclusion

Les méthodes d'analyse des risques décrites dans ce chapitre sont fréquemment utilisées dans le domaine de prévention des risques. Procurant un caractère systématique à l'analyse, elles permettent :

- D'identifier les causes et les conséquences potentielles d'événements liés à l'exploitation d'un système industrielles ;
- De mettre en lumière les barrières de sécurité existantes ou pouvant être envisagées au regard du risque.

L'utilisation de ces méthodes est particulièrement recommandée pour l'analyse des risques dans le cadre d'une étude des dangers, puisqu'elles permettent de viser à plus d'exhaustivité pour l'identification et tendre ainsi vers la maîtrise des risques majeurs.

D'ailleurs, ces méthodes peuvent être tout à fait complémentaires. En effet, une phase préliminaire d'analyse des risques menée grâce à une APR, par exemple, permet d'identifier les parties d'une installation pour lesquelles l'utilisation de méthodes plus détaillées comme l'AMDEC ou l'HAZOP s'avère pertinente. De la même façon, la mise en œuvre d'une MOSAR par exemple est souvent particulièrement utile en vue de construire un arbre des défaillances.

Il n'existe de « bonne » ou « mauvaise » méthode d'analyse des risques. Chacune possède des avantages et des inconvénients qui lui sont propres. Ces méthodes ne sont que des aides guidant la réflexion et il convient donc de retenir celles qui sont les mieux adaptées aux cas à traiter.

Rappelons que ces outils ne peuvent assurer une exhaustivité totale de l'identification des causes potentielles de sinistres. Ce dernier constat met en avant la nécessité d'une démarche itérative conduisant à utiliser des outils de plus en plus complexes pour une analyse de plus en plus fine des risques.

En définitive après avoir essayé de déceler les méthodes d'analyse de risque, nous avons trouvé intéressant de pouvoir proposer ensuite des critères de choix de la méthode la plus convenable à une étude donnée.

L'approfondissement méthodologique que nous avons pu réaliser dans ce chapitre va nous permettre ultérieurement, dans le quatrième chapitre de faire une étude comparative des méthodes lors de notre expérimentation.

CHAPITRE IV

Opérationnalisation et expérimentation de terrain : Application sur les bacs de stockage

4. Application des méthodes APR et AMDEC sur les bacs stockage de l'unité GALA OIL

4.1 Introduction

Que l'on soit créateur ou exploitant d'un système, l'on s'interroge sur sa fiabilité et sa sécurité. Quelles sont les problèmes auxquels on doit s'attendre de la part de ce système ?

La réponse à cette question passe par la mise en œuvre de méthodes et principes d'analyse des risques étudiés dans le chapitre précédent.

Dans ce chapitre, et après avoir décrit l'entreprise, dans laquelle nous avons mené notre expérimentation, nous allons appliquer les deux méthodes APR et AMDEC permettant de prévoir les anomalies et identifier les événements non souhaités sur l'unité de stockage et de distribution des carburants GALA OIL.

Par la suite un bilan comparatif entre les deux approches de la sûreté de fonctionnement sera utilisé comme étant un outil d'aide.

Ce projet entre dans le cadre de l'amélioration des performances sécuritaire des installations.

4.2 Présentation de l'organisme d'accueil GALA OIL :

Une seconde filiale de R.B a été mise en place à Ain Beida avec un capital social initial de 76.100.000 DA. Il s'agit de GALA OIL dont l'activité est le stockage et la distribution de carburants et des produits dérivés (essence normale et super, kérosène, gas-oil, GPL/C, lubrifiant, pneumatiques, etc.) Elle a obtenu son agrément le 13 mai 2002 et est entrée en production en avril 2008. En 2014, la société a réalisé un chiffre d'affaires estimé à 20.350.000.00 DA...(Fig 4.1).



Figure 4.1 Administration de l'Unité GALA OIL

➤ Constitution de l'unité :



Figure 4.2 Moyens Matériel de GALA OIL

GALA OIL dispose :

- D'une capacité de stockage de 2080 m³ de carburant et 450 m³ de GPL avec perspective d'extension du volume pour le porter jusqu'à 20.000 m³.
- 4 bacs de stockage des carburants + 3 cigares pour le stockage de GNL.
- D'un système de chargement, équipé d'un système de dépotage à la pointe du progrès.
- D'une flotte d'attelage complet (20 tracteurs et 24 citernes) en rapport avec ses capacités et ses ambitions.
- D'un réseau de distribution propre (stations-services conventionnées) en augmentation constante.

- D'un réseau incendie conçu pour une sécurité maximale.
- De conventions signées avec plusieurs fournisseurs parmi lesquels figurent en bonne place SONATRACH, NAFTAL, TOTAL, MAN.



Figure 4.3 GALA OIL Vue de ciel (35)

➤ **Les risques associés aux activités de l'unité de stockage et de transport des carburants GALA OIL**

La maîtrise des risques nous a permis d'identifier trois zones pour l'unité de stockage et distribution des carburants (Tab 4.1).

Activité	Risques
Stockage carburant	Risque d'incendie Risque d'explosion Débordement de bac Fuite de carburants Risque chute de hauteur Risque électrique Risque de pollution Asphyxie Corrosion Risque thermique
Chargement des camions	Risque d'incendie Risque d'explosion Risque chimique Fuite de carburants Déversement de produit Risque chute de hauteur Risque lié à la manutention Risque mécanique Risque thermique Risque ergonomies
Pomperie	Risque d'incendie Risque d'explosion Fuite Risque liée au Bruit Risque électrique

Tableau 4.1 Identification des dangers au niveau de l'Unité GALA OIL

4.3 Application des méthodes AMDEC et APR afin d'analyser les risques liés au stockage des carburant :

4.3.1 Description de bac de stockage :

Chaque bac est prévu avec les équipements suivants :

4.3.1.1 Equipement et accessoire de bac :

Un bac est un réservoir cylindrique et vertical destiné au stockage des hydrocarbures liquides (Fuel).

➤ **Equipements des bacs :** Le bac est constitué des éléments suivants :

- **La robe :** c'est une paroi verticale constitué de tôles cintrées au diamètre du réservoir.
- **Le fond :** c'est la base de réservoir, il est fait également d'un ensemble de tôles.
- **L'assise :** c'est la fondation sur laquelle repose le réservoir.
- **Le toit :** c'est la partie supérieure du réservoir, il est fait d'un assemblage des tôles.
- **La Cuvette :** c'est un compartiment construit autour d'un bac ou d'un ensemble de bac en cas de fuite accidentelle.

➤ **Accessoire de lutte contre la surpression :**

- **Les événements :** ce sont des ouvertures permanentes situées dans la partie supérieure de réservoir destinées à évacuer l'excédent de vapeur d'hydrocarbure par temps chaud (Fig 4.4).



Figure 4.4 Les événements en haut des bacs

➤ **Accessoire de lutte contre l'incendie :**

- **La couronne de mousse :** Extincteur de feux d'hydrocarbure, il existe quatre (04) diffuseurs placés en haut de chaque robe étalent sur la surface du liquide un tapis de mousse capable d'étouffer les flammes en cas d'incendie.
- **La couronne d'eau de refroidissement :** C'est une canalisation circulaire fixé sur la robe qui contient des têtes d'arrosages en gardant un certain intervalle pour le refroidissement de bac.

Les tuyaux d'alimentation en eau vers chaque réservoir sont raccordés avec la canalisation principale à incendie.

- **La cuvette de rétention** : Circonscribit la lutte contre l'incendie à un périmètre limité, la cuvette doit avoir un système de drainage pour assurer l'évacuation de l'eau de pluie (Fig 4.5).



