



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur 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

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle
Spécialité : Sécurité, Prévention, Intervention

Thème

Étude de fiabilité d'un système anti incendie à mousse dans un site industriel

mousse dans un site industriel

Présenté et soutenu publiquement par :

Nom et prénom :

- Mr. Boulahlib Amir Islem
- Mr. Kasri Sid Ali

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mme. Habbar Chafika	Maître de conférences A	Univ/Oran2 (IMSI)	Présidente
Mr. Guetarni Islam Hadj Mohamed	Maître de conférences B	Univ/Oran2 (IMSI)	Encadreur
Mme. Aissani Nassima	Maître de conférences A	Univ/Oran2 (IMSI)	Examinatrice

Année 2019/2020

Remerciements

Au nom de Dieu le Clément, le Tout Miséricordieux

Nous remercions tout d'abord Dieu de nous avoir offert tout ce que nous possédons et qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements au notre encadreur **Mr. Guetarni Islam Hadj Mohamed** pour avoir accepté de diriger et suivre la réalisation de notre mémoire, pour la qualité de son encadrement, et surtout pour ses conseils et ses et aides qui nous étés d'un grand apport.*

Nous remercions également les membres de jury Mme Habbar Chafika et Mme Aissani Nassima Pour avoir accepté de juger et critiquer ce travail, ainsi que tous ceux qu'ont honorés de leur présence.

On voudrait exprimer nos reconnaissances envers les amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de nos démarches.

Nous ne pouvons oublier de remercier tous les membres de nos familles pour leurs soutiens et leurs encouragements, particulièrement nos parents.

*Soyons reconnaissants aux personnes qui
nous donnent du bonheur; elles sont les
charmants jardiniers par qui nos âmes sont
fleuries.*

Marcel Proust

Dédicaces

À ma chère mère

(I WISH YOU A FAST RECOVERY)

*Ma raison d'être, ma raison de vivre, la lanterne qui
éclaire mon chemin.*

À mon cher père,

Pour tous les soutiens

Et les sacrifices dont il a fait preuve à mon égard.

À mes chères sœurs et mon cher frère

*Aucun mot, ni expression peuvent d'écrire votre
Implication dans mon épanouissement.*

À MES AMIS DE TOUJOURS :

Sidou, Zaki

*Seddik, Oussama, Billy et mon bras broda Abdou. En
souvenir de notre sincère et profonde amitié et des
moments agréables que nous avons passés ensemble.*

Et pour qui je porte bcp de respect

Amira et Hadjer

*Une spéciale dédicace à cette personne qui compte
De la énormément pour moi, à mon sourire et ma petite
famille in shaa Allah*

BESMA

Amir

Dédicaces

À ma chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il le faut. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force.

À mon cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Tu m'as donné un magnifique modèle de persévérance et de labeur.

Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

À mes chères sœurs (Sarah, Anaïs et Malak) qui m'ont toujours soutenu et encouragé. Puisse dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.

Une spéciale dédicace à cette personne qui compte énormément pour moi, qui m'a toujours aidé et encouragé, qui était toujours à mes côtés et qui m'a accompagné durant cette période d'étude. Et celle qui me redonne le sourire à chaque fois

Sabi.

*À toute ma famille, source d'espoir et de motivation
À mes aimables amis et mes collègues d'étude. Tout particulièrement amir.*

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet, je vous dis merci.

Sid Ali

Sommaire

- Remerciement
- Dédicace
- Liste des tableaux
- Liste des figures
- Acronyme
- Résumé

<i>Introduction générale</i>	1
------------------------------------	----------

CHAPITRE I

Introduction	3
I.1 Notion de danger et de phénomène dangereux :	3
I.1.1 Danger	3
I.1.2 Phénomène dangereux	3
I.1.3 Notion Risque :	3
I.1.4 Classification du risque :	4
I.1.5 Notions de dommage et de conséquence d'accident	4
I.1.5.1 Dommage :	4
I.1.5.2 Conséquence	5
I.1.6 Notions de gravité, de fréquence d'occurrence et d'exposition :	5
I.1.6.1 Gravité	5
I.1.6.2 Fréquence d'occurrence :	6
I.1.6.3 Exposition :	6
I.2 Les divers concepts de Sûreté de fonctionnement des systèmes :	7
I.2.1 Définition de la Sûreté de fonctionnement :	7
I.2.2 Système et composants :	7
I.2.3 Les Défaillances :	7
I.2.3.1 Les modes de défaillance	7
I.2.3.2 Champs de défaillances	8
I.2.4 Classification des défaillances :	8
I.2.5 Paramètres de sûreté de fonctionnement :	9
I.2.5.1 Fiabilité :	9
I.2.5.2 Disponibilité :	10
I.2.5.3 Maintenabilité :	11
I.2.5.4 Sécurité :	11
I.2.6 Métriques de la Sûreté de Fonctionnement :	12
I.2.7 Approche de la fiabilité par les probabilités	14
I.3 Les lois de probabilité utilisées en fiabilité :	15
I.3.1.1 La Loi exponentielle	15
I.3.1.2 La loi normale (deux paramètres μ et σ)	15
I.3.1.3 La loi log-normale (deux paramètres μ et σ) :	16
I.3.1.4 La loi de Weibull (trois paramètres β , γ et σ) :	16
I.3.2 Calculs de fiabilité d'un système :	17
I.3.2.1 Configuration en série :	17
I.3.2.2 Configuration en parallèles :	18

Introduction21

- IV.1 Les différentes approches de la sûreté de fonctionnement :.....21
 - II.1.1 I.1.1 Approches qualitatives ou quantitatives :.....21
 - II.1.2 Approches inductives ou déductives :.....21
 - II.1.3 Approches statiques/dynamiques :.....22
- IV.2 Analyse fonctionnelle :22
- IV.3 Analyse dysfonctionnelle :23
- IV.4 Méthodes d’analyse :23
 - II.1.4 ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES (APR)23
 - II.1.4.1 Historique :23
 - II.1.4.2 Principe :.....24
 - II.1.4.3 Déroulement :.....24
 - II.1.4.4 Limites et avantages :.....24
 - II.1.5 HAZOP.....25
 - II.1.5.1 Historique :25
 - II.1.5.2 Principe :.....25
 - II.1.5.3 Déroulement :.....25
 - II.1.5.4 Paramètres et mots-clés :.....27
 - II.1.5.5 Limites et avantages :.....28
 - II.1.6 AMDE(C)28
 - II.1.6.1 Historique :28
 - II.1.6.2 Principe de l’AMDEC :.....28
 - II.1.6.3 Principe de L’AMDE :28
 - II.1.6.4 Les différents types d'AMDEC :.....29
 - II.1.6.5 Démarche :.....29
 - II.1.6.6 Avantages et limites :31
 - II.1.7 ARBRE DES DÉFAILLANCES31
 - II.1.7.1 Historique :31
 - II.1.7.2 Principe :.....31
 - II.1.7.3 Élaboration de l'arbre :32
 - II.1.7.4 Exploitation de l’arbre des défaillances :33
 - II.1.7.5 Coupes minimales – Réduction d’arbre :34
 - II.1.7.6 Facteurs d’importance :.....34
 - II.1.7.7 Limites et avantages :.....34
 - II.1.8 Chaînes de Markov.....35
 - II.1.8.1 Historique :35
 - II.1.8.2 Principe :.....35
 - II.1.8.3 Déroulement :.....35
 - II.1.8.4 Graphe de Markov :.....36
 - II.1.8.5 Représentation :.....36
 - II.1.8.6 Matrice des probabilités Graphique d’état mobilisant la disponibilité :37
 - II.1.8.7 Simplification :.....40
 - II.1.8.8 Redondance :.....40
 - II.1.8.9 Avantages et limites :41

Conclusion	42
-------------------------	-----------

Chapitre III

Introduction :	43
III.1 Sécurité incendie active et passive :	43
III.2 Le Système de Protection Active Anti-Incendie	43
III.2.1 A pour objectif de :	43
III.2.2 Définition d'un réseau de protection contre incendie :	43
III.3 Liste des dispositifs de protection contre les incendies :	44
III.3.1 Système a Eau (Eau d'incendie)	44
III.3.1.1 Domaine d'application :	44
III.3.1.2 Alimentation en eau	45
III.3.1.3 Injection de produits chimiques :	45
III.3.1.4 Système de filtrage :	45
III.3.2 Systèmes CO2 :	45
III.3.2.1 Domaine d'application :	45
III.3.2.2 Alimentation en dioxyde de carbone :	46
III.3.3 Alimentation en mousse :	48
III.3.3.1 Principe :	48
III.3.3.2 Taux de foisonnement :	49
III.3.3.3 Émulseurs :	49
III.3.3.4 Différents types d'équipements anti-incendie à mousse :	51
III.4 Le réseau d'eau d'incendie doit être obligatoirement composé des éléments suivants :	53
III.4.1 Une réserve d'eau :	53
III.4.2 Un système de pompage :	53
III.4.2.1 Pompes principales :	53
III.4.2.2 Pompes auxiliaires :	54
III.4.3 Accessoires de la tuyauterie du réseau d'incendie :	54
III.4.3.1 A. Les Vannes de sectionnement :	54
III.4.3.2 B. Les Clapets anti-retour :	55
III.4.3.3 C. Les Indicateurs de pression :	55
III.4.3.4 D. Les armoires d'incendie :	55
III.4.3.5 Les prises d'eau :	57
III.4.4 Logigramme d'étude d'un réseau incendie :	59
III.4.5 Utilisateurs d'eau anti-incendie	59
Conclusion	60

Chapitre IV

Introduction	61
IV.5 Présentation de l'entreprise :	61
IV.5.5 Situation géographique du champ HMD :	61
IV.5.6 Description des installations de HMD :	62
IV.5.7 Description générale de l'usine ZCINA :	62
IV.5.8 Identification des Systèmes à étudier :	63
IV.5.9 Scénarios et phénomènes dangereux dans la zone de stockage condensat : ...	64

IV.6	Modélisation par le logiciel PHAST :.....	64
IV.2.1	Les données requis pour la simulation :.....	64
IV.2.2	Les résultats de simulation par logiciel Phast :	65
IV.2.3	Conclusion sur la modélisation par phast:	67
IV.7	Le système déluge à mousse comme barrière de sécurité :.....	67
IV.2.4	Description du système déluge à Mousse:	67
IV.2.5	Équipements et fonctionnement du système déluge à mousse:.....	68
IV.8	Analyse par ADD :	69
IV.2.6	Données d'étude de fiabilité du système à mousse :	69
IV.2.7	Construction de l'arbre :	70
IV.2.8	Résultats et discussion :	75
IV.2.9	Conclusion sur l'étude par la méthode d'analyse par arbre de défaillance :...79	
IV.9	Analyse par les chaines de Markov :	79
IV.2.10	Phase de repos :	79
IV.2.11	Phase d'intervention en cas d'incendie :.....	82
IV.2.12	Intégration des résultats :	84
IV.2.13	Conclusion sur l'étude par la méthode chaines de Markov :	85
	Conclusion	87
	Conclusion générale	88
	➤ Bibliographie	
	➤ Annexe	

Liste des tableaux

Tableau I- 1 : Échelles de gravité selon la norme ISO 14971 (ISO 14971, 2000).	5
Tableau I- 2 : Échelles de gravité selon la norme ISO 14971 (ISO 14971, 2000).	6
Tableau I- 3 : Classification des défaillances en fonction des effets.	9
Tableau I- 4 : La Loi exponentielle	15
Tableau I- 5 : La Loi normale	16
Tableau I- 6 : La Loi log-normale	16
Tableau I- 7 : La Loi Weibull	17
Tableau II- 1: Les quatre questions de base de l'AMDEC	29
Tableau II- 2: Les différents types d'AMDEC	29
Tableau II- 3 : matrice des taux de transition	38
Tableau IV- 1 : description des paramètres de service du bac	64
Tableau IV- 2 : les données requis pour la simulation	65
Tableau IV- 3 : les données de (λ et MTTR) des composants	69
Tableau IV- 4 : L'indisponibilité des autres sous-systèmes	76
Tableau IV- 5 : Facteurs d'importance et coupes minimal	76
Tableau IV- 6 : les données de (λ et MTTR) d'émulseur	77
Tableau IV- 7 : comparaison entre l'indisponibilité de système à mousse avant et après les modifications	78
Tableau IV- 8 : Les données des ($\lambda ; \sigma$)	80
Tableau IV- 9 : les différents états de sous-système pompe Jockey	81
Tableau IV- 10 : Les données des ($\lambda ; \sigma$)	81
Tableau IV- 11 : les différents états de sous-système pompe électrique	82
Tableau IV- 12 : les résultats de l'indisponibilité et la fiabilité du sous-système pompe jockey et sous-système pompe électrique.	82
Tableau IV- 13 : Les données des ($\lambda ; \sigma$)	82
Tableau IV- 14 : les différents états de sous-système pompe électrique et jockey	83
Tableau IV- 15 : les résultats de l'indisponibilité et fiabilité de sous-système pompe électrique et jockey	83
Tableau IV- 16 : les résultats de l'indisponibilité du sous-système pompe jockey et sous-système pompe électrique par l'ADD	84
Tableau IV- 17 : les résultats de l'indisponibilité du sous-système pompe jockey et électrique par l'ADD	85

Liste des figures

Figure I- 1: les classes d'un risque _____	4
Figure I- 2 : Les champs de défaillance _____	8
Figure I- 3 : la fiabilité décroissante avec le temps _____	10
Figure I- 4 : Allure de la courbe de maintenabilité _____	11
Figure I- 5 : Métriques de la Sûreté de Fonctionnement _____	12
Figure I- 6 : courbe en baignoire _____	13
Figure I- 7 : les graphes de la loi exponentielle _____	15
Figure I- 8 : les graphes de la loi normale _____	15
Figure I- 9 : les graphes de la loi log-normale _____	16
Figure I- 10 : les graphes de la loi Weibull _____	17
Figure II- 1 : les trois principales étapes.....	23
Figure II- 2 : Tableau type de la méthode APR	24
Figure II- 3 : Exemple d'une feuille HAZOP	27
Figure II- 4 : Organigramme de la méthode AMDEC	30
Figure II- 5 : Exemple d'une structure d'arbre de défaillance	33
Figure II- 6 : Représentation Graphique de chaîne de Markov.....	36
Figure II- 7 : Graphique d'état mobilisant la disponibilité	37
Figure II- 8 : Dispositif non réparable d'un système à deux entités	39
Figure II- 9 : Dispositif réparable d'un système à deux entités	39
Figure II- 10 : 1 Réparateur et 2 Réparateur	40
Figure II- 11 : Redondance active	40
Figure II- 12 : Redondance passive	41
Figure II- 13 : la fiabilité pour Chaîne de Markov à deux composants.....	41
Figure III- 1 : Système de protection contre la propagation de l'incendie avec un rideau d'eau _____	44
Figure III- 2 : Exemple d'extinction avec CO2 _____	46
Figure III- 3 : utilisation de la mousse contre le feu des hydrocarbures _____	48
Figure III- 4 : installation fixe classique de dispositif de mousse bas foisonnement _____	52
Figure III- 5 : dispositif de mousse sur un réservoir à toit fixe _____	52
Figure III- 6 : Logigramme d'étude d'un réseau incendie _____	59
Figure IV- 1 Situation géographique du champ HMD	61
Figure IV- 2 : Le bac de stockage de condensat (31C-RA-35-01 A).....	63
Figure IV- 3 : les zones de concentration du polluant sur site	65
Figure IV- 4 : les zones touchées par les radiations thermiques (Pool Fire) sur site	66
Figure IV- 5 : les zones touchées par les ondes de pression (bar)	66
Figure IV- 6 : réseau eau incendie.....	67
Figure IV- 7 : système déluge à mousse la zone de stockage de condensat	69
Figure IV- 8 : ADD de l'évènement redouté	71
Figure IV- 9 : suite ADD sys stockage d'eau	71
Figure IV- 10 : suite ADD sys pompes	72