Figure 4.5 Cuvette de rétention

➤ **Accessoire de mesure de niveau de produits :**

Sur certain réservoir (bac de stockages carburants), des accessoires appelés indicateur de niveau à flotteur sont installés, ils permettent de lire directement une règle graduée fixée sur la robe, la valeur de niveau de produits dans le réservoir grâce à un index se déplaçant devant la règle graduée (Fig 4.6).

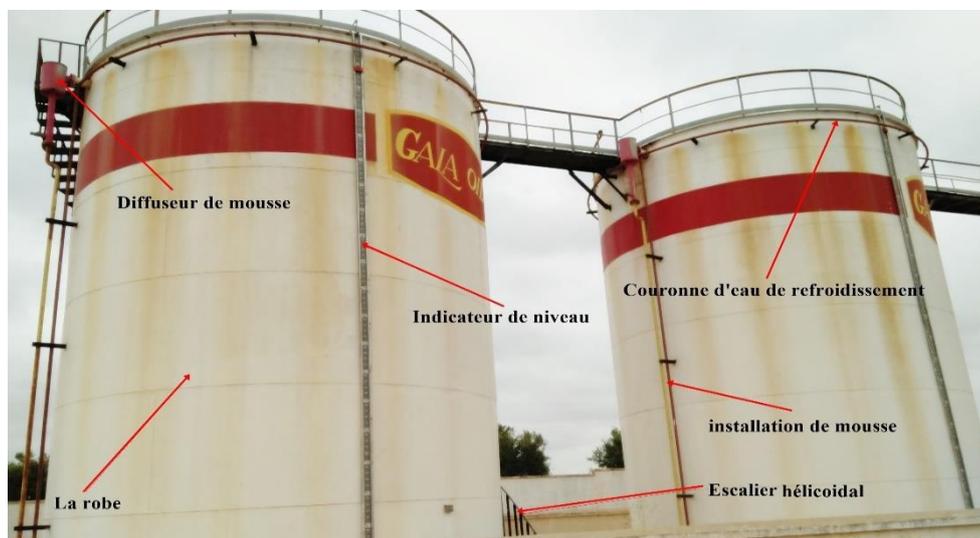


Figure 4.6 Accessoires des bacs

- **Accessoires de visite et nettoyage** : Il s'agit des trous d'homme des grandes de corps, des escaliers et des échelles.
- **Trous d'homme**
 - **Un escalier + une échelle** : L'accès au toit est réalisé par un escalier et n échelle soudé à l'extérieur de la robe.

- **Système de jaugeage** : Le jaugeage sert au prélèvement quotidien des échantillons, à l'entrée des hydrocarbures dans les réservoirs doit se faire par le bas (Fig 4.7).



Figure 4.7 Trous de jauge

➤ **Accessoires de sécurité :**

Les accessoires de sécurité sont indispensables à l'exploitation du bac en toute sécurité, ses accessoires sont :

- **Détecteur de flamme de type infrarouge** : Chaque réservoir dispose d'un détecteur de flammes fonctionnement automatique, pour empêcher la pénétration d'une flamme dans le réservoir.
- **La mise à la terre** : Les réservoirs doivent être mis à la terre, qui est fixé à l'intérieur de bac pour la préserver contre tous les influences électriques (Fig 4.8).



Figure 4.8 Parafoudre et mises à la terre (Poste de dépôtage et Unité)

Les mises à la terre ont plusieurs buts :

- Ecoulement au sol des charges électrostatiques produites par l'écoulement de produit dans les parois de réservoir
- Ecoulement au sol des courants de foudre.
- Ecoulement au sol des courants forts du au défaut d'isolement de réseau électrique.
- **Regarde d'évacuation :** C'est les réseaux de drainage des eaux de purge pour leur évacuation on utilise des pompes mobiles (Fig 4.9).



Figure 4.9 Regard d'évacuation

L'unité GALA OIL dispose de toute une installation de protection contre l'incendie qui se décompose de plusieurs dispositifs. Ces dispositifs diffèrent suivant l'agent d'extinction utiliser pour les réservoirs, mousse et arrosage.

➤ **Installation à mousse :**

Cette installation sert à la protection contre le feu des réservoirs de stockage. L'installation à mousse dispose d'une station de mélange et de répartition (Fig 4.10), elle se compose de :

- Une arrive d'eau
- Une alimentation en mousse.
- Robinetterie de distribution (pour réservoirs et la cuvette).



Figure 4.10 Vannes d'intervention (Mousse + Eau)

➤ **Alimentation en eau pour extinction d'incendie :**

Pour cette alimentation l'unité dispose des deux (02) possibilités suivantes :

- Alimentation en eau douce par un réservoir de 520 m³ (Fig 4.11).
- Alimentation en eau par puits et réseau urbain.



Figure 4.11 Reserve d'eau

➤ **Grille de criticité**

Toutes les situations étudiées seront clairement évaluées par une grille 5x5 intégrant les dimensions de probabilité d'occurrence et d'intensité des conséquences (Tab 4.2).

Gravité \ Probabilité	1	2	3	4	5
5					Risque non acceptable
4					
3					
2					
1	Risque acceptable				

Tableau 4.2 Grille de criticité Probabilité / Gravité

Cette grille est un outil d'aide à la décision. Elle sert à prioriser les mesures de réductions des risques.

4.3.2 Analyse des risques par la méthode AMDEC

Analyse Fonctionnelle		Analyse de défaillance			Estimation de criticité			Mesures
Sous ensemble	Fonction	Modes de défaillance	Causes	Effets	G	P	C	Mesures envisagées
Le fond	Permet la transmission de la charge hydrostatique à la fondation	Fuites	Présence des fissures, Résistance insuffisante, Corrosion	Perte de produits	4	1	4	Vérifier l'état de l'assise, inspections
Le toit	Protéger le produit contre les intempéries et contre les éventuelles évaporations	Fuites	Présence des fissures	Perte de produits, Présence des impuretés dans	4	1	4	
		Contamination de produit	Fuite d'air dans la partie supérieure	Colmatage du filtre	1	1	1	Actions curatif
Les événements ou soupapes de respiration	Permettre la respiration des bacs afin d'éviter toute surpression ou dépression dangereuse et faciliter le déchargement du produit.	Soupapes ou événements bouchés	Présence des nids d'oiseaux, Accumulation de poussière	Destruction du réservoir, blocage dans le déchargement, Augmentation de pression	3	5	15	Vérifier l'état de propreté des événements, Nettoyage.
Indicateur de niveau	Mesurer le niveau du produit	Ne fonctionne pas	Mauvaise qualité, Fatigue	Perte en produits	3	1	3	Vérifier l'état de l'indicateur, Maintenance protectrice.

La robe	Supporter les conséquences de la charge hydrostatique ainsi que le poids du toit, les vents extrêmes et les charges sismiques	Fissures, corrosion, Fuites	Mauvais revêtement, Fissures	Perte en produits	4	2	8	Vérifier l'état de la robe, Protection passive et active contre la corrosion.
		Fissure, Fuite	Choc	Débordement de bac, Accumulation de l'électricité statique	5	2	10	Sensibilisation,
		volume inférieur à la consigne limite	Manque de produit dû à des pertes (détecteurs de niveaux en panne)	Usure de la pompe	1	1	1	Contrôle semestriel de tous les détecteurs
Mise en terre	Assurer une liaison équipotentielle entre bacs et terre	Ne fonctionne pas	Mauvaise installation, Fatigue, Erreur d'exploitation.	Pertes énormes Risque électrique, Incendie	4	2	8	Vérifier le fonctionnement de la mise à la terre,
Orifice diverse	Permettent les entrées et les sorties du fluides stockées	Ne s'ouvre pas, difficulté d'ouverture	Coincement, Rouille, Calcaire.	Pas de passage de produit, Passage réduit	1	2	2	Graissage,
Dispositif d'homogénéisation	Permet d'éviter les stratifications des produits dans le réservoir	Dispositif défaillant	Fatigue, Perforation	Présence des impuretés dans	2	1	2	Remplacement du filtre