Figure IV- 11 : suite ADD sys pompe diesel.....	72
Figure IV- 12 : suite ADD sys pompes jockey A et B	73
Figure IV- 13 : suite ADD sys pompes électrique A et B	73
Figure IV- 14 : suite ADD sys à mousse	74
Figure IV- 15 : suite ADD sys de détection de flamme	74
Figure IV- 16 : variation de l'indisponibilité de système à mousse global.....	75
Figure IV- 17 : variation de l'indisponibilité de système à mousse global.....	78
Figure IV- 18 : graphe d'état de Sous-système pompes jockeys	80
Figure IV- 19 : graphe d'état de Sous-système pompes électriques	81
Figure IV- 20 : graphe d'état de Sous-système pompes électriques et jockeys.....	83
Figure IV- 21 : intégration des résultats de chaine de Markov sur ADD.....	84
Figure IV- 22 : intégration des résultats de chaine de Markov sur ADD.....	85

Acronyme

AdD	Arbre de défaillance
AdE	Arbre d'Événement
AFFF	Mousses synthétiques : Mousse filmogène aqueuse
AMDE	Analyse des modes de défaillance et de leurs effets
AMDEC	Analyse des modes de défaillance et de leurs effets et de leur criticité
APR	Analyse préliminaire des risques
CM	Coupe minimale
CdM	Chaînes de Markov
FDMS	Fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité
FIC	Facteur d'importance probabiliste Critique
FID	Facteur d'importance de Diagnostic Fussel-Vesely
FIM	Facteur d'importance probabiliste marginale de Birnbaum
FIP	Facteurs d'importance probabilistes
FFFP	Filmogènes protéiniques
HAZOP	Hazard and opérabilité
ISO	Organisation nationale de normalisation
MDT	Durée moyenne d'indisponibilité (Mean Dawn Time)
MTBF	Durée moyenne entre deux défaillances consécutives d'une entité réparée. (Mean Time Between Failure)
MTTF	Durée moyenne de fonctionnement avant la première défaillance (Mean Time To Failure)
MTTR	Durée moyenne de réparation (Mean Time To Repair)

MUT	Durée moyenne de fonctionnement après réparation (Mean Up Time)
NF EN	Norme française
RIA	Robinet arme incendie
SDF	Sûreté de fonctionnement
TF	Taux de foisonnement
Sys	Système
CEI	Communauté des états indépendants
UIC	L'Union des Industries Chimiques
FMECA	Failure Modes Effects and Criticality Analysis
NASA	National aeronautics and space administration
MIF	Facteur d'Importance Marginale
CIF	Facteur d'Importance Critique
DIF	Facteur d'Importance de Diagnostic
RIF	Facteur d'Augmentation du Risque
RDF	Facteur de Diminution du Risque
RIA	Robinets d'incendie armés
HMD	Hassi-Massaoud
TVR	Tension de vapeur
UVCE	Unconfined vapour cloud explosion
DN	Diamètre nominale
UIC	Union internationale des chemains de fer

Résumé

La zone de stockage de condensat est l'une des unités de procédés où les scénarios les plus catastrophiques sont omniprésents. À cet effet, il est primordial d'implémenter des barrières de sécurité contribuant soit à la prévention soit à la protection soit à l'intervention, avec un haut niveau de fiabilité, disponibilité, maintenabilité et de sécurité suite à des analyses quantitatives approfondies sur les risques, afin de garantir une totale maîtrise de ces zones, et réduire la gravité et minimiser les conséquences de ces scénarios catastrophiques. Ce travail est consacré à l'étude et évaluation de la Disponibilité du système à mousse anti-incendie mis en place au niveau de l'usine GPL ZCINA spécifiquement dans le bac de stockage de condensat (31C-RA-35-01 A). Dans un premier lieu on a défini les principaux concepts de la sûreté de fonctionnement ainsi que les différentes lois de probabilité nécessaire pour la réalisation de cette étude. En deuxième lieu une brève présentation sur les différentes méthodes d'analyses a été élaborer AMDEC, APR, HAZOP, ADD, Chaines de Markov. À la fin et en terme de travail pratique on a appliqué le logiciel Phast pour modéliser les scénarios catastrophiques et par la suite une étude d'indisponibilité de réseau à mousse a été établi par une analyse statique (arbre de défaillance) et une analyse dynamique (les chaines de Markov) à l'aide de logiciel Isograph dans le but de définir le niveau recommandé de disponibilité et de fiabilité de notre système dans tous les états probable afin d'obtenir une efficacité d'intervention.

Mots clés : stockage de condensat, scénarios catastrophiques, réseau anti incendie à mousse, ADD, chaîne de Markov

Abstract

The condensate storage area is one of the process units where the most catastrophic scenarios are omnipresent. For this purpose, it is essential to implement an efficient safety barriers contributing either to prevention, protection or intervention, with a high level of reliability, availability, maintainability and safety following in-depth quantitative analyzes of the risks, in order to guarantee full control of these areas, and reduce the severity and minimize the consequences of these catastrophic scenarios. This work is devoted to study and evaluate the availability of the foam firefighting network implemented in ZCINA LPG plant specifically in the condensate storage tank (31C-RA-35-01 A). First, we defined the main concepts of dependability as well as the different probability distribution necessary for the realization of this study. Secondly, a brief presentation on the different analysis methods was developed FMECA, PRA, HAZOP, FTA, Markov chains. At the end and in terms of practical work, we applied the Phast software to model the catastrophic scenarios and subsequently, a study of the unavailability of the foam system by a static analysis (failure tree) and a dynamic analysis (Markov chains) using Isograph software in order to define the recommended level of availability and reliability of our system in all states I to obtain an effective intervention..

Key words: condensate storage, catastrophic scenarios, FTA, Markov chains

Introduction générale

L'industrie pétrolière et gazière constitue la pierre angulaire de l'économie algérienne. Au fil du temps l'industrie pétrolière s'est dotée d'installation opérationnelle moderne avec des coûts très élevés. Ces grands investissements sont dus à la capacité de production qui a augmenté et surtout aux bénéfices énormes obtenu par le pétrole et le gaz. D'où Il est évident que l'équilibre de la production doit être maintenu à un niveau très élevé. L'arrêt ou bien toute perte d'installations en raison de la non assurance de la fonction de sécurité entraîne non seulement un risque élevé pour les personnes concernées, mais entraîne également des coûts de maintenance et de remplacement des équipements considérable d'où, le risque de la perte la réputation de les entreprises concernées. Comme les plus désastreux scénarios catastrophiques surviennent au niveau de ces installations pétrolières il est primordial d'installer des barrières de sécurité de haute qualité en répondant à des exigences de disponibilité à la demande.

La barrière de sécurité installé à l'usine GPL ZINCA dans les zones de stockage de Condensat est le système à mousse anti incendie. Le système à mousse est capable de réduire la gravité des dommages causé par les scénarios catastrophiques En étouffant l'incendie et en empêchant l'air de se mélanger avec des vapeurs inflammables

Un système à mousse installé dans un complexe pétrolier doit être vraiment fiable et disponible pendant toute sa durée de vie en raison de la probabilité d'occurrence élevée des scénarios d'incendies et des effets dominos. Afin d'évaluer et de s'assurer de Son niveau de fiabilité, disponibilité, maintenabilité une étude 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.

Le travail est organisé comme suit :

Le premier chapitre présente un aperçu général sur les principales notions de base de la sûreté de fonctionnement à savoir ; les concepts de la fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité ainsi que la sécurité d'une manière générale en définissant la terminologie employer dans ces domaines selon les normes.

Le deuxième chapitre Présente les différentes approches de la sûreté de fonctionnement (Quantitative qualitative) (déductif/inductif) (statique/dynamique). Les principales démarches de ces méthodes seront également abordées ainsi que leur Avantage et limites.

Le troisième chapitre présent l'importance des réseaux inti incendie leurs rôles et les différents types du système à la fin de ce chapitre on va s'intéresser davantage sur le système à mousse.

Le quatrième chapitre présente la modélisation pour déterminer l'ampleur des scénarios catastrophiques au niveau de la zone de stockage des condensat par le logiciel PHAST puis évaluer la performance du système par deux méthodes d'analyse ; en premier temps par l'AdD comme une méthode classique pour répartir le système en plusieurs défaillance d'équipements, accordé par des portes logiques jusqu'à l'événement redouté (indisponibilité de système à mousse) .Ensuite on a utilisé une analyse dynamique (chaîne de Markov) pour évaluer le comportement du sous-système vis à vis la variation d'état (régime de repos et d'intervention ...) avec le logiciel isograph workbench.

À la fin une conclusion est établie pour mettre en évidence les résultats obtenus lors du développement de ce travail.

CHAPITRE I

Introduction

Depuis de nombreuses décennies, la sûreté de fonctionnement et plus particulièrement la sécurité sont devenues des enjeux cruciaux à la survie des sociétés. Cette considération repose essentiellement sur le concept de risque.

Dans ce chapitre nous procédons à clarifier certains termes et concepts tels que danger, risque, phénomène dangereux, dommage ... Par la suite, nous citons les principales notions de base de la sûreté de fonctionnement à savoir ; les concepts de la fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité ainsi que les paramètres qui interviennent dans l'évaluation de ses concepts. Enfin nous allons décrire la sûreté de fonctionnement des systèmes montés en série et en parallèle.

I.1 Notion de danger et de phénomène dangereux :

I.1.1 Danger

Définitions :

1. (La norme iso 45001):
 - Source susceptible de causer traumatisme et pathologie.
 - Note 1 à l'article : Les dangers peuvent inclure les sources susceptibles de causer un dommage ou des situations dangereuses, ou des circonstances d'exposition potentielle conduisant à des traumatismes et pathologies. [1]

I.1.2 Phénomène dangereux

Définitions :

1. (ISO 14971, 2000), (CEI 300-3-9, 1995), (EN 292/ISO 12100, 1995) Source potentielle de dommage. [1]

I.1.3 Notion Risque :

Définitions :

1. (La norme iso 45001)
 - Effet de l'incertitude.
 - Note 1 à l'article : Un effet est un écart, positif ou négatif, par rapport à une attente.
 - Note 2 à l'article : L'incertitude est l'état, même partiel, de manque d'information qui entrave la compréhension ou la connaissance d'un événement, de ses conséquences ou de sa vraisemblance. [1]

I.1.4 Classification du risque :

Généralement, les niveaux de gravité et de probabilité d'occurrence sont croisés dans une matrice de criticité afin de positionner les zones de risque.

- **Risque négligeable** : Un risque négligeable n'est pas pris en compte dans l'évaluation globale du risque lié à un système.
- **Risque acceptable** : La définition du risque acceptable peut être classée en deux catégories: Celle dont l'acceptabilité est basée essentiellement sur les valeurs de la société, et celle dont l'acceptabilité est rattachée à la prise de décision.
- **Risque tolérable (Tolerable risk)** : C'est un risque non négligeable qui, dans un certain contexte, peut être accepté avec vigilance. La tolérabilité du risque résulte d'une mise en balance des avantages et des inconvénients liés à une situation, qui sera soumise à une révision régulière afin d'identifier, à chaque fois que cela sera possible, les moyens permettant d'aboutir à une réduction du risque.
- **Risque résiduel (Residual risk)** : C'est un risque qui subsiste même après son traitement par les différentes mesures possibles. Un risque résiduel non tolérable est désigné comme un risque inacceptable.

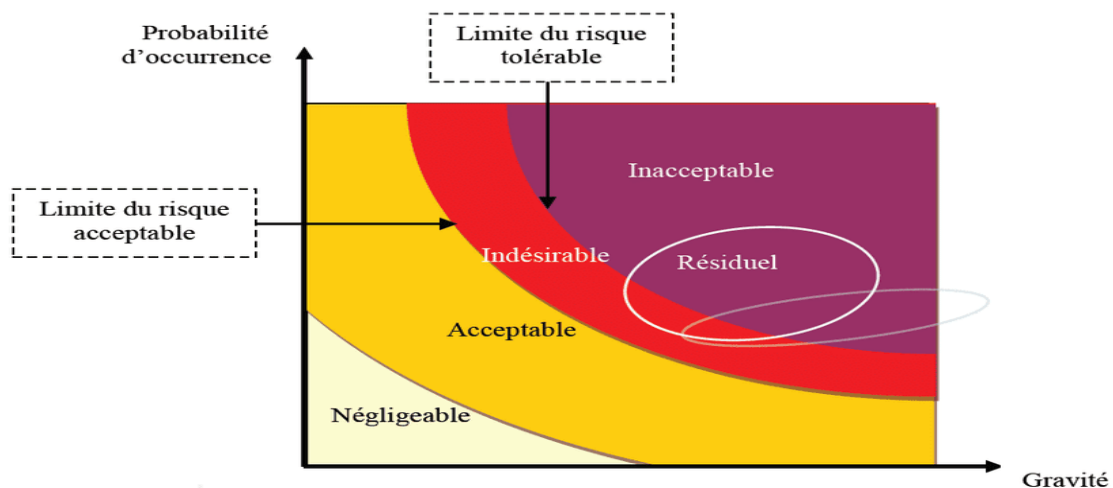


Figure I- 1: les classes d'un risque.

I.1.5 Notions de dommage et de conséquence d'accident

I.1.5.1 Dommage :

Définition :

1. (NF EN 61508, Décembre 1998), (CEI 1050, Février 1991) Blessure physique ou atteinte à la santé affectant des personnes soit directement soit indirectement comme conséquence à un dégât causé aux biens ou à l'environnement. [1]

I.1.5.2 Conséquence

Définitions :

1. (ISO/CEI Guide 51, 1999) Résultat d'un événement. Il peut y avoir une ou plusieurs conséquences d'un événement. Les conséquences peuvent englober des aspects positifs et des aspects négatifs. Cependant, les conséquences sont toujours négatives pour les aspects liés à la sécurité. Les conséquences peuvent être exprimées de façon qualitative ou quantitative. [1]

I.1.6 Notions de gravité, de fréquence d'occurrence et d'exposition :

I.1.6.1 Gravité

Définition :

La gravité est la valeur accordée à l'événement. Il est plus parlant, puisque l'on parle d'événements redoutés, de dire « le prix que l'on est prêt à mettre pour éviter l'événement ». Il faut tout de suite remarquer que la gravité est une grandeur subjective. Elle dépend de l'événement, mais tout autant du point de vue duquel on l'évalue.

Il convient de définir un nombre pair de classes de gravité par soucis d'éviter la tendance de retenir la position médiane d'une classification impaire. Il convient aussi de choisir des termes révélateurs et distinctifs afin d'éviter les mauvaises interprétations en cas d'audit ou de demande d'avis d'experts. En effet, certains préfèrent tout simplement numéroter les classes de gravité (niveau 0, niveau 1, niveau 2, niveau 3). [1] Dans le domaine du risque professionnel, la gravité concerne essentiellement les préjudices portés à l'Homme. Ceci amène à définir des échelles de gravité dans la forme suivante (voir Tableau I-1) :

Tableau I- 1 : Échelles de gravité selon la norme ISO 14971 (ISO 14971, 2000).

Gravité	Signification
Négligeable	Incident n'exigeant aucun acte médical
Minime	Légères blessures relevant des premiers soins (ne nécessitant pas un traitement médical)
Mineure	Blessures ou maladies mineures nécessitant un traitement médical
Majeure	Blessures ou maladies graves, infirmité permanente
Catastrophique	Décès d'une ou plusieurs personnes

CHAPITRE I

I.1.6.2 Fréquence d'occurrence :

Les classes de fréquence présentées dans la table suivantes (voir Tableau I-2) sont proposées dans la norme NF EN 50126 :

Tableau I- 2 : Échelles de gravité selon la norme ISO 14971 (ISO 14971, 2000).

Niveau	Description
Invraisemblable	Extrêmement improbable. On peut supposer que la situation dangereuse ne se produira pas
Improbable	Peu susceptible de se produire mais possible. On peut supposer que la situation dangereuse peut exceptionnellement se produire
Rare	Susceptible de se produire à un moment donné du cycle de vie du système. On peut raisonnablement s'attendre à ce que la situation dangereuse se produise
Occasionnel	Susceptible de survenir à plusieurs reprises. On peut s'attendre à ce que la situation dangereuse survienne à plusieurs reprises
Probable	Peut survenir à plusieurs reprises. On peut s'attendre à ce que la situation dangereuse survient souvent
Fréquent	Susceptible de se produire fréquemment. La situation dangereuse est continuellement présente

I.1.6.3 Exposition :

La notion d'exposition en situation dangereuse a été définie par la norme européenne EN 292 (EN 292/ISO 12100, 1995) comme : « Situation dans laquelle une personne est exposée à un ou des phénomènes dangereux ». Le facteur d'exposition est estimé en fonction des besoins d'accès à la zone dangereuse, de la nature de l'accès, du temps passé dans la zone dangereuse, du nombre de personnes demandant l'accès et de la fréquence d'accès. [1]

I.2 Les divers concepts de Sûreté de fonctionnement des systèmes :

I.2.1 Définition de la Sûreté de fonctionnement :

Au sens large, la sûreté de fonctionnement sera définie comme la science des défaillances ; elle inclut ainsi leur connaissance, leur évaluation, leur prévision, leur mesure et le maîtrise.

Au sens strict, la sûreté de fonctionnement est l'aptitude d'une entité à satisfaire à une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. Elle peut être caractérisée par les concepts (Fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité.)

L'objet de la sûreté de fonctionnement est de fournir des outils permettant l'analyse et la mesure de l'aptitude d'un système de remplir une fonction.

I.2.2 Système et composants :

Un système est défini comme un ensemble d'éléments discrets qui interagissent entre eux. Tout système se caractérise par une ou plusieurs fonctions qu'il doit accomplir. Les éléments définissant un système sont :

- Les fonctions à assurer par le système.
- L'architecture du système, qui comprend les divers composants mis en jeu et leurs connexions.
- Le système d'exploitation, qui représente les comportements du système durant son fonctionnement. Cela comprend les diverses actions en réponse aux événements : cela va de la sollicitation d'un dispositif de sécurité (système d'alarme, mesures de sécurité) aux changements de configurations du système (modes de secours) en passant par les maintenances de certains composants.

La définition des composants d'un système peut se faire de multiples façons. En effet, un composant peut être lui-même décomposé en sous composants.

I.2.3 Les Défaillances :

Définitions :

- C'est la cessation de l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise.
- Une défaillance est « l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonction(s) requise(s) avec les performances définies dans les spécifications techniques », d'après la norme AFNOR 60010 X. [2]

I.2.3.1 Les modes de défaillance

Il est important de distinguer, pour un composant, les défaillances qui ont des conséquences différentes et qui, donc, entraînent des comportements différents du système. Ces diverses

défaillances sont appelées modes de défaillance du composant. La définition donnée par la Commission Électrotechnique Internationale est la suivante : « Un mode de défaillance est l'effet par lequel une défaillance est observée ». [2]

I.2.3.2 Champs de défaillances

- Défaillance aléatoire :

Défaillance dont l'apparition et la durée sont aléatoires types de défaillances

- Défaillance progressive :

Défaillance due à une évolution dans le temps des caractéristiques d'une entité. En général, une telle défaillance peut être prévue par un examen ou une surveillance antérieure

- Défaillance soudaine :

Défaillance qui ne se manifeste pas par une perte progressive des performances et qui ne pouvait être prévue par un examen ou une surveillance.

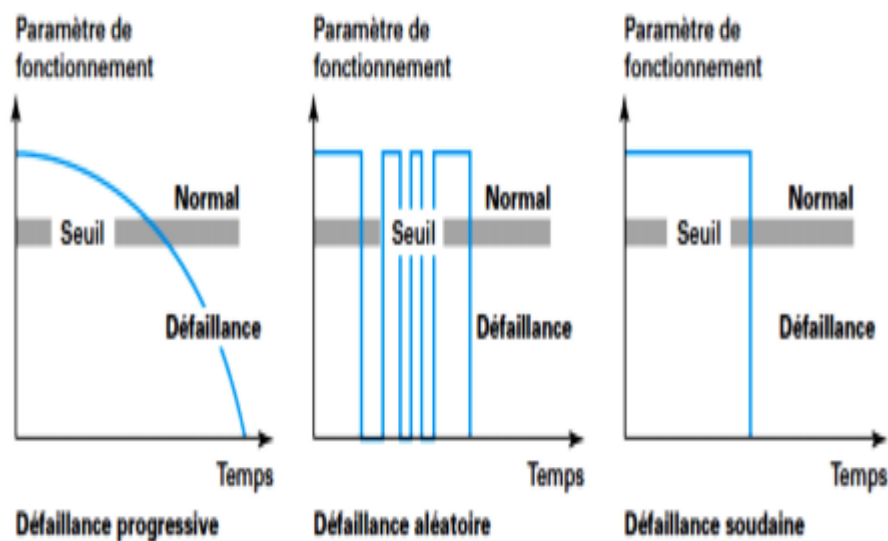


Figure I- 2 : Les champs de défaillance

I.2.4 Classification des défaillances :

Les défaillances dans un système peuvent avoir des effets différents. Certaines défaillances n'affectent pas directement les fonctions du système et ne nécessitent qu'une action corrective ; d'autres, en revanche, affectent la disponibilité ou la sécurité. [2]

Tableau I- 3 : Classification des défaillances en fonction des effets.

Défaillance mineure	Défaillance qui nuit au bon fonctionnement d'un système en causant un dommage négligeable au système ou 'à son environnement sans présenter de risque pour l'homme
Défaillance significative	Défaillance qui nuit au bon fonctionnement sans causer de dommage notable ni présenter de risque important pour l'homme
Défaillance critique	Défaillance qui entraîne la perte d'une (ou des) fonction(s) essentielle(s) du système et cause des dommages importants au système en ne présentant qu'un risque négligeable de mort ou de blessure.
Défaillance catastrophique	Défaillance qui occasionne la perte d'une (ou des) fonction(s) essentielle(s) du système en causant des dommages importants au système ou 'à son environnement et/ou entraîne la mort ou des dommages corporels

I.2.5 Paramètres de sûreté de fonctionnement :

Le SDF prend en compte et traite des défaillances à partir des paramètres fondamentaux qui sont appelés FDMS pour Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité et Sécurité (RAMSS pour Reliability, Availability, Maintainability, Safety and Security). La fiabilité est la continuité du service, la disponibilité est le fait d'être prêt à l'utilisation, la maintenabilité est l'aptitude à être réparé et la sécurité est l'aptitude à ne pas provoquer d'accidents catastrophiques.

I.2.5.1 Fiabilité :

La norme NF X 60-500 définit la fiabilité comme : C'est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée. [3]

La lettre **R** est utilisée souvent pour noter la mesure de la fiabilité parce qu'en anglais (en américain), Fiabilité se dit Reliability.

La fiabilité est généralement mesurée par la probabilité qu'une entité E accomplisse une fonction requise, dans les conditions données, pendant l'intervalle [0, t]

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

$R(t)$ est une fonction non croissante variant de 0 à 1 sur $[0, +\infty [$

- $t \rightarrow +\infty R(t) = 0$

L'aptitude contraire sera dénommée <<dé fiabilité>> Elle est le complément à 1 de la fiabilité : sa mesure et notée $F(t)$.

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

La fiabilité est une fonction décroissante du temps (Figure I-3), de telle manière que :

- $R(t_1) > R(t_2)$ si $t_1 < t_2$.

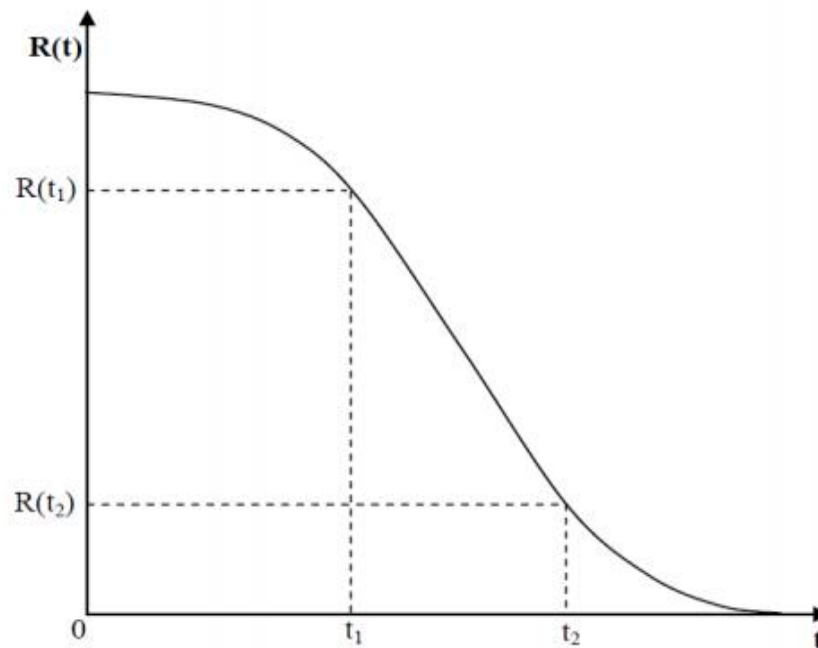


Figure I- 3 : la fiabilité décroissante avec le temps

I.2.5.2 Disponibilité :

La norme AFNOR X 60-500 définit la disponibilité comme « l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires de maintenance soit assurée ». [3]

La disponibilité est généralement mesurée par la probabilité qu'une entité E soit en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et un instant donné.

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

Dans le cas d'un composant non réparable, la disponibilité et la fiabilité se confondent :

- $A(t) \sim R(t)$.

Dans le cas contraire :

- $A(t) \geq R(t)$.

L'indisponibilité $U(t)$ est le complément à 1 de la disponibilité, est définie comme étant :

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

I.2.5.3 Maintenabilité :

Suivant la norme AFNOR c'est : « dans les conditions données d'utilisation, l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie, sur un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits ». [3]

Elle se caractérise par la probabilité $M(t)$ d'être en état, à l'instant t , d'accomplir ces fonctions sachant qu'elle était en panne à l'instant 0.

- $M(t)$ est une fonction non décroissante variant de 0 à 1 sur $[0, +\infty [$;
- $M(t) = P$ (la maintenance de E est achevée au temps t) = $1 - P$ (E non réparée sur la durée $[0, t]$)
- $M(t) = 1$

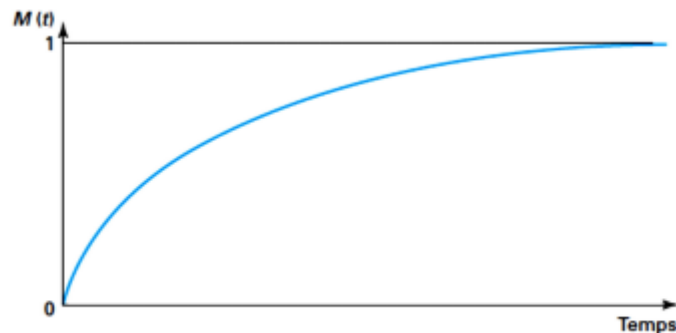


Figure I- 4 : Allure de la courbe de maintenabilité.

I.2.5.4 Sécurité :

Aptitude d'une entité à ne pas causer de dommages dans des conditions données ou à ne pas faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques.

La sécurité généralement est mesurée par la probabilité qu'une entité E évite de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques et catastrophiques. [3]

- $S(t) = P$ [E évite des événements critiques ou catastrophiques sur $[0; t]$]

I.2.6 Métriques de la Sûreté de Fonctionnement :

Les grandeurs, présentées ci-après caractérisent des durées moyennes associées à la sûreté de fonctionnement :

- **MTTF** (Mean Time To Failure) : durée moyenne de fonctionnement avant la première défaillance.
- **MTTR** (Mean Time To Repair): durée moyenne de réparation
- **MUT** (Mean Up Time): durée moyenne de fonctionnement après réparation
- **MDT** (Mean Down Time): durée moyenne d'indisponibilité. Cette durée comptabilise le temps de détection de la panne, le temps de réparation et la remise en service.
- **MTBF** (Mean Time Between Failures): durée moyenne entre deux défaillances consécutives d'une entité réparée.

$$MTBF = MDT + MUT$$

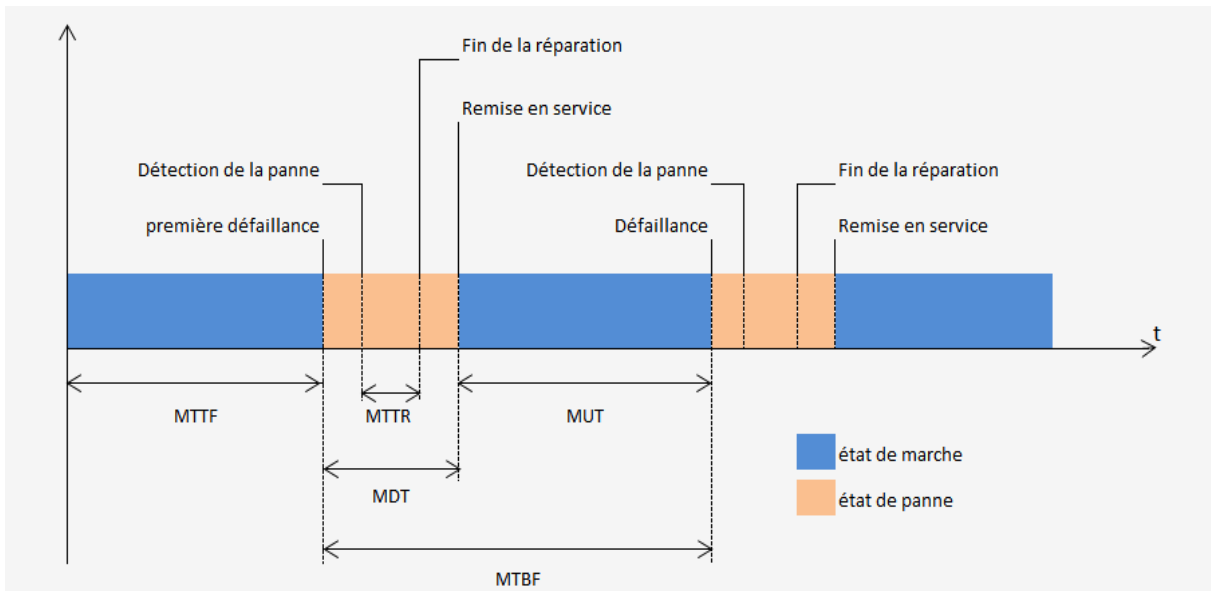


Figure I- 5 : Métriques de la Sûreté de Fonctionnement

- **Le taux de défaillance, généralement noté $\lambda(t)$:**

C'est un taux horaire (homogène à l'inverse d'un temps) représentant la probabilité que le composant tombe en panne entre t et $t+dt$, sachant qu'il a fonctionné de 0 à t . Il est défini de la manière suivante (en appelant les probabilités P) : [4]

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

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

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

CHAPITRE I

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

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

$$\lambda(t) \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \times \frac{(1 - R(t + \Delta t)) - (1 - R(t))}{R(t)}$$

D'où :

$$\lambda(t) \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \times \frac{R(t + \Delta t) - R(t)}{\Delta t \cdot R(t)}$$

On a ainsi:

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

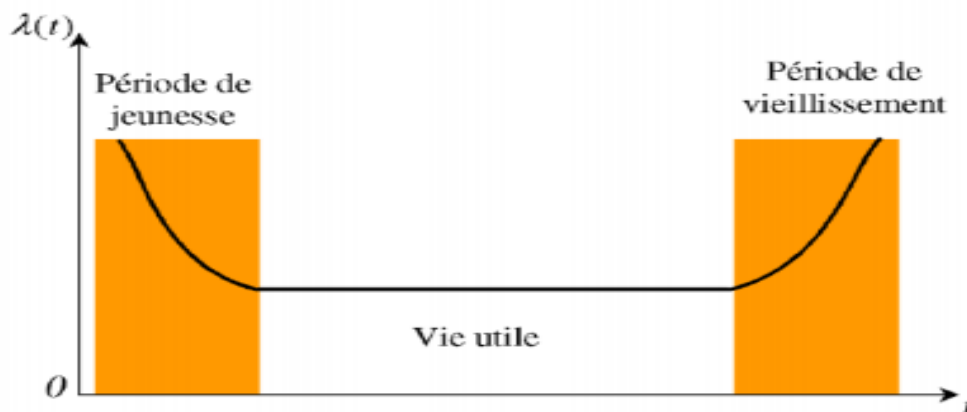


Figure I- 6 : courbe en baignoire

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).