				le produit, diminution de qualité de produit, Perte des clients, Infiltration de produit.				Surveillance trimestrielle
Vanne d'déluge	Destiné à contrôler et commander le débit d'un fluide liquide ou gazeux	Ne s'ouvre pas	Bloquée fermée (rouille, calcaire, systèmes électromécanique ne fonctionne pas	Pas de passage d'eau, La partie déluge de la zone de stockage ne fonctionne pas	4	1	4	Maintenance préventive et testes régulières
Vanne de purge		Fuite Importante	Corrosion, Endommagement	Chut de pression, Passage d'eau réduit	2	1	2	Actions curatif
Vanne principale		Dysfonctionnement	Blocage, Mauvaise serrage de boulon,	Nappe d'eau au fond de bac	2	1	2	Rodage vannes, Graissage.
Vanne des sprinklers		Soufflage	Manque de graissage	Chut de pression	2	2	4	Réparation
		Colmatée	Rouille, calcaire	Zone peut protéger.	3	2	6	Inspection, utiliser les larges diamètres de pulvérisation pour minimisent le colmatage

Canalisation	Etablir la liaison entre la pompe et les composants hydrauliques	Fuite	Fissuration	Perte de produit	1	3	3	Contrôle trimestriel curatif avec présence des olives en stock
			Détérioration des olives (à l'extrémité)	Perte de produit	1	1	1	
Système des pompes	Dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide.	La pompe ne démarre pas à la demande	Défaillance de capteur de pression, Défaillance des pompes jockey, électrique, diesel, et de puits.	Système de refroidissement ne fonctionne pas.	4	2	8	Inspection et révision des pompes quotidiennement. Testes de fiabilité des pompes par des experts.
Cuvette de rétention	Récupère le produit en cas d'éclatement de bacs	Boucher	Herbes et déchets solide		1	3	3	Nettoyage et désherbage
flexible	Transférer l'eau du distributeur vers la zone à risque en conservant un débit et une pression donnés	Fuite	Fissuration	Pert d'eau	1	1	1	Action curatif
			Mauvaise sertissage	Mouvement retardé	1	2	2	Action curatif
		Perte de charge	déréglage pression	Mouvement anormal d'eau	2	1	2	Contrôle

Dispositif de détections	Détecter la présence d'une fumée et envoyer un signal vers le post de Gard	Pas de signal	Déconnexion d'un fil électrique, Défaillance	Dégâts	3	1	3	Contrôle mensuel
Armoire électrique	Commande tout le système électrique, hydraulique	Coupure du courant	Défaillance d'un câble	arrêt cycle	1	1	1	Serrage des connexions avec stockage d'un nombre minimum de transformateur et des boutons poussoir
			Défaillance d'un bouton poussoir	Arrêt automatique du système	1	1	1	
			Défaillance d'un transformateur	Arrêt automatique du système	1	1	1	
Régulateur de pression	Régler la pression à l'entrée	Pas de réglage de pression	Fuite (usure des joints)	Mouvement anormal du vérin	1	1	1	Actions curatif
			Présence d'impureté provocante le blocage	Mouvement anormal du vérin	1	1	1	Actions curatif

Tableau 4.3 Analyse AMDEC des réservoirs de stockage

4.3.3 Analyse des risques par la méthode APR

Système : Unité de stockage et de distribution des carburants

Date : 25-30/06/2020

N°	Phase	Entité dangereuse	Événement causant une situation dangereuse	Situation dangereuse	Événement causant un accident	Accident potentiel	Effets ou conséquences	Echelle de cotation			Barrières de sécurité	
								P	G	C		
1	Remplissage de bac de stockage	Bac	Dysfonctionnement / Absence des organes d'indication et de contrôle du niveau	Sur remplissage de bac	Débordement de bac	Projection de carburant	Détérioration/ déformation de bac de stockage	2	4	8	Maintenance préventive des organes de sécurité. Dispositif d'arrêt d'urgence. Utilisation des jauges de niveau de bonne qualité	
			Défaillance de système de pompage									Rupture dans les zones corrodées ou fragiles
			Erreur humaine									
		Pipeline	Non-respect des consignes opérationnelles ou de sécurité	Choc ou contrainte mécanique sur le flexible de dépotage	Rupture/dévissem ent du flexible de dépotage	Fuite de carburant	Perte de carburant lors de rupture de flexible	3	3	9		Maintenance du matériel Formation périodique des chauffeurs-livreurs Utilisation de matériel antidéflagrant Sensibilisation
			Mauvaise conception ou usure du flexible			Nappe de carburant	Pollution					
			Erreur humaine									

2	Stockage de carburants	Bac	Transformer l'eau pénétrée au vapeur	Echauffement interne	Surpression du bac	Boil-over	Destruction complète du bac de stockage	1	5	5	Moyens d'extinction incendie. Vérification permanent des manomètres. L'élimination de la présence de la corrosion Maintenance curative des organes de sécurité de bac de stockage Redondance éventuelle au niveau des organes de sécurité
			Présence de carburant visqueux			Feu de bac à proximité	Incendie/Explosion				
			Source d'ignition								
		Fuite sur robe et accessoires de bac de stockage	Usure, corrosion	Débordement de carburant sur les installations	L'effet thermique sur le carburant débordé dans les installations	Inflammation à cause de (foudre, électricité... etc.)	Incendie	3	5	15	Détection de présence de carburant en cuvette Plan de modernisation, maintenance, inspection (risques de perte de confinement) Moyens d'extinctions incendie La collaboration avec les pompiers
			Défaut d'étanchéité des accessoires du bac (vannes, brides,...)			Feu de cuvette	Destruction complète du bac et les réservoirs a proximité				
			Agressions externes (effets thermiques ou de surpressions)			Feu de bac	Pollution				
			Présence d'une source d'ignition								

		Toit	Corrosion/ choc	Fuite de carburant	Rupture ou brèche	Projection de carburant / Fuite	Pollution de l'environnement	3	4	12	Envisager un contrôle périodique de l'état des joints et boulons Contrôler périodiquement l'état de la corrosion de la toiture des bacs et les tuyauteries
		Tuyauteries			Pertes des Caractéristiques (boulons et des joints)						
3	Fonctionnement	Durée d'exploitation	Protection insuffisante de l'enveloppe des réservoirs	Usure du réservoir	Perte de confinement au niveau du bac de stockage	Fuite de carburant	Pollution de l'environnement	1	4	4	Maintenance préventive régulière Protection active et passive contre la corrosion
			Absence de maintenance préventive	Corrosion							
		Foudre	Une étincelle électrique issue de la foudre	Éclair/arc électrique sur le stockage de carburant	Inflammation d'une fuite de carburant	Explosion / Incendie	Destruction de bac	Pollution	2	5	10
Défaillance / absence de mises à la terre											