- **Le taux de réparation, généralement noté $\mu(t)$**

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

$$\mu(t) \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot P [\text{panne du composant entre } t \text{ et } t + \Delta t \text{ sachant qu'ellen 'apas eu lieu entre } 0 \text{ et } t]$$

En introduisant la maintenabilité, on démontre de la même manière que :

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

I.2.7 Approche de la fiabilité par les probabilités

En général, les composants d'un système font l'objet d'une période de mise en service (pour éviter les défaillances de « jeunesse ») et de maintenance préventive (pour éliminer les défaillances d'usure). Ainsi, durant la période de fonctionnement du système, l'approximation des taux constants est souvent admise. En considérant le taux de défaillance $\lambda(t) = \lambda$ et le taux de réparation $\mu(t) = \mu$ constants alors on peut écrire, à partir des principes des sections Fiabilité ainsi que des équations Taux défaillance réparation :

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} \dots\dots\dots (1.1)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \dots\dots\dots (1.2)$$

$$A(t) = \frac{\mu}{(\lambda + \mu)} + \frac{\lambda}{(\lambda + \mu)} \times e^{-(\lambda + \mu) \cdot t} \dots\dots\dots (1.3)$$

$$U(t) = \frac{\lambda}{(\lambda + \mu)} \times (1 - e^{-(\lambda + \mu) \cdot t}) \dots\dots\dots (1.4)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (1.5)$$

$$MDT = \frac{1}{\mu} \dots\dots\dots (1.6)$$

On calcule les valeurs asymptotiques de la disponibilité $A(\infty)$ et de l'indisponibilité $U(\infty)$:

$$A(\infty) = \frac{\mu}{(\lambda + \mu)} = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \text{ et } U(\infty) = \frac{\lambda}{(\lambda + \mu)} = \frac{MDT}{MTBF + MDT}$$

En considérant la définition des paramètres temporels, on remarque que la disponibilité asymptotique correspond à la proportion de temps pendant lequel l'entité est en état de fonctionner et que, de même, l'indisponibilité asymptotique correspond à la proportion du temps pendant lequel l'entité est en panne. Il est démontré que ce résultat est aussi valable lorsque les taux et ne sont pas constants.

Dans le cas où le temps moyen de réparation est négligeable par rapport au temps moyen de fonctionnement, on peut exprimer l'indisponibilité par : $U(\infty) = \frac{\lambda}{\mu}$

I.3 Les lois de probabilité utilisées en fiabilité :

I.3.1.1 La Loi exponentielle

Tableau I- 4 : La Loi exponentielle

Densité de défaillance	Défiabilité	Taux de défaillance	Temps moyen de fonctionnement
$U(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}$	$1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}$	$\lambda(t) = \lambda$	MTTF = $1/\lambda$

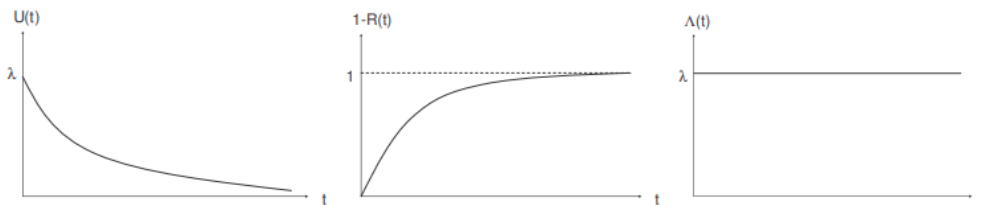


Figure I- 7 : les graphes de la loi exponentielle

Notons que pour la loi de probabilité exponentielle, le taux de défaillance est égal à λ et la moyenne de la loi, c'est-à-dire le temps moyen de fonctionnement, est égal à $1/\lambda$. Le paramètre de loi se confond avec le taux de défaillance λ . On emploiera souvent le terme λ pour qualifier le taux de défaillance λ (et respectivement pour le taux de réparation μ). Les simplifications induites par cette loi font qu'elle est très souvent employée pour les calculs de sûreté de fonctionnement. [4]

I.3.1.2 La loi normale (deux paramètres μ et σ)

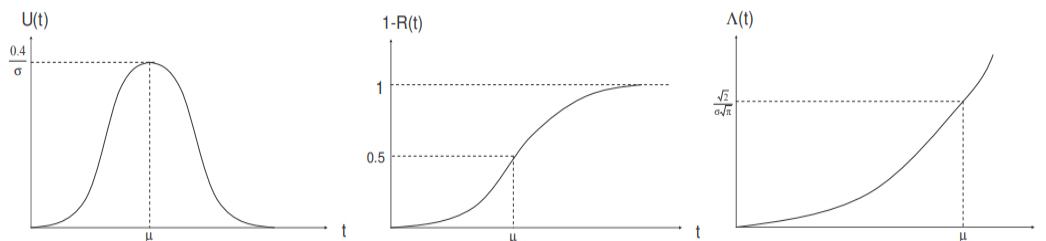


Figure I- 8 : les graphes de la loi normale

CHAPITRE I

Tableau I- 5 : La Loi normale

Densité de défaillance	Défiabilité	Taux de défaillance	Temps moyen de fonctionnement
$U(t) = \frac{1}{\sigma \cdot t \cdot \sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2}$	$1-R(t) = \frac{1}{\sigma \cdot t \cdot \sqrt{2\pi}} \times \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$	$\lambda(t) = \frac{U(t)}{R(t)}$	$MTTF = \mu$

I.3.1.3 La loi log-normale (deux paramètres μ et σ) :

Tableau I- 6 : La Loi log-normale

Densité de défaillance	Défiabilité	Taux de défaillance	Temps moyen de fonctionnement
$U(t) = \frac{1}{\sigma \cdot t \sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2}$	$1-R(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^t \frac{1}{t} e^{-\left(\frac{\ln t - \mu}{2\sigma} \right)^2} dt$	$\lambda(t) = \frac{U(t)}{R(t)}$	$MTTF = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2}$

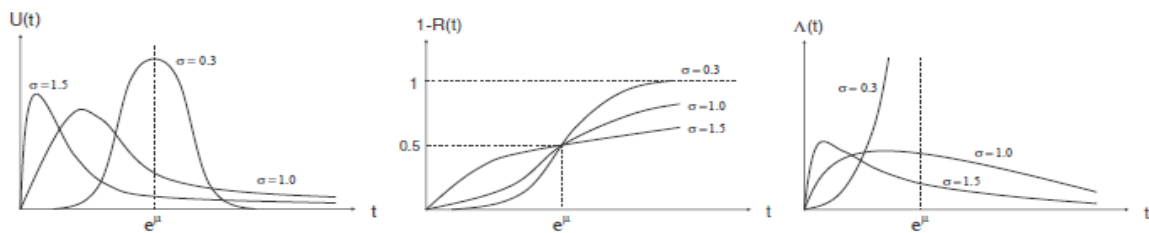


Figure I- 9 : les graphes de la loi log-normale

I.3.1.4 La loi de Weibull (trois paramètres β , γ et σ) :

Tableau I- 7 : La Loi Weibull

Densité de défaillance	Défiabilité	Taux de défaillance	Temps moyen de fonctionnement
$U(t) = \frac{\beta - (t - \gamma)^{\beta - 1}}{\sigma^\beta} \times e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\sigma}\right)^\beta}$	$1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\sigma}\right)^\beta}$	$\lambda(t) = \frac{\beta - (t - \gamma)^{\beta - 1}}{\sigma^\beta}$	$MTTF = \gamma + \sigma \cdot \Gamma\left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right)$

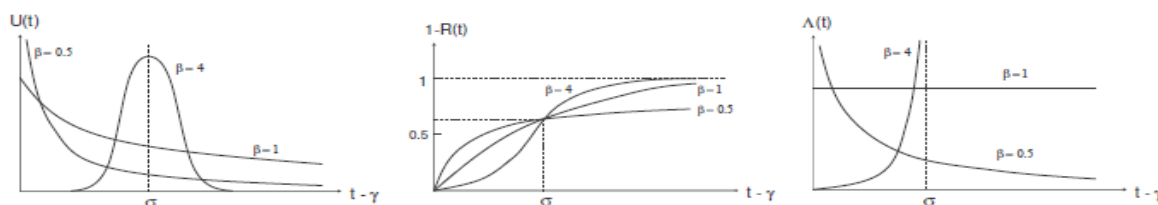


Figure I- 10 : les graphes de la loi Weibull

I.3.2 Calculs de fiabilité d'un système :

Principe :

Le principe des calculs de fiabilité par structure (ou architecture) est de considérer qu'un système est constitué de composants élémentaires, et que sa fiabilité dépend à la fois de la fiabilité de ses composants et de la façon dont le bon fonctionnement ou la panne de chaque composant influe sur le bon fonctionnement ou la panne du système tout entier. Il est donc nécessaire de représenter la logique de fonctionnement du système. [1]

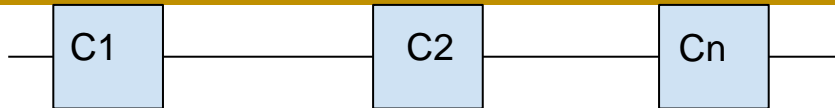
Plusieurs types de représentations sont possibles : diagrammes de fiabilité, arbres de défaillance, graphes de Markov, réseaux de Pétri, diagrammes de décision binaires, réseaux bayésiens, etc...

La fiabilité d'un système complexe est déterminée en fonction de la fiabilité de tous ses éléments, selon l'incidence de la défaillance d'un de ces composants sur l'état du système, on distingue différentes configurations possibles :

I.3.2.1 Configuration en série :

Il est défini par le fait, qu'il faut qu'une seule composante C_i soit défaillante pour que le système soit en panne.

CHAPITRE I



- $P(\text{systeme : fonctionne}) = P(C1 : fonctionne) \times P(C2 : fonctionne) \times \dots \times P(Cn : fonctionne)$

La fiabilité du système est exprimée de la manière suivante :

$$R(t)_{\text{systeme}} = \prod_{i=1}^n R(t)_{\text{composant } i}$$

On démontre aisément à partir de la formule précédente l'expression du taux de défaillance instantanée du système en fonction de ceux des composants :

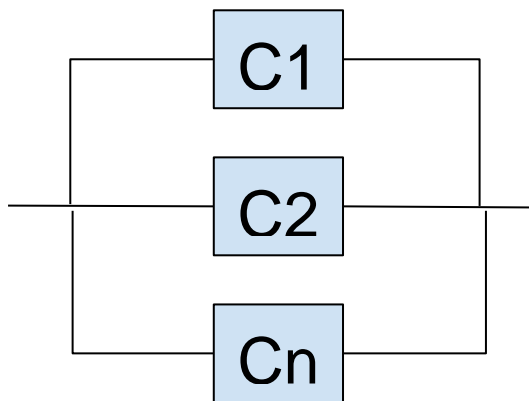
$$\lambda(t)_{\text{systeme}} = \sum_{i=1}^n \lambda(t)_{\text{composant } i}$$

I.3.2.2 Configuration en parallèles :

Il est défini par le fait, qu'il faut que toutes les composantes C_i soient défaillantes pour que le système soit en panne.

La probabilité pour que le système soit en panne est donnée par :

- $P(\text{systeme en panne}) = P(C1 : panne) \times P(C2 : panne) \times \dots \times P(Cn : panne)$



La fonction cumulée de défaillance du système s'exprime alors en fonction de défaillance des composants :

$$F(t)_{systeme} = \prod_{i=1}^n F(t)_{composant i}$$

On en déduit la fiabilité du système :

$$R(t)_{systeme} = \prod_{i=1}^n (1 - R(t)_{composant i})$$

Dans le processus de développement des systèmes, le SDF est devenu une caractéristique essentielle consiste sur l'évaluation et l'amélioration de la fiabilité de ces systèmes, afin de développer les connaissances sur le rapport Coût/Fiabilité et maîtriser les sources de défaillance. [4]

Cette fiabilisation de système basé sur divers méthodes et outils pour évaluer ces différents éléments de la fiabilité On distingue plusieurs types de fiabilité (termes spécifiques) :

- La fiabilité opérationnelle (observée ou estimée) déduite de l'analyse d'entités identiques dans les mêmes conditions opérationnelles à partir de l'exploitation d'un retour d'expérience ;
- La fiabilité prévisionnelle (prédite) correspondant à la fiabilité future d'un système et établie par son analyse, connaissant les fiabilités de ses composants ;
- La fiabilité extrapolée déduite de la fiabilité opérationnelle par extrapolation ou interpolation pour des conditions ou des durées différentes ;

Conclusion

Dans le cadre de ce présent chapitre on a présenté un aperçu général sur les notions de la sûreté de fonctionnement ainsi que la sécurité d'une manière générale en définissant la terminologie employer dans ces domaines selon les normes par la suite on a défini la fiabilité des systèmes monté en série et en parallèle afin de maitre en pratique le concept initie dans ce chapitre il est primordial de passé par les méthodes d'analyse des risques.

Chapitre II

Introduction

La Sûreté de Fonctionnement regroupe un ensemble de techniques mises en œuvre pour identifier, analyser, prendre des décisions pour réduire les risques liés aux systèmes.

En effet, la Sûreté de Fonctionnement est une discipline qui s'appuie sur un support méthodologique applicable aux systèmes technologiques tout au long de leur cycle de vie : expression du besoin, conception, industrialisation, production, exploitation, maintenance, voire même démantèlement. Ces activités bénéficient du support de méthodologies rigoureuses et d'outils pratiques et puissants. Les méthodes de la sûreté de fonctionnement ont toutes au moins trois points communs, qui peuvent être résumés en trois types d'action : identifier les processus pouvant affecter la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité ou la sécurité, modéliser ces différents processus afin de faciliter la compréhension des mécanismes.

Ce chapitre présente les différentes approches de la sûreté de fonctionnement (Quantitative qualitative) (déductif/inductif) (statique/dynamique). Les principales démarches de ces méthodes seront également abordées ainsi que leur Avantage et limites.

IV.1 Les différentes approches de la sûreté de fonctionnement :

II.1.1 I.1.1 Approches qualitatives ou quantitatives :

- **Approches quantitatives** : consiste à caractériser numériquement le système à analyser, en déterminant par exemple le taux de défaillance, la probabilité d'occurrence d'une défaillance, les coûts des conséquences. [5]

Exemple ; ADD, ADE, Chaînes Markov

- **Approches qualitatives** : Contrairement à une approche quantitative, une approche qualitative ne consiste pas à quantifier mais à donner une appréciation. On cherchera à déterminer avec une analyse qualitative quelles occurrences sont possibles et les caractéristiques du système ; par exemple une défaillance pourra avoir une probabilité d'occurrence très faible, faible, moyenne ou forte, influence d'un élément donné sur la fiabilité du système, points faibles du système. [5]

Exemple : AMDEC, HAZOP.

II.1.2 Approches inductives ou déductives :

- **Approches inductives** : basées sur une démarche descendante, 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. [5]

Exemple : AMDEC, ADE, Réseau de pétri, Chaîne de Markov, Réseaux bayésien dynamique

- **Approches déductives** : basées sur une démarche ascendante, elles considèrent un événement redouté, la défaillance (arrêt du système, anomalie de fonctionnement, ...) dont elles cherchent à expliquer les causes, le plus souvent sous forme de séquences d'événements. [5]

Exemple : ADD

II.1.3 Approches statiques/dynamiques :

- **Approches statiques** : elles permettent d'étudier 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. [5]

Exemple : AMDEC ADD, ADE.