4	Maintenance en froid des bacs	Réservoir d'eau	Perforation Vide corrodé	Fuite et perte d'eau	Incapacité totale de réseau	Incendie Explosion	Destruction de réservoir Dommages humains Pollution de l'environnement	2	5	10	Utilisation de système de redondance pour les pompes Formation des agents d'intervention Assurer la fiabilité, la disponibilité et la bonne qualité des équipements d'extinction Contrôler systématiquement l'état des tuyauteries
		Canalisations	Corrosion	Fissure ou perte d'épaisseur							
		Système de pompage	Fausse manœuvre / Fuite	Panne							
		Accessoires (joints, piquages, vannes, ...)	Dégradation et vieillissement des accessoires de réseau anti-incendie	Endommagement des accessoires	Perte de l'étanchéité des connexions avec la tuyauterie						
5	Remplissage de camion-citerne	Fuite lors de remplissage	Bras de chargement bloqué ouvert	Fuite de carburant Augmentation de la pression de camion-citerne	Projection de produit dans le poste de chargement	Incendie Explosion de citerne Dégât dans le poste de chargement	Dommages humains Détérioration de poste de chargement Pollution de l'environnement	4	3	12	Exiger un dispositif d'arrêt d'urgence Utilisation des bras de chargement de haute qualité Contrôleur automatique de pression Mettre en place une mise à la terre Prévoir des détecteurs de fuite
			Bouchons de vidange de citerne corrodée		Défaillance de la déconnexion d'urgence						
			Conteur de volume déréglé		Surpression de citerne						
			Défaillance de clapet de refoulement		Étincelle électrique (électricité statique)						
			Dispositif de commande ne fonctionne pas								
			Boîte électrique dénudée								

6	Dépotage de GPL vers les cigares	Bras de Déchargement GPL mal fonctionné	Fatigue de métal de bras de chargement	Fuite ou rupture de bras	Formation d'un nuage de vapeur	Inflammation par effet thermique	Détérioration de poste de dépotage	1	4	4	Contrôler périodiquement l'état de corrosion externe de la conduite Prévoir des simulations sur les fuites de gaz Formation des opérateurs
		Pipeline	Corrosion, usure	Vieillessement du pipeline	Rupture des canalisations Points faibles au niveau des soudures	Fuite enflammée du GPL	Asphyxie / Pollution de l'environnement	1	4	4	
				Perte d'épaisseur du pipeline							
7	Hors dépotage	Présence Du GPL gazeux	Réchauffement de GPL dans la conduite	Augmentation de la pression	Excès d'arrivée des gaz aux bacs Echappement des gaz	Blocage des soupapes en position ouverte engendrant une fuite de la conduite et/ou des bacs	Pollution de l'environnement Asphyxie du personnel	1	4	4	Superviser en permanence la pression de la conduite Entretien périodique les organes de sécurité Exiger le respect du débit au début du dépotage Exiger le respect du débit au début du dépotage
		Soupapes	Augmentation de la pression au niveau des bacs	Ouverture des soupapes	Evaporation importante						
					Panne dans de la boucle de réfrigération						
8	Pénétration d'un élément étranger	Malveillance	Mauvaise sécurisation du site	Pénétration des individus malveillants dans l'enceinte du site	Vandalisme les installations	Les Degas	Dérangement	1	1	1	Contrôle strict devant la porte d'entrée. La télésurveillance Portail verrouillé en dehors des heures de travail.

			Négligence		Le sabotage		Perturbation				
9	Travaux à proximité d'une canalisation de transfert de carburant	Engins	Non-respect des consignes	Choc de la canalisation par l'engin	Maniement de l'engin de travaux à proximité directe de la canalisation	Rupture de canalisation	Engin de travaux hors service Incendie Dégâts matériels	1	2	2	Canalisations signalées Interdiction d'intervention à moins de 5 m de la clôture sans permis de feu Mettre en place un plan de circulation
		Méconnaissance de réseaux des tuyauteries	Projection de carburant								
		Erreur humaine	Fuite enflammée par l'effet thermique								

Tableau 4.4 Analyse APR des bacs de stockage

Suite à l'analyse des risques qu'on établit précédemment et pour l'intervention en cas d'accident dont les conséquences concerne les personnes, les biens ou l'environnement. On propose une démarche à suivre pour un phénomène accidentologique, ainsi que les moyens d'intervention (selon le scénario), de protection, et l'estimation des besoins en hommes et matériel. Ici et à titre d'exemple on traite le scénario «Explosion d'un bac de stockage» (Tab 4.5).

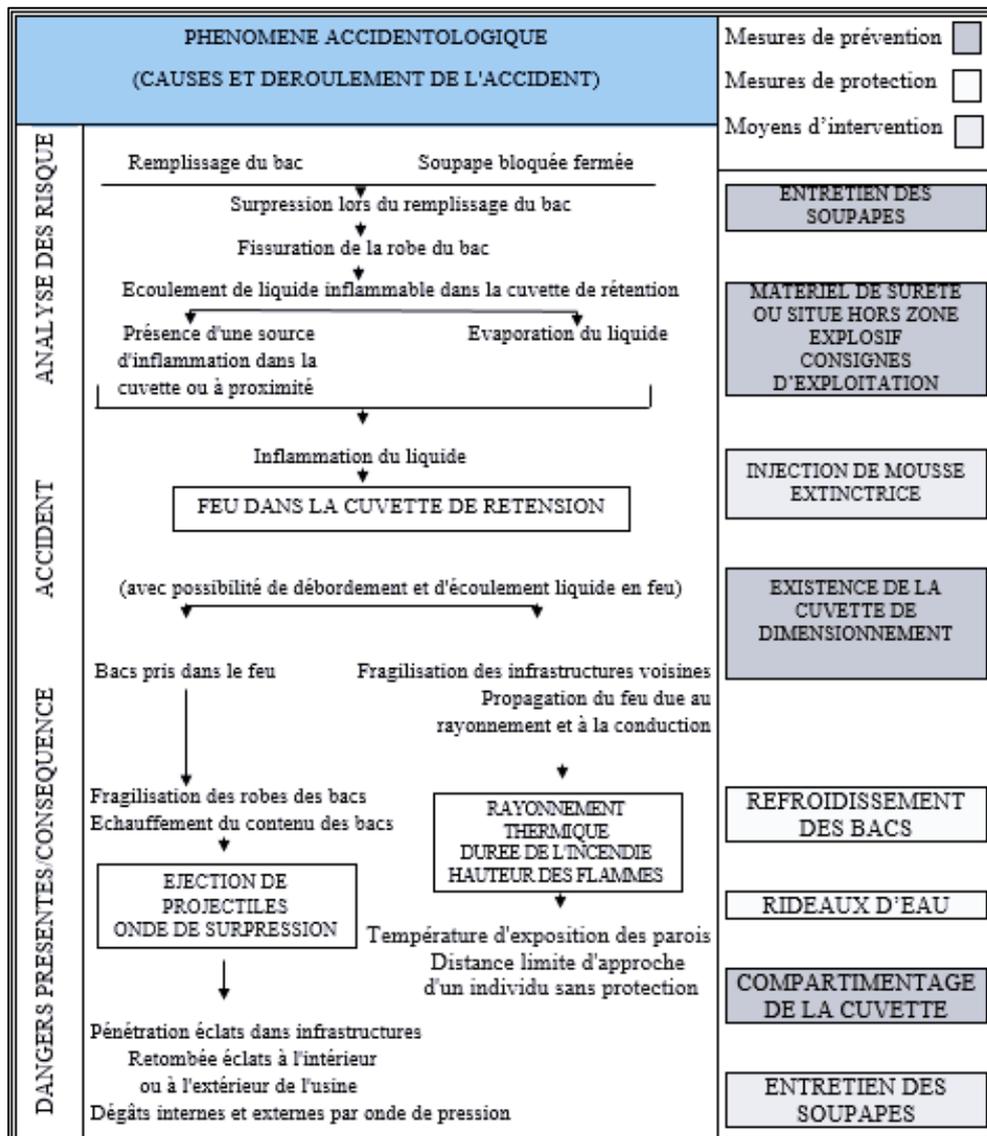


Tableau 4.5 Déroulement d'un scénario d'accident (Explosion d'un bac de stockage)

➤ **Discussion :**

L'APR est particulièrement intéressante dès les premières phases du cycle de vie des nouveaux systèmes pour lesquels on ne peut pas s'appuyer sur le retour d'expérience.

Comme l'indique son nom, l'APR constitue une étape préliminaire, permettant de mettre en lumière des éléments ou des situations nécessitant une attention plus particulière et en conséquence l'emploi de méthodes d'analyses de risques plus détaillées. Elle peut ainsi être complétée par une méthode de type AMDEC (criticité des pannes simples) ou arbre de défaillances.

Les résultats finaux de l'analyse des risques sont satisfaisants et encourageant pour l'entreprise, se résume assez bien comme une fonction combinée :

- De l'expérience de l'analyste des risques qui lui permet d'identifier l'ensemble des causes à l'origine des scénarios qu'il choisit de retenir ;
- De la connaissance des phénomènes par l'analyste et du degré de finesse du modèle employé qui permettent de définir les hypothèses les plus réalistes pour le scénario.

4.3.4 Limites des méthodes rencontrées lors de son application

➤ **Non prise en compte des facteurs externes au système**

Les facteurs externes au système étudié (conditions climatiques, agressions externe, environnement, facteurs humains) sont rarement pris en compte ou alors pas suffisamment.

En d'autres termes, il est indispensable de mener au préalable une phase d'identification des sources d'agressions externes.

➤ **Estimation du risque**

Les méthodes d'analyse des risques permettent au groupe de travail d'estimer les risques en termes de probabilité et de gravité. Au niveau de l'analyse des risques, cette estimation des risques est effectuée de manière simplifiée et ne pas être considérée comme un outil précis d'évaluation. Il est plus raisonnable de considérer que cette phase vise simplement à donner des indications sur les risques jugés à priori les plus significatifs en vue d'envisager des mesures de prévention et de protection devant être engagées.

En effet, il est parfois impossible de juger à priori de la gravité d'un accident potentiel tant le nombre de paramètres intervenant dans les résultats est important.

En résumé, la phase d'estimation des risques suite à l'utilisation de ces méthodes permet notamment d'identifier les risques les plus importants. Pour ces risques jugés les plus critiques, une évaluation plus fine de la gravité peut demeurer indispensable.

➤ **Exhaustivité**

Tous les outils d'analyse des risques visent à tendre vers la plus d'exhaustivité possible. Néanmoins, force est de constater qu'il est impossible de garantir une exhaustivité totale. En d'autres termes, leur utilisation ne garantit pas une identification complète de toutes les causes potentielles d'un accident majeur car :

- La richesse de ces méthodes s'appuie sur l'expérience acquise au sein du groupe de travail. Il semble néanmoins humainement impossible d'envisager toutes les causes

possibles d'un accident potentiel. Ce constat apparaît d'autant plus vrai que l'on traite le plus souvent d'événements ou de combinaisons d'événements particulièrement rares.

- La qualité des résultats et leur caractère exhaustif dépendent également du temps et des moyens consacrés à l'analyse. Plus ces moyens seront importants, plus on tendra vers une exhaustivité totale. Cette remarque met en outre en lumière l'importance du caractère itératif de l'analyse des risques.

En résumé, retenons donc que l'utilisation de méthodes d'analyse des risques tels que celles présentées précédemment constitue une aide précieuse pour l'identification des risques mais ne garantit pas à 100 % que tous les accidents susceptibles de survenir auront bien été identifiés.

Dans tous les cas, quelle que soit la méthode choisie, l'analyse des risques devrait se baser sur une évaluation multicritères.

4.3.5 Recommandations

Notre démarche s'intéresse à la fois à la prévention des situations anormales et à la limitation de leurs conséquences, c'est pour cela on propose un concept qui est structuré en cinq niveaux :

Prévention des anomalies de fonctionnement et des défaillances du système.

Il faut doter les installations d'une excellente résistance intrinsèque à l'égard de ses propres défaillances (conception prudente) ou d'agressions externes, afin de prévenir la sortie du domaine de fonctionnement normal.

Maintien de l'installation dans le domaine autorisé.

Il faut concevoir des systèmes de contrôle capables d'alerter et d'arrêter une évolution anormale susceptible de solliciter des matériels ou l'organisation au-delà des conditions souhaitables, choisies très en deçà des risques de défaillance.

Maîtrise des accidents à l'intérieur des hypothèses de conception.

Il s'agit ensuite de mettre en place les moyens de limiter à des niveaux acceptables les effets des accidents potentiels, même si cela demande la conception et l'installation de systèmes n'ayant aucun rôle dans le fonctionnement normal de l'installation. La mise en service de ces systèmes (dits de sauvegarde) doit être automatique et ne demander d'intervention humaine qu'après un temps suffisamment long pour que le diagnostic puisse être réalisé dans des conditions de calme suffisantes.

Prévention de la dégradation des conditions d'accident et limitation des effets.

Il s'agit des procédures ultimes cherchant à limiter les rejets provoqués par une situation très grave, et plus globalement, du plan d'urgence interne.

Limitation des conséquences pour les populations en cas d'accidents graves.

La nécessité de mesures de protection des populations suppose l'échec des mesures précédentes. Il s'agit ici des Plans Particuliers d'Intervention (PPI) élaborés avec la sécurité civile.

Il apparaît très important d'ajouter des points afin de remédier toutes situation critique :

- Mise à disposition des EPI spécifiques au personnel
- Mettre en place un plan de formation
- Affichage des règles de sécurité par poste
- Conception et construction du réservoir selon les normes et les standards reconnus (API650)
- Utiliser des joints de qualité pour les trous d'homme
- Applique les recommandations de la fiche d'inspection de réservoir
- Contrôle régulier de la résistance de la mise à la terre
- Rédaction de la procédure de la prise d'échantillon de la mesure manuelle de niveau
- Rédaction de la procédure de drainage
- La maintenance périodique des vannes
- Formation et sensibilisation des personnels sur l'explosion, l'incendie et les risques de l'électricité statique
- Purger l'eau en contenu (prévention du phénomène de boil-over)
- Réguler le débit et la vitesse à l'entrée de bac
- Vérifier les matériels de dépotage (les raccords...), et respecter leurs consignes.
- Respecter les procédures de remplissage et de vidange de bac, et assurer une bonne communication interne.
- Surveiller toute opération de purge.
- Assurer la bonne protection contre la corrosion
- Le nettoyage fréquent de la cuvette
- Le débouchage fréquent de regard d'évacuation

4.4 Comparaison des deux approches déterministe et probabiliste dans un processus complet d'analyse et de gestion des risques

4.4.1 Etape d'identification des dangers et de hiérarchisation des risques

Méthode déterministe	Méthode probabiliste
<p><i>Identification des dangers</i></p> <p>Les deux méthodes commencent par l'analyse des potentiels de danger de l'installation : analyse des événements d'origine "externe" à l'installation, puis des événements d'origine interne par la mise en œuvre le plus souvent d'une méthode inductive, APR, HAZOP, etc.</p> <p><i>Hiérarchisation des risques</i></p> <p>Pour les deux approches, il s'agit ensuite de hiérarchiser les événements identifiés en les classant le plus souvent selon leur Gravité et Fréquence. La cotation se fait alors de manière qualitative en déterminant des classes de Gravité / Fréquence puis une criticité.</p>	

4.4.2 Informations sur la maîtrise des risques

Méthode déterministe	Méthode probabiliste
<p><i>Information sur la maîtrise réelle des risques</i></p> <p>L'approche déterministe est très pauvre quant à l'information sur le système utilisée dans l'analyse.</p> <p><i>Politique de gestion des risques</i></p> <p>Aucune des deux approches n'est parfaitement adaptée à elle seule pour baser une politique globale de gestion des risques. En effet, des exemples ont montré que l'on n'accepte pas le risque d'une installation sur des critères seulement techniques.</p>	<p>L'approche probabiliste est beaucoup plus riche quant à l'information sur la maîtrise des risques.</p> <p>Par contre, cette approche nécessite d'être mieux cadrée voire améliorée, pour être utilisée dans une politique de gestion des risques communicable auprès du public.</p>