- **Approches dynamiques** : permet de prendre en compte l'évolution de la configuration des composants du système au cours du temps. [5]

Exemple : Réseau de pétri, Chaîne de Markov, Réseaux bayésien dynamique (RDB).

IV.2 Analyse fonctionnelle :

L'analyse fonctionnelle permet la description synthétique des modes de fonctionnement d'un Système et la connaissance des fonctions à garantir. Elle établit de façon systématique et exhaustive les relations fonctionnelles à l'intérieur et à l'extérieur de ce système. En d'autres termes, l'analyse fonctionnelle consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un système pour satisfaire les besoins de son utilisateur.

Selon la norme NF X50-150, une fonction est définie comme les actions d'un produit ou de l'un de ses constituantes exprimées en termes de finalité. Au sens de la même norme, l'analyse fonctionnelle est alors définie comme une démarche qui consiste à recenser, ordonner, caractériser, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions.

Les concepts fondamentaux introduits dans les méthodes d'analyse fonctionnelle sont :

- La description du besoin de l'utilisateur par rapport à un système en termes de fonctions à garantir ;
- La description des choix technologiques imposés au système en termes de contraintes;

- La description du système en termes de fonctions de service ou d'usage (satisfaction du besoin) et de fonctions de contraintes (solutions techniques retenues qui répondent aux contraintes) ;
- L'optimisation du besoin sur le plan économique et technique. La réalisation d'une analyse fonctionnelle se déroule en trois principales étapes :
 - a. L'analyse fonctionnelle externe ou l'analyse du besoin
 - b. L'analyse fonctionnelle interne ou l'analyse du produit
 - c. Optimisation du couple besoin / produit

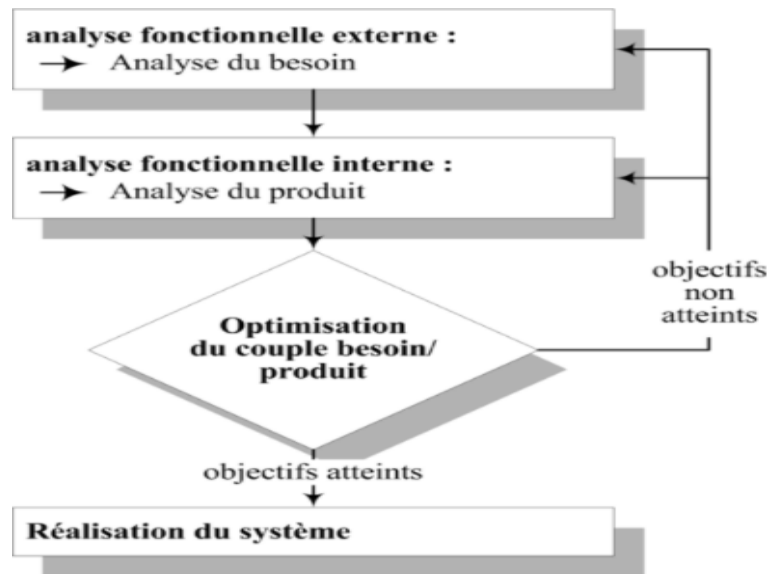


Figure II- 1 : les trois principales étapes

IV.3 Analyse dysfonctionnelle :

L'analyse fonctionnelle précédemment étudiée, n'apporte aucune information sur les défaillances potentielles que peut rencontrer un système. Pour cette raison L'utilisation de l'analyse dysfonctionnelle est nécessaire dans le but de nous fournir ces informations manquantes. Ceci nous permet de déterminer les causes de défaillance ainsi que de spécifier les différents états du système. Les méthodes utilisées pour l'analyse dysfonctionnelle se présentent sous des aspects divers : formes tabulaires, arborescence, réseaux, graphes.

IV.4 Méthodes d'analyse :

II.1.4 ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES (APR)

II.1.4.1 Historique :

L'Analyse Préliminaires des Risques (Dangers) a été développée au début des années 1960 dans les domaines aéronautiques et militaires. Elle a ensuite été généralisée à de nombreuses industries après que L'Union des Industries Chimiques (UIC) recommande son utilisation en France depuis le début des années 1980. [6]

CHAPITRE II

L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) est une méthode utilisée pour l'identification des risques au stade préliminaire de la conception d'une installation ou d'un projet ; En ce sens, elle est particulièrement utile dans les situations suivantes :

- Au stade de la conception d'une installation (Elle fournit une première analyse de sécurité donc elle permet également de choisir les équipements les mieux adaptés)
- Dans le cas d'une installation complexe existante, au niveau d'une démarche d'analyse des risques. Elle peut ainsi être complétée par une méthode de type AMDEC, HAZOP ou arbre des défaillances par exemple.

II.1.4.2 Principe :

L'APR permet d'identifier les différentes composantes dangereuses ou situations dangereuses présentes dans un procédé ou système. Elle permet également d'évaluer le potentiel de chacun à engendrer un accident plus ou moins grave. [6]

L'APR a principalement trois objectifs :

- Identifier les dangers et leurs causes
- Évaluer et accepter les risques en vue d'une hiérarchisation
- Proposer les mesures adéquates

II.1.4.3 Déroulement :

Les résultats de l'analyse se présentent sous forme d'un tableau (voir tableau II-2) regroupant les éléments du danger et ses conséquences, ainsi que l'évaluation de sa gravité, et les mesures correctives nécessaires. Cette analyse est effectuée à l'aide de la liste-guide (check-lists) des entités et des situations dangereuses relatives au système analysé.

Fonction ou système :						Date :	
1	2	3	4	5	6	7	8
N°	Produit ou équipement	Situation de danger	Causes	Conséquences	Sécurités existantes	Propositions d'amélioration	Observations

Figure II- 2 : Tableau type de la méthode APR

II.1.4.4 Limites et avantages :

Le principal avantage de l'Analyse Préliminaire des Risques est de permettre un examen relativement rapide des situations dangereuses sur des installations. Par rapport aux autres méthodes présentées ci-après, elle apparaît comme relativement économique en termes de temps passé et ne nécessite pas un niveau de description du système étudié très détaillé. Cet avantage est bien entendu à relier au fait qu'elle est généralement mise en œuvre au stade de la conception des installations.

En revanche, l'APR ne permet pas de caractériser finement l'enchaînement des événements susceptibles de conduire à un accident majeur pour des systèmes complexes.

Comme son nom l'indique, il s'agit à la base d'une méthode préliminaire d'analyse qui permet d'identifier des points critiques devant faire l'objet d'études plus détaillées. Elle permet ainsi de mettre en lumière les équipements ou installations qui peuvent nécessiter une étude plus fine menée grâce à des outils tels que l'AMDEC, l'HAZOP ou l'analyse par arbre des défaillances. Toutefois, son utilisation seule peut être jugée suffisante dans le cas d'installations simples ou lorsque le groupe de travail possède une expérience significative de ce type d'approches. [6]

II.1.5 HAZOP

II.1.5.1 Historique :

Il y a une cinquantaine d'années, en 1965, la société britannique Imperial Chemical Industries, l'une des plus grosses entreprises de l'industrie chimique au monde, a décidé d'améliorer les performances de ses processus et la sécurité de ses installations. Pour ce faire, la méthode HAZOP a été mise au point. Son objectif est d'identifier l'ensemble des dangers et des risques pouvant menacer un site industriel afin de pouvoir éviter tout événement indésirable.

En 1974, l'industrie chimique vit sa plus grande catastrophe lorsqu'une explosion libère dans l'atmosphère de Flixborough, en Grande-Bretagne, un nuage de 40 tonnes de cyclohexane, qui fait 28 morts et 89 blessés. La méthode HAZOP va alors se répandre dans de nombreuses industries à risques (notamment dans la chimie et la pétrochimie, le nucléaire ou encore les transports). [7]

II.1.5.2 Principe :

La méthode de type HAZOP est dédiée à l'analyse des risques des systèmes thermo hydrauliques pour lesquels il est primordial de maîtriser les paramètres comme la pression, la température, le débit.

L'HAZOP ne considère plus des modes de défaillance mais les dérives potentielles (ou déviations) des principaux paramètres liés à l'exploitation de l'installation. De ce fait, elle est centrée sur l'installation. Pour chaque partie constitutive du système examiné (ligne ou maille), la génération (conceptuelle) des dérivés est effectuée de manière systématique par la conjonction de :

- Mots guides : "pas de", "plus de", "moins de", "trop de".
- Paramètres associés au système étudié. Des paramètres couramment rencontrés concernent la T, P, le débit, la concentration, mais également le temps ou des opérations à effectuer.

C'est une méthode qualitative et semi-quantitative.

II.1.5.3 Déroulement :

Le déroulement d'une étude HAZOP est sensiblement similaire à celui d'une AMDE. Il convient, pour mener l'analyse, de suivre les étapes suivantes. [7]

CHAPITRE II

- Dans un premier temps, choisir une ligne ou une maille. Elle englobe généralement un équipement et ses connexions, l'ensemble réalisant une fonction dans le procédé identifiée au cours de la description fonctionnelle ;
- Choisir un paramètre de fonctionnement ;
- Retenir un mot-clé et étudier la dérive associée ;
- Vérifier que la dérive est crédible. Si oui, passer au point 5, sinon revenir au point 3 ;
- Identifier les causes et les conséquences potentielles de cette dérive ;
- Examiner les moyens visant à détecter cette dérive ainsi que ceux prévus pour en prévenir l'occurrence ou en limiter les effets ;
- Proposer, le cas échéant, des recommandations et améliorations ;
- Retenir un nouveau mot-clé pour le même paramètre et reprendre l'analyse au point 3) ;
- Lorsque tous les mots-clés ont été considérés, retenir un nouveau paramètre et reprendre l'analyse au point 2) ;
- Lorsque toutes les phases de fonctionnement ont été envisagées, retenir une nouvelle ligne et reprendre l'analyse au point 1).

La démarche présentée ici est globalement cohérente avec la démarche présentée dans la norme CEI 61882.

Notons de plus que, dans le domaine des risques accidentels, il est souvent nécessaire de procéder à une estimation de la criticité des dérives identifiées.

Enfin, comme le précise la norme CEI 61882, il est également possible de dérouler l'HAZOP, en envisageant en premier lieu un mot-clé puis de lui affecter systématiquement les paramètres identifiés.

Tout comme pour l'APR et l'AMDEC présentées dans les paragraphes précédents, un tableau de synthèse se révèle souvent utile pour guider la réflexion et collecter les résultats des discussions menées au sein du groupe de travail.

Un exemple de tableau pouvant être utilisé est présenté et commenté dans les paragraphes suivants :

CHAPITRE II

Date :								
Ligne ou équipement :								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
N°	Mot clé	Paramètre	Causes	Conséquences	Détection	Sécurités existantes	Propositions d'amélioration	Observation

Figure II- 3 : Exemple d'une feuille HAZOP

II.1.5.4 Paramètres et mots-clés :

- **Paramètre :**

La méthode HAZOP fait appel à des paramètres spécifiques qui s'expriment par de simples mots (noms ou verbes) caractéristiques de l'intention de la conception et que l'on peut définir ainsi : « grandeur physiquement mesurable, action ou opération à réaliser ». De manière fréquente, les paramètres sur lesquels porte l'analyse sont : (la température, la pression, le débit, le niveau, le temps...).

- **Mots-clés ou mots guides :**

Parallèlement, la méthode introduit un nombre limité (sept à l'origine) de mots-clés appelés aussi « mots guides » et définis originellement ainsi : « ...simple mot ou courte phrase qualifiant l'intention en vue de guider et de stimuler le processus créatif et ainsi de permettre la découverte de déviations... ». Liste des sept mots-clés (keywords) : non ou pas de, plus de, moins de, en plus de, en partie, autre que, inversé.

La combinaison de mots-clés et de paramètres va constituer une dérive, ou déviation, de ce paramètre :

MOT-CLÉ (+) PARAMÈTRE (=) DÉVIATION

- Par exemple :

« Plus de » et « Température » = « Température trop haute ».

« Moins de » et « Pression » = « Pression trop basse ».

« Inverse » et « Débit » = « Retour de produit ».

« Pas de » et « Niveau » = « Capacité vide ».

II.1.5.5 Limites et avantages :

L'HAZOP est un outil particulièrement efficace pour les systèmes thermo-hydrauliques. Cette méthode caractère systématique et méthodique. Considérant, de plus, simplement les dérives de paramètres de fonctionnement du système, elle évite entre autres de considérer, tous les modes de défaillances possibles pour chacun des composants du système.

En revanche, l'HAZOP permet difficilement d'analyser les évènements résultant de la combinaison simultanée de plusieurs défaillances. Par ailleurs, il est parfois difficile d'affecter un mot clé à une portion bien délimitée du système à étudier. Cela complique singulièrement l'identification exhaustive des causes potentielles d'une dérive. En effet, les systèmes étudiés sont souvent composés de parties interconnectées si bien qu'une dérive survenant dans une ligne ou maille peut avoir des conséquences ou à l'inverse des causes dans une maille voisine et inversement. Bien entendu, il est possible a priori de reporter les implications d'une dérive d'une partie à une autre du système. Toutefois, cette tâche peut rapidement s'avérer complexe. [7]

II.1.6 AMDE(C)

II.1.6.1 Historique :

En anglais est connue sous le sigle FMECA (Failure Modes Effects and Criticality Analysis) ou FMEA. La méthode a été créée aux états unis dans les années 1960, elle consistait à dresser la liste des composantes d'un produit et à cumuler les informations sur les modes de défaillance, leurs fréquences et leurs conséquences.

La méthode a été mise au point par le NASA et le secteur militaire américain et fut pratiquée en France à partir des années 1960-1970, en premier lieu par les ingénieurs fiabilistes. [8]

II.1.6.2 Principe de l'AMDEC :

AMDE(C) : analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur (criticité) ; L'AMDE est une méthode Inductive qui part des défaillances élémentaires des composants pour en déduire ce qui en résulte et donc à quelles situations, dues à ces défaillances, il faut s'attendre. L'AMDEC ajoute une dimension d'évaluation de la gravité de ces situations.

Cette analyse présente deux aspects ; un aspect qualitatif consiste à recenser les défaillances potentielles et l'autre un aspect quantitatif consiste à estimer le risque associé à ces défaillances potentielles.

II.1.6.3 Principe de L'AMDE :

- Point de départ : décomposition du système en composants.
- Étape 1 : recensement des modes de défaillance des composants.
- Étape 2 : effets et conséquences des modes de défaillance des composants.

CHAPITRE II

- Sortie : risques découlant des défaillances des composants.

Pour avancer dans l'analyse, il nous semble utile de synthétiser le travail AMDEC de la manière suivante: quatre questions nous suffisent pour vous donner une première approche de la logique suivie et pour vous aider à comprendre que l'AMDEC est une façon de penser, une méthode de travail, et non un formulaire à remplir (Tableau II-1). [8]

Tableau II- 1: Les quatre questions de base de l'AMDEC

Modes de défaillance potentielle	Effets possibles	Causes possibles	Plan de surveillance (Détection)
Qu'est-ce qui pourrait mal ?	Quels pourraient être les Effets ?	Quelles pourraient Être les causes ?	Comment faire pour Voir ça ?

II.1.6.4 Les différents types d'AMDEC :

En présence d'un système complexe, l'AMDEC revient généralement plusieurs fois dans le cycle d'étude du système. Chaque projet doit déterminer les revues (articulations entre phases du projet) pour lesquelles une AMDE(C) sur telle ou telle partie du projet serait nécessaire. Les normes ayant essayé de donner des critères généraux identifient trois niveaux de décomposition pour un système important et trois sujets d'AMDEC) :

Tableau II- 2: Les différents types d'AMDEC

Types d'AMDEC	Rôle	Document de travail associé
AMDEC Fonctionnelle	Analyse des défaillances et de ses causes À l'étape de la conception.	Plan de construction Brevet
AMDEC Produit	Analyse les demandes des clients En termes fiabilité.	Plan de fiabilisation
AMDEC Processus	Analyse des risques liés aux défaillances D'un produit.	Plan de surveillance Contrôle qualité

II.1.6.5 Démarche :

La démarche générale de l'AMDEC se résume de l'organigramme en Figure suivante :

CHAPITRE II

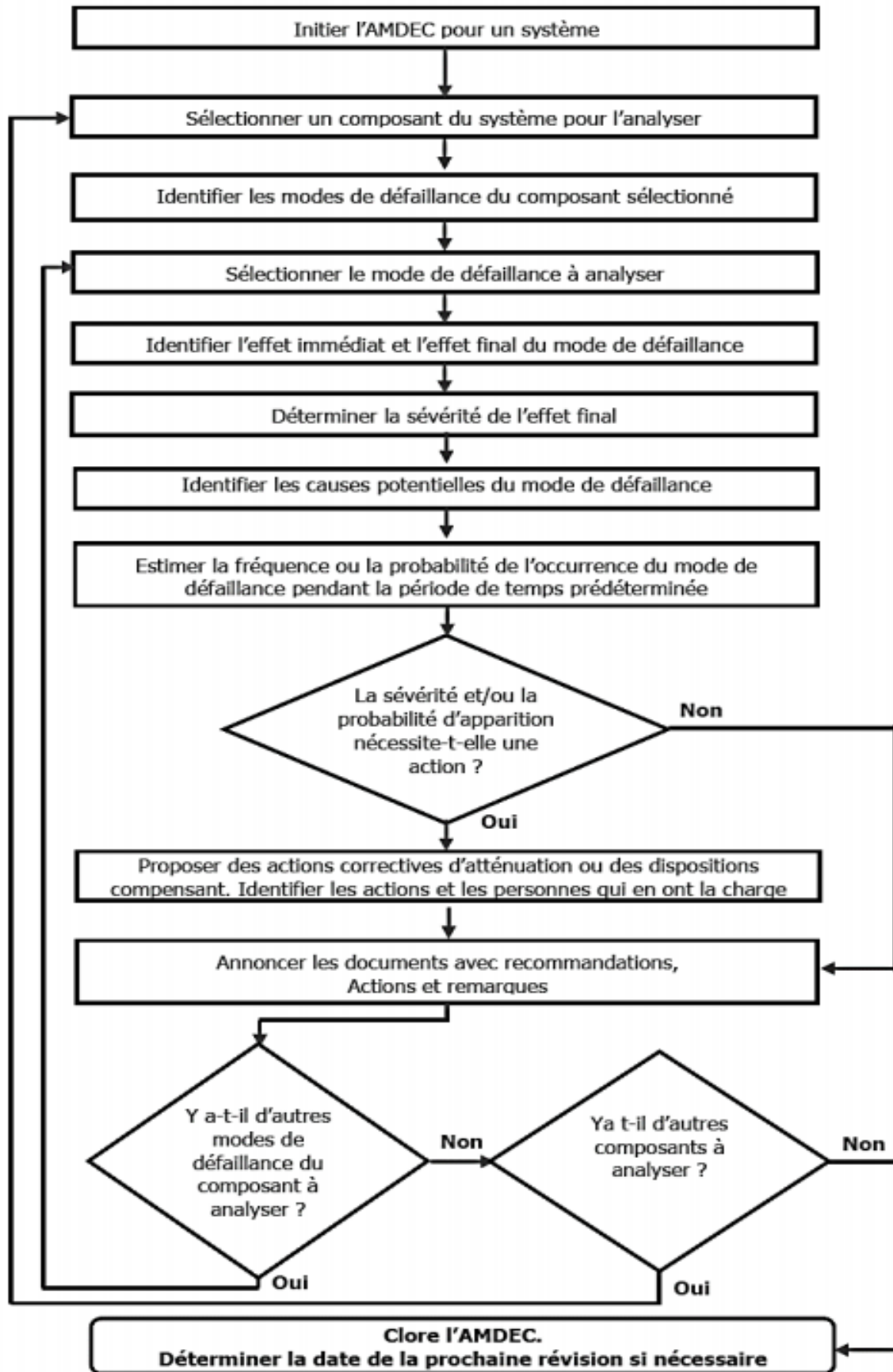


Figure II- 4 : Organigramme de la méthode AMDEC

II.1.6.6 Avantages et limites :

- Elles permettent d'identifier les modes de défaillance, leurs causes et leurs effets sur le système, et de les présenter dans un format lisible.
- Elles permettent d'éviter des modifications coûteuses de l'équipement en service en identifiant les problèmes au début du processus de conception.
- Elles fournissent des informations aux programmes de maintenance et de surveillance en mettant en évidence les fonctions essentielles à surveiller. Les limites incluent ce qui suit.
- L'AMDEC peut uniquement être utilisée pour identifier les modes de défaillance unique, et non les combinaisons de modes de défaillance.
- L'AMDEC est particulièrement pertinente appliquée aux systèmes mécaniques et/ou analogiques.

II.1.7 ARBRE DES DÉFAILLANCES

II.1.7.1 Historique :

L'analyse par arbre des défaillances fut historiquement la première méthode mise au point en vue de procéder à un examen systématique des risques. Elle a été élaborée au début des années 1960 par la compagnie américaine Bell Téléphone et fut expérimentée pour l'évaluation de la sécurité des systèmes de tir de missiles.

Visant à déterminer l'enchaînement et les combinaisons d'évènements pouvant conduire à un événement redouté pris comme référence, l'analyse par arbre des défaillances est maintenant appliquée dans de nombreux domaines tels que l'aéronautique, le nucléaire, l'industrie chimique, ...

Elle est également utilisée pour analyser a posteriori les causes d'accidents qui se sont produits. Dans ces cas, l'événement redouté final est généralement connu car observé. On parle alors d'analyse par arbre des causes, l'objectif principal étant de déterminer les causes réelles qui ont conduit à l'accident. [3]

II.1.7.2 Principe :

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif. En effet, il s'agit, à partir d'un événement redouté défini a priori, de déterminer les enchaînements d'évènements ou combinaisons d'évènements pouvant finalement conduire à cet événement. Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux évènements de base susceptibles d'être à l'origine de l'événement redouté

Quelle que soit la nature des éléments de base identifiés, l'analyse par arbre des défaillances est fondée sur les principes suivants :

- Ces évènements sont indépendants ;
- Ils ne seront pas décomposés en éléments plus simples faute de renseignements, d'intérêt ou bien parce que cela est impossible ;
- Leur fréquence ou leur probabilité d'occurrence peut être estimée.

CHAPITRE II

Les liens entre les différents événements identifiés sont réalisés grâce à des opérateurs logiques « OU » et « ET » ou des fractions « p/n » comme 2/3, 3/4, 3/5, etc.

Cette méthode utilise une représentation graphique qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente.

À l'aide de règles mathématiques et statistiques, il est alors théoriquement possible d'évaluer la probabilité d'occurrence de l'événement final à partir des probabilités des événements de base identifiés.

L'analyse par arbre des défaillances d'un événement redouté peut se décomposer en trois étapes successives :

- Définition de l'événement redouté étudié,
- Élaboration de l'arbre,
- Exploitation de l'arbre.

Il convient d'ajouter à ces étapes, une étape préliminaire de connaissance du système. Nous verrons que cette dernière est primordiale pour mener l'analyse et qu'elle nécessite le plus souvent une connaissance préalable des risques.

➤ Définition de l'événement redouté :

La définition de l'événement final, qui fera l'objet de l'analyse, est une étape cruciale pour la construction de l'arbre. On conçoit que plus cet événement est défini de manière précise, plus simple sera l'élaboration de l'arbre des défaillances. Par ailleurs, s'agissant d'une méthode qui peut se révéler rapidement lourde à mener, elle doit être réservée à des événements jugés particulièrement critiques. [7]

II.1.7.3 Élaboration de l'arbre :

Un arbre de défaillance est généralement présenté de haut en bas. La ligne la plus haute, ou sommet de l'arbre, comporte uniquement la défaillance (ou événement redouté ou encore événement non souhaité) que l'on cherche à analyser. Chaque ligne détaille la ligne supérieure en présentant la combinaison ou les combinaisons susceptibles de produire l'événement de la ligne supérieure auquel elles sont rattachées. Ces relations sont présentées par des liens logiques « OU » ou « ET ».

La première étape consiste à définir l'événement sommet, c'est-à-dire la défaillance, de façon explicite et précise afin que l'arbre construit réponde bien aux attentes de l'étude (par exemple les événements suivants ne sont pas équivalents : défaillance de la stabilité d'un bâtiment, ruine d'un bâtiment sous l'action d'un séisme, rupture d'un bâtiment sous l'action de la neige, etc.).

La deuxième étape consiste à décrire l'ensemble des événements, par des combinaisons logiques (conjonction ou disjonction), pouvant engendrer l'événement sommet. Il apparaîtra donc des événements moins globaux que l'événement sommet, que l'on nommera événements intermédiaires, et un connecteur logique qui les relie à l'événement sommet. [6]

CHAPITRE II

Les étapes suivantes consistent à décrire successivement l'ensemble des lignes permettant d'expliquer les lignes supérieures (par des événements et des connecteurs logiques) jusqu'à avoir écrit l'ensemble des causes connues. Il s'agit de répéter la deuxième étape jusqu'à l'obtention des événements de base qui sont des événements qui ne se décompose plus en événements plus fins.

En définitive, l'application de ces étapes aux réflexions menées au sein d'un groupe de travail conduit à la construction d'un arbre de la forme suivante :

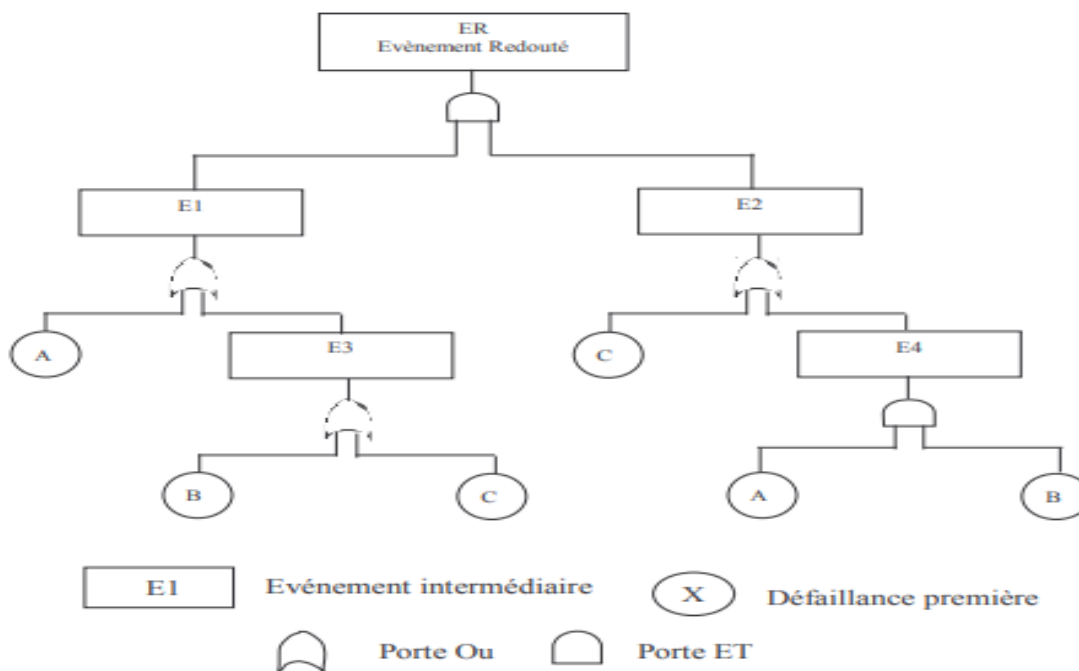


Figure II- 5 : Exemple d'une structure d'arbre de défaillance

II.1.7.4 Exploitation de l'arbre des défaillances :

L'analyse par arbre des défaillances permet d'estimer la probabilité d'occurrence d'un événement et de s'assurer que toutes les mesures possibles ont effectivement été envisagées en vue de prévenir le risque associé à cet événement. À la différence des méthodes inductives présentées précédemment, l'arbre des défaillances est directement conçu afin de pouvoir considérer des combinaisons de défaillances et de vérifier que toutes les causes potentielles ont bien été prises en compte.

Cette exploitation de l'arbre des défaillances peut être réalisée de manière qualitative et quantitative. Elle nécessite au préalable de traiter les résultats fournis au cours de la construction de l'arbre. Dans l'exemple précédent (Figure II-5), les événements A, B et C apparaissent plusieurs fois dans l'arbre : il n'y a donc pas indépendance des événements de base. Ainsi, il est indispensable d'éliminer ces fausses redondances préalablement à l'exploitation de cet arbre. [6]

L'élimination des fausses redondances fait appel aux notions de coupes minimales et de réduction d'arbres.

II.1.7.5 Coupes minimales – Réduction d'arbre :

On nomme coupe minimale un ensemble d'événements de base ou conditions nécessaires ou suffisantes à produire l'événement sommet. Si on retire à une coupe minimale un seul de ses éléments, la défaillance (événement sommet) n'est plus générée.

On trouve les coupes minimales en descendant l'arbre ligne par ligne. Lorsque l'on a identifié l'ensemble des coupes minimales on peut :

- Éliminer les redondances d'événements dans une même coupe (il est inutile de citer plusieurs fois le même événement dans une coupe) ;
- Éliminer les redondances de coupes (quand le même ensemble d'événements a été produit par plusieurs voies, il est inutile de le conserver en plusieurs exemplaires) ;
- Éliminer les « super-coupes » qui en contiennent d'autres (quand un ensemble est strictement contenu dans un autre, il n'est utile de garder que le plus petit).

II.1.7.6 Facteurs d'importance :

➤ Principe :

Les facteurs d'importance sont des indicateurs calculés pour chaque événement de base d'un arbre de défaillance. Ces indicateurs visent à évaluer les contributions relatives des différents composants du système au risque global. La littérature traite principalement cinq différents facteurs d'importance :

- Facteur d'Importance Marginale (MIF) parfois appelé facteur de Birnbaum ;
- Facteur d'Importance Critique (CIF) ;
- Facteur d'Importance de Diagnostic (DIF) aussi appelé facteur de Fussel-Vesely ;
- Facteur d'Augmentation du Risque (RAW ou RIF) ;
- Facteur de Diminution du Risque (RRW ou RDF).

Définition :

- a. Facteur d'importance marginale (Birnbaum) : Le facteur d'importance marginal, noté MIF, est défini comme la probabilité pour que le système se trouve dans un état de fonctionnement ayant e comme composant critique, sachant que e est en fonctionnement.
- b. Facteur d'importance de diagnostic (Fussel-Vesely) : Le facteur d'importance de diagnostic, notée DIF, est définie comme la probabilité pour que le composant e soit en panne sachant que le système est en panne. Ce facteur tient son nom de son utilité dans le diagnostic des causes de défaillance d'un système. [2]

II.1.7.7 Limites et avantages :

Le principal avantage de cette méthode est de pouvoir visualiser l'ensemble des combinaisons d'événements élémentaires conduisant à une défaillance, c'est-à-dire qu'elle permet d'avoir une vision globale et logique du fonctionnement et des dysfonctionnements d'un système.

La connaissance des coupes minimales permet d'identifier, en phase de conception, les composants d'un système à améliorer pour qu'un événement ne se produise pas ; fiabiliser ces systèmes revient donc à essayer de supprimer les coupes minimales.

Les principales limites de cette méthode sont les suivantes :

- Les événements intermédiaires doivent être indépendants les uns des autres pour que le calcul des probabilités d'occurrence soit correct.
- L'arbre des défaillances ne rend pas compte de l'aspect temporel des scénarios d'événements conduisant à la défaillance.
- Cette méthode est binaire, un événement peut soit se produire, soit ne pas se produire.