4.4.3 Quantification des scénarios choisis : calcul des conséquences

Méthode déterministe	Méthode probabiliste
<p><i>Variabilité des résultats</i></p> <p>Lors du calcul des conséquences d'un scénario, la variabilité dans les résultats peut être souvent importante, mais elle s'explique aussi facilement et rapidement.</p>	<p>Le calcul des zones de risque diminue sensiblement la variabilité liée au calcul des conséquences seules.</p> <p>En effet, le poids dans le risque global du site des scénarios (fortes conséquences, faible probabilité) est "nivelé" par des scénarios (conséquences moindres, probabilité non négligeable).</p>

4.4.4 Quantification des scénarios choisis : calcul des probabilités

Méthode déterministe	Méthode probabiliste
<p><i>Utilisation des bases de données</i></p> <p>Dans l'approche déterministe, seule est réalisée l'évaluation des conséquences du scénario envisagé en fonction des barrières de défense en place qui sont considérées soit présentes soit défaillantes.</p> <p><i>Temps de l'analyse</i></p> <p>L'évaluation déterministe des scénarios (seule évaluation des conséquences) est plus rapide à réaliser. Cette approche laisse plus de disponibilité pour conseiller l'exploitant, sur ses choix techniques et organisationnels par exemple.</p>	<p>Le calcul de probabilité des événements nécessite de disposer de bases de données fiables sur la fréquence des événements initiateurs.</p> <p>Cela nécessite d'organiser le retour d'expérience pour alimenter les bases de données. Or, le recueil d'informations n'est pas souvent adapté pour fournir une information précise et utilisable.</p> <p>L'évaluation des probabilités exige beaucoup de temps et d'expertise technique de la part de l'évaluateur des risques. Comme toute étude qui nécessite le jugement d'expert, elle est également source d'importantes d'incertitudes</p>

Note : Une certitude : pour toutes les activités industrielles, la probabilité d'incident ou d'accident ne peut pas être égale à zéro, quelle que soit l'importance des dispositions prises.

La règle retenue pour la mise en place des dispositions ayant pour but d'éviter les incidents et accidents ou de limiter leurs conséquences est la suivante : plus les conséquences d'un accident sont graves pour l'environnement, plus sa probabilité doit être rendue faible.

4.5 Avis globale sur l'Approche probabiliste / approche déterministe

Cette comparaison a permis d'éclaircir certaines zones d'ombres sur l'intérêt des approches probabilistes pour une politique transparente de gestion des risques.

La méthode probabiliste complète est très intéressante pour l'industriel qui a les moyens financiers de la faire réaliser. Si elle est associée à une démarche coût / bénéfice, cela permet de quantifier le gain de sécurité apporté par tel dispositif ou mesure de sécurité, et donc de constituer une aide à la décision précieuse pour faciliter les investissements sécurité et l'allocation des ressources humaines et financières.

L'analyse probabiliste des risques reste donc difficile à appréhender ou à interpréter pour des décideurs, en l'absence de critères précis d'acceptabilité. De même, la maîtrise des risques fondée sur une méthode purement déterministe n'est pas complètement réaliste.

4.6 Conclusion

Ce travail nous a permis d'identifier les différents scénarios d'accidents potentiels qui peuvent être initiés sur le site.

On a en premier lieu, réalisé un recueil de données sur l'unité GALA OIL en effectuant différentes visites d'installations et en interrogeant les techniciens et le chargé de sécurité.

Ensuite on a procédé à l'application des méthodes AMDEC et APR qui a permis la récapitulation des résultats et identification des accidents les plus probables, l'identification des accidents les plus pénalisants et l'estimation des conséquences de chaque accident et de ses effets possibles.

De ce fait, l'étude réalisée et les recommandations qu'on a proposées minimise fortement la gravité ainsi que la probabilité d'occurrence des événements dites non souhaité qui peuvent survenir sur le site.

CONCLUSION GENERALE

Pour avoir l'importance et l'efficacité escomptées, la maîtrise des risques doit faire partie intégrante de la gestion générale du système. Le contrôle technique des risques couvre toutes les méthodes, moyens, analyses, procédures et actions appliquées tout au long du cycle de vie d'un système afin d'éliminer les risques ou de les rendre acceptables.

C'est sur ce dernier point que nous avons commencé notre travail par clarifier les fondements de la sûreté de fonctionnement, ses principes et sa métrique.

En effet, après avoir cadré le concept de sûreté de fonctionnement, Par conséquent, nous avons passé en revue le concept de risque et ses corollaires tels que danger, phénomène dangereux, conséquence, dommage, gravité, fréquence d'occurrence, en les regroupant selon les liens sémantiques qui puissent exister entre eux. En outre nous avons abordé l'essentiel des activités relatives à la sécurité en commençant par le management des risques et son processus général qui contient justement, entre autres, l'analyse de risque.

La partie théorique a été finalisée par un long chapitre consacré aux méthodes de sûreté de fonctionnement appliquées en analyse des risques. Nous avons passé par la démarche suivie pour l'analyse des risques associés aux installations industriels d'une part et nous avons évoqué rapidement les principales méthodes tout en essayant de les situer selon leurs processus d'application d'autre part. Après avoir décelé les avantages et les limites des méthodes d'analyse choisies pour le développement de notre travail de recherche, nous avons trouvé intéressant de proposer ensuite les critères de choix d'une méthode plutôt qu'une autre dans l'étude d'un système donné pour répondre à la problématique.

Nous avons entamé la partie expérimentale de cette thèse par la détermination de la zone d'étude 'zone de stockage de carburants', en suite la détermination du dispositif de sécurité performant qui peut assurer la prévention ainsi que l'intervention afin de diminuer les dégâts. Nous avons établi une étude approfondie par deux méthodes d'analyse prévisionnelle de la sûreté de fonctionnement pour obtenir un maximum de résultats et de connaissances sur la fiabilité et la sécurité du système.

Enfin, nous avons comparé les approches de la sûreté de fonctionnement dans le processus de maîtrise des risques à partir des données a priori, ça nous a permis d'obtenir une idée globale sur la méthode utiliser ainsi d'établir les bonnes décisions pour une optimisation des performances des bacs de stockage de carburants en assurant un haut niveau de FDMS.

Les résultats sont satisfaisants et encourageant pour l'entreprise, mais l'école de sécurité cherche toujours à avoir un résultat meilleur et pour cela, on a proposé les recommandations nécessaires afin de réduire le taux d'occurrence des accidents et incidents non souhaités.

A l'issue de cette étude, en perspective quelques propositions dans le but de contribuer à l'amélioration de la situation sécuritaire et assurer le bon fonctionnement dans le futur :

- Reste à développer des études d'analyse des risques pour une évaluation de sécurité plus approfondie.
- Créer une interface conviviale pour que l'outil soit exploité et alimenté par des experts de l'entreprise.

ANNEXES

Repère	Désignation précise	Nb. de pages
A	Procédure mise en œuvre face à la pandémie Covid-19	3
B	Tableau récapitulatif des méthodes	1
C	Comparaison des méthodes de la sûreté de fonctionnement pour l'analyse des risques	1

Annexe A

COVID-19 et entreprises

Une pandémie de COVID-19 en rapport avec le virus SRAS-CoV-2 évolue depuis décembre 2019 à partir de la Chine, et en France depuis fin janvier 2020.

Face à cette épidémie, les ministères en charge de la santé et du travail diffusent régulièrement des messages de prévention à l'attention du public, des voyageurs, des professionnels de santé, des salariés et des chefs d'entreprise et les adaptent à la situation de l'épidémie.

En entreprise, l'employeur devra actualiser son évaluation des risques afin de décider des mesures adaptées à la continuité de l'activité, prenant en compte les consignes sanitaires propres à garantir la santé des salariés.