II.1.8 Chaînes de Markov

II.1.8.1 Historique :

Les chaînes de Markov ou méthode de l'espace des états (MEE) ont été développées dans les années 50 ; utilisées dans le domaine du sdf pour analyser la fiabilité des systèmes dynamiques.[8]

II.1.8.2 Principe :

Le principe est de représenter tous les états du système (états des composants, et mode de fonctionnement du système) et toutes les transitions possibles entre ces états par un support appelée graphe d'états (graphe de Markov).

Le graphe des états permet de visualiser les différents états d'un système qui sont représentées par des cercles et reliés entre eux par des arcs orientés qui correspondent aux transitions (pannes et réparations) entre états. [4]

II.1.8.3 Déroulement :

Considérons un système composé de n composants, chaque composant ayant un nombre n_i d'états de fonctionnement et de panne ; ce système est supposé réparable et chaque composant est réparé après constatation de la panne [8]. Le système est donc composé :

- Des états de fonctionnement : un état de bon fonctionnement où tous les composants fonctionnent, et des états où certains composants sont en panne mais le système reste fonctionnel,
- Des états de pannes : où suffisamment de composants sont en panne pour affecter le système global.

Pour effectuer cette analyse, il est indispensable de :

- a. de recenser et de classer tous les états du système en états fonctionnement ou en états de panne (Si chaque composant a 2 états (ok ou panne) et si le système à n composants, le nombre maximal

d'états est 2^n . Au cours de la vie du système, des états de panne peuvent apparaître à la suite de défaillance ou disparaître à la suite de réparation).

- b. recensement de toutes les transitions possibles entre ces différents états et l'identification de toutes les causes de ces transitions. Les causes des transitions sont généralement des défaillances des composants ou la réparation de composants.
- c. calcul des probabilités de se trouver dans les différents états au cours d'une période de vie du système, calcul des temps moyens (MTTF, MTBF, MTTR ...).

II.1.8.4 Graphe de Markov :

Les graphes de Markov sont couramment utilisés pour étudier la fiabilité des systèmes réparables. Le modèle associe une représentation graphique et une écriture matricielle (matrice de transition).

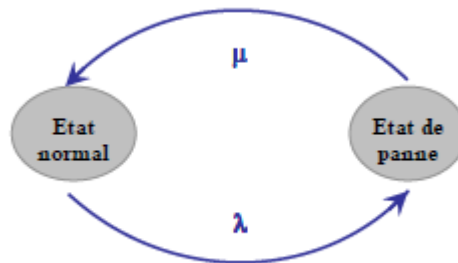


Figure II- 6 : Représentation Graphique de chaîne de Markov

II.1.8.5 Représentation :

- Chaque état du système est un sommet du graphe. Il est représenté par un cercle. À chaque état E_i est associée une probabilité qui dépend du temps : $P_i(t) = P(E(t) = E_i)$.
- Chaque transition est symbolisée par une flèche dirigée de l'état initial vers l'état final. À chaque transition est associé un taux défini par la probabilité conditionnelle d'occurrence de la transition : $a_{ij}(t) dt = P(E(t + dt) = E_j | E(t) = E_i)$. [10]

Remarque :

Si la probabilité de passer de l'état i à l'état j entre les instants t et $t + dt$ est $a_{ij} dt$ alors a_{ij} est le taux de transition entre les états i et j .

Si les taux de transitions sont constants le processus est markovien homogène

Taux de transition :

$a_{ij} = \lambda$: Si la transition est une défaillance en fonctionnement ;

$a_{ji} = \mu$: Si la transition est une réparation ;

➤ Système à 1 entité :

CHAPITRE II

Tous les systèmes dont l'état de fonctionnement futur ne dépend que de l'état présent peuvent être décrits par un processus de Markov et en particulier, ceux pour lesquels les probabilités de transition entre 2 états quelconques ne sont pas affectés par le temps.

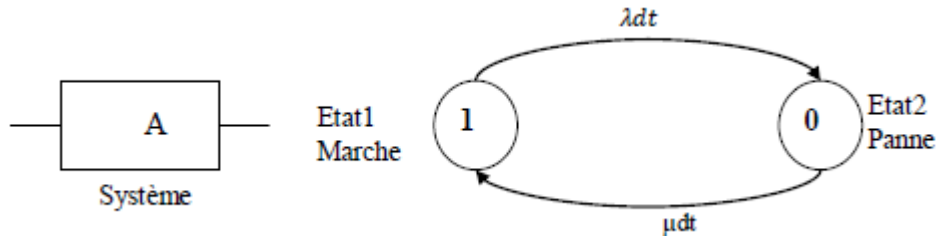


Figure II- 7 : Graphique d'état mobilisant la disponibilité

II.1.8.6 Matrice des probabilités Graphique d'état mobilisant la disponibilité :

On considère le système simple à deux états présentés à la figure II-8.

Conditions initiales : $P(0) = (1, 0) \Leftrightarrow$ au départ le système fonctionne $P_1(0) = 1$ et $P_2(0) = 0$.

Rappel :

$$\sum P_i = 1 \text{ ou } \Sigma = \Sigma P_1' + P_2' = 0 \Rightarrow \text{ici } P_1 + P_2 = 1 \forall t \text{ ou } P_1' + P_2' = 0$$

$$P_1(t + dt) = P_1(t) \times (1 - \lambda dt) + P_2(t) \times \mu dt$$

$$P_2(t + dt) = P_1(t) \times \lambda dt + P_2(t) \times (1 - \mu dt)$$

Sous forme matricielle, on obtient :

$$(P_1(t + dt) \ P_2(t + dt)) = (P_1(t) \ P_2(t)) \times \begin{bmatrix} 1 - \lambda dt & \lambda dt \\ \mu dt & 1 - \mu dt \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \mathbf{P}(t + dt) = \mathbf{P}(t) \times \mathbf{M}$$

Où $M = \begin{bmatrix} 1 - \lambda dt & \lambda dt \\ \mu dt & 1 - \mu dt \end{bmatrix}$: est la **matrice des probabilités** qui caractérise le système.

On développe et on ordonne :

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{P_1(dt - t) - P_1(t)}{h} = \lambda P_1(t) + \mu P_2(t)$$

$$\frac{dP(t)}{dt} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{P_2(dt - t) - P_2(t)}{h} = \lambda P_1(t) + \mu P_2(t)$$

Remarque : $\frac{dP_1(t)}{dt} + \frac{dP_2(t)}{dt} = 0$ est nulle

Sous forme matricielle, on obtient :
$$\begin{pmatrix} \frac{dP_1(t)}{dt} & \frac{dP_2(t)}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_1(t) & P_2(t) \end{pmatrix} \begin{bmatrix} -\lambda & \lambda \\ -\mu & \mu \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \frac{dP(t)}{dt} = P(t) \times Q$$

Où
$$\frac{dP(t)}{dt} = \begin{pmatrix} \frac{dP_1(t)}{dt} & \frac{dP_2(t)}{dt} \end{pmatrix}, P(t) = \begin{pmatrix} P_1(t) & P_2(t) \end{pmatrix} \begin{bmatrix} -\lambda & \lambda \\ -\mu & \mu \end{bmatrix}$$

Cette nouvelle matrice Q, appelée matrice des taux de transition peut être construite aisément suivant le principe :

Tableau II- 3 : matrice des taux de transition

	Etat 1	Etat 2	La somme des probabilités de chaque ligne est toujours nulle
Etat 1	$-\lambda$	λ	
Etat 2	μ	$-\mu$	

➤ **Résolution de l'équation différentielle :**

Les équations obtenues par le graphe d'état de Markov sont indiquées ci-dessous :

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda P_1(t) + \mu P_2(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda P_1(t) - \mu P_2(t) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{P}_1(t) = -\lambda P_1(t) + \mu P_2(t) \dots \dots (*) \\ \dot{P}_2(t) = \lambda P_1(t) - \mu P_2(t) \dots \dots (*) \end{cases}$$

Nous savons que $\sum P_i = 1 \Rightarrow P_1(t) + P_2(t) = 1$

Donc $P_2(t) = 1 - P_1(t) \dots \dots (1)$

Si en remplaçant (1) en (*) nous obtenons ce qui suit :

$$\begin{aligned} (*) &\Rightarrow P_1'(t) = -\lambda P_1(t) + \mu(1 - P_1(t)) \Rightarrow P_1'(t) + \lambda P_1(t) - \mu(1 - P_1(t)) = 0 \\ &\Rightarrow P_1'(t) + \lambda P_1(t) - \mu + \mu P_1(t) = 0 \\ &\Rightarrow P_1'(t) + \lambda P_1(t) + \mu P_1(t) = \mu \\ &\Rightarrow P_1'(t) + (\lambda + \mu) 1(t) = \mu \end{aligned}$$

Équation homogène : $P_1'(t) + (\lambda + \mu) 1(t) = 0$

CHAPITRE II

Solution homogène : $P_H(t) = Ce^{-(\lambda+\mu)t}$

Solution particulière : $P_P(t) = A$

$$P1(t) = A \Rightarrow P1'(t) = 0 \text{ Donc } (\lambda + \mu) A = \mu \Rightarrow A = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

Solution globale : $P1(t) = Ce^{-(\lambda + \mu)t} + \frac{\mu}{\lambda + \mu}$

Les conditions initiales étant $P1(0) = 1$ et $P2(0) = 0$

$$P1(0) = Ce^0 + \frac{\mu}{\lambda + \mu} \Rightarrow 1 = C + \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

$$\Rightarrow C = 1 - \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

$$\Rightarrow C = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$$

L'équation finale devient : $P1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} + \frac{\mu}{\lambda + \mu}$

La disponibilité vaut : $(t) = P1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} + \frac{\mu}{\lambda + \mu}$

L'indisponibilité vaut : $1 - (t) = P2(t) = e^{-(\lambda + \mu)t}$

➤ **Système à 2 entités :**

a. **Dispositif non réparable :**

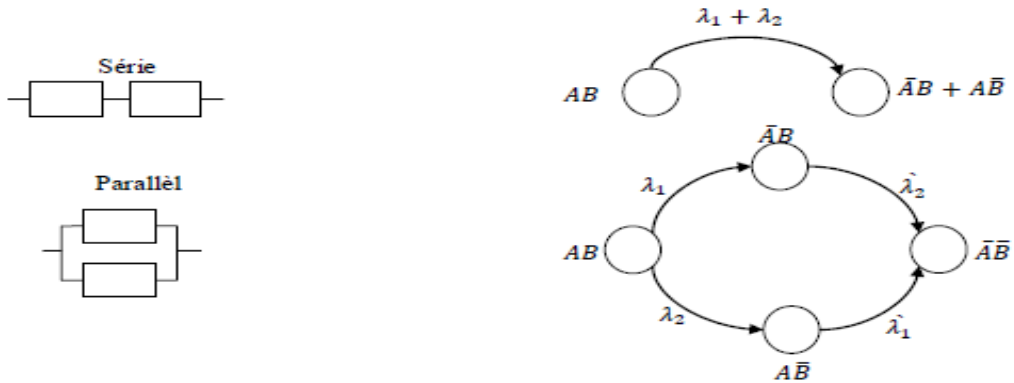


Figure II- 8 : Dispositif non réparable d'un système à deux entités

b. **Dispositif réparable :**

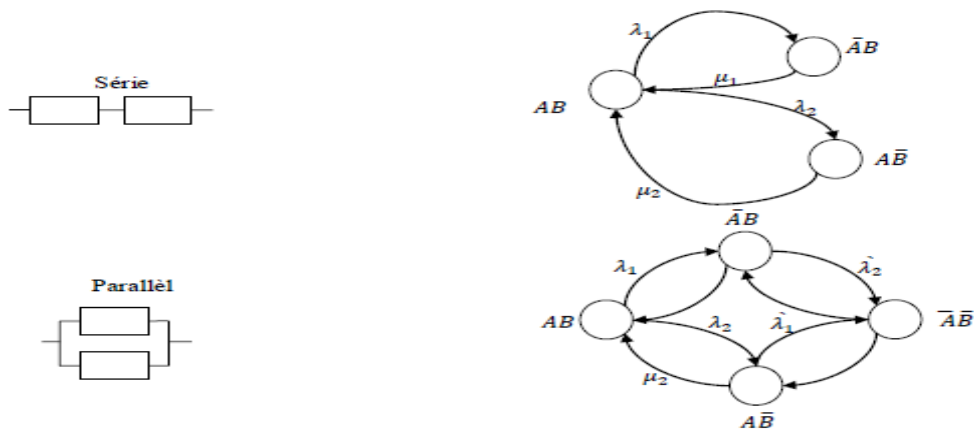


Figure II- 9 : Dispositif réparable d'un système à deux entités

CHAPITRE II

II.1.8.7 Simplification :

Quand on modélise un système avec une chaîne de Markov, on rencontre le problème de l'explosion combinatoire des états puisque la chaîne a priori 2^n états pour un système de n éléments à 2 états. Il est néanmoins possible de réduire la taille de la chaîne en agglomérant des états. Cela suppose que les composants soient identiques avec les mêmes taux de défaillance et de réparation. Dans le cas d'un système à deux composants actifs, on peut simplifier les chaînes vues ci-dessus de la sorte. L'état i correspond à l'ensemble des états où il y a i pannes. [10]

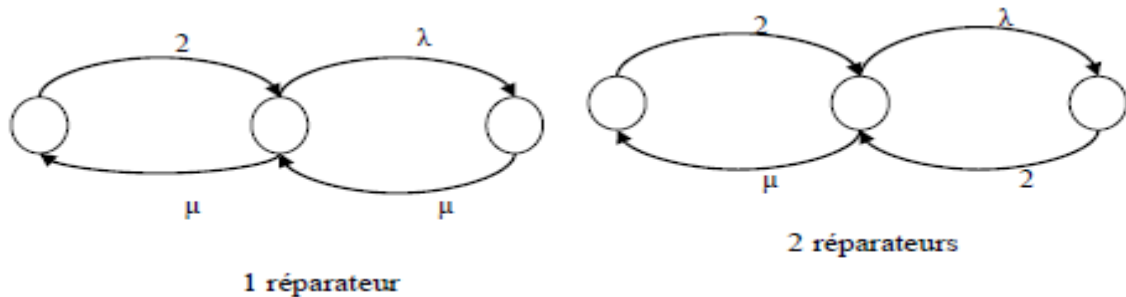


Figure II- 10 : 1 Réparateur et 2 Réparateur

➤ Simplification la chaîne de Markov à deux composants :

II.1.8.8 Redondance :

On appelle redondance l'existence dans une entité de plus d'un moyen pour accomplir une fonction requise. [10]

a. Redondance active :

Dans laquelle tous les moyens sont mis en œuvre simultanément. Lorsque le système fonctionne si et seulement si au moins un de ses composants fonctionne, on dit que les composants sont en redondance active.

Dans la redondance k sur n le système fonctionne si et seulement si au moins k composants parmi les n fonctionnent.

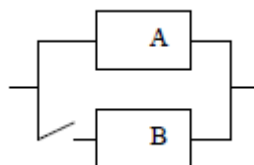


Figure II- 11 : Redondance active

b. Redondance passive (séquentielle, en attente, de réserve) :

Dans laquelle une partie des moyens est en fonctionnement, le reste en attente, un dispositif assurant la commutation. Lorsque les composants sont en redondance passive le composant Si est normalement en fonctionnement et les autres composants sont en attente, un seul composant fonctionne à la fois, quand il tombe en panne, un autre prend la relève.

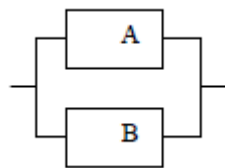


Figure II- 12 : Redondance passive

Calcul de fiabilité :

Pour calculer la fiabilité d'un système représenté sous forme d'une chaîne de Markov, il faut modifier la chaîne de façon à éliminer toutes les transitions de réparation d'un état de panne vers un état de fonctionnement. Les états de panne deviennent alors absorbants.