Lorsqu'un Plan de Continuité d'Activités (PCA) existe, et qu'il est diffusé dans l'entreprise, il peut être judicieux d'y prévoir un chapitre qui rassemble l'ensemble des mesures adoptées pour garantir la santé et la sécurité des salariés pendant toute la période de son application.

Un confinement étendu sur l'ensemble du territoire a été mis en place le 19 mars. Les déplacements ont été réduits au strict minimum. Se déplacer de son domicile à son lieu de travail n'est autorisé qu'à condition d'être muni d'une autorisation de déplacement dérogatoire ou d'un justificatif de déplacement professionnel (rempli par l'employeur)

Quels sont les modes de transmission du COVID-19 ?

On considère que des contacts étroits avec une personne infectée sont nécessaires pour transmettre la maladie : contact direct à moins d'un mètre lors d'une toux, d'un éternuement ou une discussion en l'absence de mesures de protection. Il n'existe pas d'étude prouvant une transmission interhumaine du virus par des aérosols sur de longues distances. Même si ce risque ne peut être totalement écarté, il n'est pas considéré comme le mode de transmission majoritaire en l'état actuel des connaissances.

Par ailleurs les coronavirus survivent quelques heures sur des surfaces inertes sèches et jusqu'à 6 jours en milieu humide. Dans ces conditions, la transmission par des mains sales portées au visage à partir de surface fraîchement contaminées paraît possible.

Aussi, les mesures de distanciation sociale et les gestes barrières sont indispensables pour se protéger de la maladie.

Quelles mesures organisationnelles mettre en place ?

Les mesures décrites ci-dessous visent à limiter les contacts physiques rapprochés ou prolongés entre les personnes présentes au sein d'une entreprise (salariés, public, intervenants extérieurs) compte tenu de l'évolution de l'épidémie de COVID-19 et des situations de travail :

Etablir des procédures pour l'accès des visiteurs et des clients (Fig. 1) :

- Limiter le nombre de visiteurs ou clients et organiser les files d'attente,

- Afficher des consignes générales d'hygiène,
- Mettre à disposition des solutions hydro-alcooliques dans la mesure du possible à l'entrée des bâtiments recevant du public,
- Mettre en place une distance de sécurité, voire des dispositifs spécifiques (interphone écrans plexiglas...) pour les postes exposés au public.
- Limiter l'accès aux espaces de convivialité et autres lieux de pauses collectives.

Pour les postes non éligibles au télétravail et pour lesquels le maintien de l'activité est jugé indispensable, les règles de distanciation sont mises en place :

- Organiser le maintien de l'activité en limitant le nombre de personnes présentes simultanément sur le lieu de travail ou dans un même local (horaires décalés...),
- Eviter les réunions et les rassemblements de personnes dans des espaces réduits,



Figure 1 Procédure mise en place par GALA OIL durant la pandémie COVID-19

Quelles mesures d'hygiène sont recommandées ?

Des mesures « barrière » (distanciation et hygiène de base) sont à mettre en œuvre pour tout individu aussi bien dans l'entreprise GALA OIL qu'en dehors de celle-ci afin de se protéger et de protéger les autres :

- Maintenir une distance d'au moins un mètre entre les personnes.
- Se couvrir la bouche et le nez avec le pli du coude ou avec un mouchoir à usage unique en cas de toux ou d'éternuement.
- Se moucher et ne cracher que dans des mouchoirs à usage unique, que l'on jette immédiatement à la poubelle.
- Se saluer sans se serrer la main, éviter les embrassades.
- Se laver soigneusement et régulièrement les mains, avec de l'eau et du savon et les essuyer avec des papiers à usage unique de préférence, en l'absence de point d'eau utiliser une solution hydro-alcoolique.
- Éviter de se toucher les yeux, le nez et la bouche.
- Le port d'un masque chirurgical ou d'un masque FFP2 est réservé à certaines catégories de professionnels particulièrement exposés selon des modalités bien définies par le Ministère de la santé.

Si des gants sont utilisés pour éviter que les mains se contaminent au contact des surfaces il convient d'être particulièrement vigilant : les gants se trouvent alors potentiellement contaminés et il faut donc impérativement respecter les mesures suivantes :

- Ne pas se porter les mains gantées au visage.
- Oter ses gants en faisant attention de ne pas toucher sa peau avec la partie extérieure du gant.
- Jeter ses gants dans une poubelle après chaque utilisation.
- Se laver les mains ou réaliser une friction hydro-alcoolique après avoir ôté ses gants.

Les personnels seront informés de ces bonnes règles d'hygiène de base et il faut s'assurer que les produits nécessaires sont à disposition en quantité suffisante.

Il convient dans tous les cas de rester très vigilant et d'éviter les erreurs de manipulation qui pourraient entraîner un risque de transmission.

Annexe B

Tableau récapitulatif des méthodes

Nom de la méthode	Objectif principal	Typologie
Méthode du Diagramme de Succès ou de fiabilité (MDS/MDF)	Modéliser le fonctionnement puis évaluer la fiabilité d'un système en considérant que le service globale de ce système résulte d'une mise en série et/ou en parallèle de services élémentaires.	Quantitative Inductive Statique
Méthode de l'Arbre de Défaillance ou de Défaut de de Faute	Représenter de façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'événements qui peuvent engendrer un événement redouté.	Quantitative Déductive Statique
Méthodes de l'Arbre des conséquences ou Arbre d'Evénements	Représenter sous forme de scénarios les conséquences potentielles d'un événement initiateur d'une défaillance.	Quantitative Inductive Statique
Méthode du Diagramme Causes-Conséquences	Décrire les scénarios d'événements redoutés à partir d'évènement initiateurs.	Quantitative Inductive et Déductive Statique
Analyse Préliminaire des Risques/Dangers (APR/APD)	Identifier les scénarios d'accident en présence de danger.	Qualitative Inductive Statique
Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité	Identifier les causes des modes de défaillances des composants sur les fonctions du système.	Quantitative Inductive Statique
HAZard and OPerability (HAZOP)	Identifier les dangers créés par une dérive des paramètres d'un procédé	Qualitative Inductive Statique
Hazard analysis Critical Control Point (HACCP)	Analyser les dangers qui pourraient se présenter dans le système, puis mettre en place des procédures de maîtrise et de surveillance préventive des points critiques	Qualitative Inductive Statique
Réseaux de Pétri	Modéliser le comportement dynamique d'un système réparable en présence de pannes.	Quantitative Inductive Dynamique
Simulation de Monte Carlo	Modéliser finement le comportement d'un système complexe.	Quantitative
Analyse temporelle	Identifier les interactions temporelles.	Qualitative
Processus de Markov	Modéliser la dynamique d'un système réparable en présence de différents états.	Quantitative Inductive Dynamique
Méthode du NoeudPapillon	Visualiser concrètement des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées.	Quantitative Inductive/Déductive Statique
Méthode de la Table de Vérité/Décision (MTV/MTD)	Identifier tous les états (fonctionnement ou panne) du système à partir des comportements binaires de ses composants.	Quantitative Inductive Dynamique
Methodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes/ Méthode Organisés Systémique d'Analyse de Risque (MADS/MOSAR)	Modéliser le danger comme un ensemble de processus au sens systémique du terme. Identifier à priori les dangers d'un élément d'installation et, par conséquent, aux risques si l'on connaît les cibles, dans un contexte donné.	Quantitative/Qualitative Déductive Statique

Annexe C

Comparaison des méthodes d'analyse des risques étudiées

Dans cette section, nous comparons les principales méthodes tout en basant sur un groupe de critères correspondant à des points clés caractérisant ces méthodes. Dans le tableau suivant, nous désignons par un '+' le niveau de détail pour chaque méthodes étudié précédemment.

Méthodes	Niveau de détail	Approche (D/P/DP) D : Déterministe, P : Probabiliste	Raisonnement (I/D/ID) I : Inductive, D : Dédutive	Phase de développement du système	Système Irréparable (I) Réparable (R)	Démarche : Qualitative Quantitative	Types de danger
APR	+	DP	Inductive	Conception développement	RI	Qualitative	Physique Ergonomique Pour la sécurité
AMDEC	++	D	Inductive	Conception Exploitation Modification	RI	Quantitative	Physique Pour la sécurité
ADD	+++	P	Dédutive	Conception Exploitation	RI	Quantitative	Pour la sécurité
HAZOP	++	D	Inductive	Exploitation	RI	Qualitative	Physiques
AAE	+++	P	Inductive	Exploitation	RI	Quantitative	Pour la sécurité
Nœud Paillon	++++	P	Inductive/D édutive	Exploitation	RI	Quantitative	Pour la sécurité
MOSAR MADS	+++	DP	Inductive	Développement Exploitation	RI	Quantitative/ Qualitative	Pour la sécurité
Graphe d'état	+	D	Inductive	Développement Exploitation	R	Quantitative	Pour la sécurité
DF	+	DP	Dédutive	Exploitation	RI	Quantitative	Pour la sécurité
What-if	++	D	Inductive	Conception Exploitation	RI	Qualitative	Physiques
HACCP	+++	D	Inductive	Conception Implémentation Exploitation (cas particulier)	/	Qualitative	biologiques, chimiques et physiques

Note : A titre de remarque, pour ce qui concerne la comparaison, il est également possible de construire son propre critères qui pouvant être employés pour comparer des méthodes d'analyse des risques.

BIBLIOGRAPHIE

- (1). **Patrick, P-W (2001)**. Société du risque: Nouvelle conception de danger. France: La découverte. 1.
- (2). **Leroy, A. Signoret, J-P (1992)**. Le risque technologique : Paris Presses universitaires de France.109.
- (3). **Mortureux, Y (2001)**. La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques.France: Technique de l'Ingénieur. AG4670 :1–17.
- (4). **Villemeur, A. (1988)**. Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité, facteurs humains, informatisation. Paris: Eyrolles.
- (5). **O'Connor, P. D. T. (2002)**. Practical Reliability Engineering Fourth Edition: Wiley.
- (6). Procaccia, H. et Morilhat, P (1996). Fiabilité des structures des installations industrielles. Eyrolles, Paris.
- (7). **Alin G, Mihalache (2007)** . Modélisation et évaluation de la fiabilité des systèmes mécatroniques : application sur système embarqué. Sciences de l'ingénieur: Université d'Angers, France.
- (8). **Leila, B (2015)**. Sûreté de Fonctionnement : Recherche des Scénarios Critiques dans les Systèmes Mécatroniques.Thèse doctorat: Sciences de l'Ingénieur.Annaba: UNIVERSITE BADJI MOKHTAR.
- (9). **X60-500, AFNOR (1988)**. Recueil de normes françaises : Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité. Afnor-Ute.
- (10). **NF EN133-06. AFNOR (1988)**. Recueil de normes françaises : Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité. Afnor-Ute.
- (11). **IEC-61508.4**. Répondre aux exigences de la norme de Sûreté de Fonctionnement Industriel. [En ligne] [Citation : 04 04 2020.] <<https://www.isit.fr/fr/article/iec-61508-repondre-aux-exigences-de-la-norme-de-surete-de-fonctionnement-industriel.php>>.
- (12). **Mortureux, Y(2000)**. La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques.France: Technique de l'Ingénieur.
- (13). **ISIT**. Répondre aux exigences de la norme de Sûreté de Fonctionnement Industriel. [En ligne] [Citation : 18 04 2020.] <<https://www.isit.fr/fr/article/iec-61508-repondre-aux-exigences-de-la-norme-de-surete-de-fonctionnement-industriel.php>>.
- (14). **BELEULMI, S (2016)**. Contribution à l'Analyse Bayésienne en Fiabilité des Systèmes Mécanique.Thèse de Doctorat en Sciences: Construction mécanique.Constantine: Université des frères MENTOURI.
- (15). **Openclassrooms**. Mesurez les différents temps de vie d'un système. [En ligne] [Citation : 15 07 2020.] <<https://openclassrooms.com/fr/courses/5263401-initiez-vous-a-la-surete-de-fonctionnement/6548336-mesurez-les-differents-temps-de-vie-dun-systeme>>.

- (16). **BOUCHIBA, A (2009)**. EVALUATION DE DYSFONCTIONNEMENT D'UN SYSTEME PAR APPROCHE BAYESIENNE : CAS DU SYSTEME FERROVIAIRE. Ecole doctorale d'Angers, Ecole doctorale de l'EMI, Laboratoire du Génie Industriel de l'Ecole Mohammadia d'Ingénieurs (IMOSYS). Maroc .
- (17). **Guitarni, I (2019)**. Analyse Quantitative des Risques : Application sur les Bacs de Stockage.These doctorat LMD: Sécurité Industrielle et Environnement.Oran: Université d'Oran 2.
- (18). **ASIS**. Gestion des risques . [En ligne] [Citation : 03 07 2020.] <http://www.unit.eu/cours/cyber risques/etage_3_aurelie/co/Module_Etage_3_synthese_30.html>.
- (19). **ZWINGELSTEIN, G (2009)** .Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels complexes: Exemple d'application.Toulouse: Editions T.I techniques de l'ingenieur.
- (20). **Henri P, Eric F and Marc P (2011)** . Sciences du risque et du danger : Fiabilité Et Maintenance Des Matériels Industriels Réparables Et Non Réparables: Lavoisier, Paris .
- (21). **VILLEMEUR, A (1988)**.Sûreté de Fonctionnement des systèmes industriels: Dunod edition, Paris.
- (22). **Mortureux, Y (2016)**. Fondamentaux de l'analyse de risque: Regard fiabiliste sur la sécurité industrielle.Toulouse: Edition coordonnée par Clotilde Gagey et Caroline Kamaté.
- (23). **ISO 31000**. NORMES INTERNATIONAL Risk management.
- (24). **ISO, 14971. (2000)**. Application de la gestion des risques aux dispositifs médicaux.
- (25). **BSI OHSAS 18001 (2005)**. Occupational Health and Safety Management Systems – Specification. England: BSI.
- (26). **PRINCIPES DE GESTION DES RISQUES POUR UN DÉVELOPPEMENT DURABLE**. [En ligne] [Citation : 03 06 2020.] <http://uved.univ-nantes.fr/GRCPB/sequence1/html/chap4_3.html>.
- (27). **CEI 61508 (1998)**. Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic (E/E/PE) safety related systems : International Electro-technical Commission (IEC).
- (28). **EN 292/ISO 12100 (1995)**. Sécurité des machines : Notions fondamentales, principes généraux de conception. ISO/CEN.
- (29). **Guide 73, ISO/CEI (2002)**. Management du risque – Vocabulaire – principes directeurs pour les inclure dans les normes. ISO/CEI.
- (30). **Denis-Remis, C (2007)**. Approche de la maîtrise des risques par la formation des acteurs .Thèse doctorat: Sciences et Génie des Activités à Risques.Paris: École Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- (31). **Mortureux, Y (2001)**. La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques.France: Technique de l'Ingénieur. AG4670 :1–17.
- (32). **Yasmine, B (2017)**. Evaluation des risques dans une cimenterie. Memoire de fin d'étude .

- (33). **INERIS.DRA (2006)**. Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle.
- (34). **Tixier, J (2002)**. Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants: Journal of Loss Prevention in the Process Industries.
- (35). **SITE GALA OIL** . [En ligne] [Citation : 06 06 2020.] <www.google earth.com>.