Ainsi la nouvelle chaîne de Markov associée à un système en redondance active à 2 composants devient :

$$P_i(t) = \sum_{i \in (\text{état de fonctionnement})} P_i(t)$$

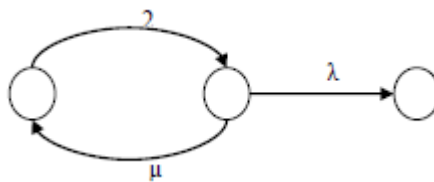


Figure II- 13 : la fiabilité pour Chaîne de Markov à deux composants

II.1.8.9 Avantages et limites :

- Possibilité de prendre en compte les systèmes complexes avec des redondances.
- Méthode très utile pour évaluer la disponibilité, la fiabilité et la maintenabilité des systèmes réparables.
- Représentation difficile pour les systèmes de grande taille.
- Calculs numériques complexe.

Conclusion

Dans le cadre de ce présent chapitre, nous avons d'abord présenté la différence entre l'ensemble des approches de La Sûreté de Fonctionnement (inductive/ déductive, qualitative/ quantitative et statique/ dynamique). Ensuite, on a résumé les différents méthodes d'analyse de risque les plus utilisées dans le domaine d'analyse de la sûreté de fonctionnement ont suivant la méthodologie de présenter un bref historique de chaque méthode suivi du processus d'élaboration de cette méthode avec des exemples pratiques et à la fin a décelé les avantages et les limites de chaque méthodes d'analyse choisis pour le développement de notre travail.

Chapitre III

Introduction :

Réseau anti incendie représente le système de sécurité le plus importants qui a pour objectifs de minimiser l'ampleur des scénarios catastrophiques sur tous dans l'industrie pétrolière, d'où l'objectif de ce chapitre et de présenter l'importance des réseaux anti incendie leurs rôles et les différents types du système à la fin de ce chapitre on va s'intéresser davantage sur le système à mousse.

III.1 Sécurité incendie active et passive :

Avant d'entamer ce chapitre il est préférable de distinguer entre le concept de mesures actives et les mesures passives.

Les mesures actives sont des éléments qui n'entrent en vigueur ou qui ne sont utilisés qu'en cas d'incendie. Par exemple une centrale d'alarme, une installation d'extinction, un éclairage d'urgence, une échelle, etc.

Les mesures passives sont des éléments que l'on ne voit presque jamais mais qui contribuent à éviter ou limiter un incendie. Par exemple des portes ignifuges, des matériaux affichant une classe de feu élevée, etc.

III.2 Le Système de Protection Active Anti-Incendie

III.2.1 A pour objectif de :

- Protéger Le personnel ainsi que les installations.
- Contenir et prévenir la propagation d'un incendie, l'éteindre dès que possible et donc réduire les dommages et pertes économiques provoqués par cet accident.
- Réduire le flux thermique.

III.2.2 Définition d'un réseau de protection contre incendie :

Les Réseaux de protection contre l'incendie sont conçus et installés pour exécuter des fonctions spécifiques tel que (protection contre l'incendie et ses conséquences. Il a pour but de sauver la vie du personnel et des biens (constructions, installations industrielles, machines, équipements etc...). Pour ce là, la conception et les fonctionnalités du système doivent être évaluées et l'intégrité des fonctionnalités maintenues. La fiabilité du système de protection anti

incendie et d'extinction est très importante pour les analyses d'ingénierie détaillées avec une conception basée sur la performance.

NFPA 24 - Standard for Installation of Private Fire Service Mains and Their Appurtenances, 2007 Edition (norme pour l'installation des moyens de service anti-incendie privés et leurs accessoires, édition 2007).

III.3 Liste des dispositifs de protection contre les incendies :

La protection anti-incendie est assurée au moyen des agents suivants :

III.3.1 Système a Eau (Eau d'incendie)

III.3.1.1 Domaine d'application :

Extinction de l'incendie, protection de l'exposition et refroidissement, contrôle de l'intensité de l'incendie, protection contre l'inflammation et limitation de l'étendue du nuage de vapeur.

L'Eau Douce est utilisée comme source primaire et l'Eau de Mer comme source de réserve avec rinçage des conduites après l'utilisation. [11]



Figure III- 1 : Système de protection contre la propagation de l'incendie avec un rideau d'eau

III.3.1.2 Alimentation en eau

Source d'eau :

Sur terre, la source d'eau peut être une rivière, un lac ou un étang, la mer (pour les installations côtières), un réservoir d'eau souterrain ou le réseau public de distribution d'eau.

L'adéquation et la sécurité de la source d'eau doivent être vérifiées afin de s'assurer de la fiabilité globale du réseau d'eau anti-incendie. La source d'eau doit être adaptée en termes de qualité et de quantité, et ce tout au long de l'année. En mer, la source d'eau n'est autre que la mer. [11]

III.3.1.3 Injection de produits chimiques :

Dans toutes les installations utilisant de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre produite depuis des réservoirs souterrains, un système d'injection de produits chimiques adapté doit être installé pour empêcher la formation et la croissance d'organismes marins. Si possible préférez un système manuel pour le traitement par lots. [11]

III.3.1.4 Système de filtrage :

Aucun système de filtrage ne doit être installé en aval de la station de pompage d'eau anti incendie mais l'eau d'alimentation doit être filtrée en amont du réservoir de stockage. Le refoulement des pompes d'appoint doit systématiquement passer par un filtre.

III.3.2 Systèmes CO2 :

III.3.2.1 Domaine d'application :

Les procédés d'extinction au gaz sont intéressants notamment quand l'eau ne peut pas être utilisée (matériels informatiques, archives audio/vidéo, salles des machines de navires...), mais les risques ne doivent pas être méconnus.

Le dioxyde de carbone (CO₂) est un gaz inerte, inodore (par mesure de sécurité, le gaz est généralement parfumé) et incolore à température ambiante. Il agit par effet de souffle, refroidissement et étouffement en diminuant la concentration en oxygène dans le local à protéger. Ce fut l'un des tout premiers agents d'extinction utilisé dans les installations fixes. Il présente l'avantage d'être efficace sur les feux électriques, sur les liquides inflammables et les corps gras (feux de classes B et C) ainsi que sur les feux de surface de classe A (feux de solides

type bois, papier, carton, tissus...). Il n'est pas salissant et ne laisse aucune trace résiduelle. En revanche, il n'est pas efficace sur les feux profonds de classe A, ne permet pas l'intervention sur une grande distance d'attaque. Mais c'est aussi un gaz asphyxiant, qui peut être extrêmement dangereux pour l'homme à forte concentration, c'est pourquoi il est utilisé pour la protection de locaux non occupés en permanence. [11]



Figure III- 2 : Exemple d'extinction avec CO2

III.3.2.2 Alimentation en dioxyde de carbone :

Le dioxyde de carbone est un agent gazeux inerte non conducteur incolore et inodore utilisé pour éteindre les incendies. Le CO2 gazeux est 1,5 fois plus lourd que l'air ($\pm 2 \text{ kg/m}^3$). Le CO2 permet d'éteindre les incendies en réduisant la concentration en oxygène dans l'air au point que la combustion s'arrête.

Compte tenu du fait que le CO2 présente des risques pour l'être humain, il est préférable de l'utiliser dans des volumes fermés totalement noyés non occupés par du personnel.

Le CO2 éteint les incendies en réduisant la concentration en oxygène à environ 15%, ce qui porte la concentration minimum réelle en CO2 à environ 34% dans l'atmosphère du local devant être protégé après dégagement de CO2. [11]

Système à mousse :

L'extinction de mousse ; est extrêmement efficace dans les types ci-dessus mentionnés comme feux d'hydrocarbures et de solvants polaires.

Systèmes d'extinction de mousse que les domaines d'application sont assez grandes ; est généralement préféré dans les zones comme hangars des avions et d'hélicoptères, entrepôts, la station de chargement ou de déchargement de carburant, dans la production de peinture, dans les usines qui produisent produits chimiques ou les stockant où des liquides inflammables et combustibles sont entreposés, la zone de remplissage des liquides inflammables et combustibles, dans les chantiers navals, quais , les raffineries de pétrole, les marinas ou des domaines similaires. Il empêche des grands feux Intervenant immédiatement et en prenant rapidement le contrôle agit dans un peu de temps surface inflammable. [11]

Systèmes d'extinction de mousse qui s'utilise particulièrement dans les raffineries de pétrole, dans les hangars des avions et d'hélicoptères, dans les chantiers navals, dans les quais, dans la station de chargement ou de déchargement de carburant ; est système qui marche Grâce à la combinaison de l'eau pressé avec la mousse, qui a plus faible densité que l'eau, soit capable de se lier aux surfaces à la fois horizontal et verticale et couvre la surface combustible. Elle empêche également l'échappement de gaz à l'explosif.

La mousse éteint les incendies de quatre façons :

- En étouffant l'incendie et en empêchant l'air de se mélanger avec des vapeurs inflammables.
- En régulant et en réduisant le dégagement de vapeurs inflammables
- En séparant les flammes de la surface combustible
- En refroidissant le combustible et les surfaces métalliques adjacentes.

Il existe différents types de mousse qui peut être classés comme suit :

- Mousse de protéine et de fluor protéine
- Mousses synthétiques : Mousse filmogène aqueuse (AFFF)
- Filmogènes protéiniques (FFFP)
- Mousses résistant à l'alcool



Figure III- 3 : utilisation de la mousse contre le feu des hydrocarbures

III.3.3 Alimentation en mousse :

III.3.3.1 Principe :

Une mousse est un mélange hétérogène d'air et d'eau, obtenu à l'aide d'un agent émulseur et d'un générateur. Cet assemblage de bulles, non toxique, non agressif vis-à-vis des matériaux et plus léger que les liquides, est envoyé sur la surface du feu (cuvette de rétention associée au réservoir par exemple) ou dans le volume en feu afin d'éteindre l'incendie. Une mousse agit principalement par étouffement, mais aussi par refroidissement. L'étouffement par la couverture isolante de mousse empêche l'apport d'oxygène vers le liquide en feu, arrête les émissions de vapeurs inflammables et isole les flammes du combustible. Cependant, une mousse peut être détruite par certains fluides ou par des turbulences. Elle trouve sa principale application là où l'eau est peu ou pas efficace, comme sur certains feux de liquides inflammables ou pour noyer de grands volumes. Son utilisation est spécialement recommandée pour les feux de surfaces horizontales d'hydrocarbures liquides, de produits polaires du type alcools, amines, cétones, esters, ... Mais il n'est pas recommandé de l'utiliser pour les liquides en feu dont la température d'ébullition est supérieure à 100°C, ceux pouvant libérer de l'oxygène lors de la combustion ou

ceux qui réagissent avec l'eau (par exemple : les acides, les oxydes, ...) ou pour les feux d'origine électrique du fait de sa conductivité. Les propriétés et les applications des mousses dépendent principalement de leur taux de foisonnement et des émulseurs utilisés. [12]

III.3.3.2 Taux de foisonnement :

Le taux de foisonnement (TF) est le rapport du volume de mousse sur le volume de solution moussante (eau + émulseur). On comprend donc aisément que plus TF augmente, plus la mousse est légère et son volume important, donc plus les distances de projection de celle-ci baissent et plus les capacités de "noyage" d'un volume augmentent

- Si $TF < 4$, on parle de mousse à très bas foisonnement. Elle forme un gel ou un film à la surface des liquides avec les émulseurs filmogènes, ce qui contribue à ralentir l'évaporation.
- Si $4 < TF < 20$, on parle de mousse à bas foisonnement. C'est une mousse lourde qui peut être projetée à de grandes distances. Elle est employée pour des lances mobiles ou des canons à balayage automatique mais aussi pour des installations fixes sur des réservoirs.
- Si $20 < TF < 200$, il s'agit de mousse à moyen foisonnement. Elle est aussi principalement utilisée avec des dispositifs de projection et parfois dans des petites enceintes confinées, en particulier pour les feux proches du sol.
- Si $200 < TF$, il s'agit de mousse à haut foisonnement. Elle permet de "noyer" de grands volumes, mais résiste moins bien au feu que les autres mousses et peut être dispersée par le vent. Elle est donc principalement utilisée en intérieur.

En pratique, le type de mousse le plus employé sur les réservoirs de stockages d'hydrocarbures ou de liquides polaires est la mousse à bas foisonnement. [12]

III.3.3.3 Émulseurs :

L'efficacité d'une mousse (compatibilité avec le produit, rapidité de l'extinction, non contamination par le produit, résistance à une réinflammation accidentelle) dépend étroitement de l'émulseur qui lui a donné naissance. Il existe plusieurs variétés d'émulseurs (émulseurs protéiniques, fluoroprotéiniques, synthétiques, AFFFs (agent formant un film flottant), polyvalents, ...) qui confèrent aux mousses engendrées des propriétés différentes.

Pour les feux de réservoirs d'hydrocarbures, on utilise généralement des émulseurs protéiniques menant à des mousses bas foisonnements qui doivent être appliquées sans violence. En effet, si cette mousse pénètre dans le liquide en feu avant de s'étaler, elle s'imprègne de produit et devient partiellement combustible : elle est dite contaminée. Dans les cas difficiles (grandes surfaces en feu par exemple), on leur préfère les fluoroprotéiniques, pouvant être utilisées en application violente, afin d'éviter le phénomène de contamination. On peut aussi utiliser les AFFFs (protéiniques et fluoroprotéiniques) qui donnent des mousses à très faibles ou faibles TF. Les mousses engendrées agissent non seulement par étouffement mais aussi en donnant naissance par décantation à un film aqueux flottant qui limite l'évaporation. Elles résistent par ailleurs à la contamination. [12]

Par contre les émulseurs et AFFFs synthétiques ne sont pas employés pour les feux de réservoirs du fait de leur mauvaise résistance à la chaleur.

Pour les liquides polaires (alcools, cétones, ...), il faut utiliser d'autres types d'émulseurs, les émulseurs polyvalents (protéiniques, fluoroprotéiniques, synthétiques et AFFFs). En effet les mousses classiques sont détruites par ces liquides du fait de leur affinité avec l'eau. Les émulseurs polyvalents d'une certaine famille (par exemple, protéinique) possèdent non seulement des propriétés similaires aux émulseurs classiques de la même famille vis-à-vis des hydrocarbures, mais permettent aussi de combattre les feux de liquides polaires. L'application de ces émulseurs doit s'effectuer sans violence pour obtenir le résultat escompté.

En résumé, pour les réservoirs contenant des hydrocarbures, on utilise des émulseurs, polyvalents ou non, protéiniques, fluoroprotéiniques ou les AFFFs (protéiniques et fluoroprotéiniques). Par contre pour les réservoirs de liquides polaires, seul l'usage des émulseurs polyvalents protéiniques, fluoroprotéiniques ou les AFFFs (protéiniques et fluoroprotéiniques) est recommandé. Le choix d'un émulseur doit toujours se réaliser en fonction du produit stocké. [12]

Remarque :

- ✓ Les hydrocarbures contenant plus de 5% d'additifs oxygénés nécessitent l'utilisation d'émulseurs polyvalents (réglementation française).

- ✓ Les émulseurs de types différents sont en général incompatibles entre eux. En particulier, on ne peut mélanger un émulseur de nouvelle génération avec un ancien. Il existe cependant des émulseurs qui permettent de "régénérer" et de rendre plus performants les stocks d'émulseurs protéiniques d'ancienne génération qui ont vieilli (oxydation par l'air en particulier). [12]

III.3.3.4 Différents types d'équipements anti-incendie à mousse :

Seules les installations fixes seront traitées ici puisque nous ne considérons pas les installations mobiles (lancés, certains canons, ...) comme des équipements de réservoir. Il existe aussi des installations semi-fixes qui ne seront pas détaillées, car elles sont du même type que les installations fixes à ceci près que leurs supports (canalisations, ...) sont fixes mais que leur fonctionnement (alimentation en émulseur, en eau, ...) nécessite une installation mobile (camions,). [12]

Le dispositif comprend classiquement les systèmes de détection et d'alarme, les réservoirs d'eau, les pompes, les réservoirs d'émulseur, les mélangeurs eau/émulseur, les générateurs et les distributeurs de mousse dans le réservoir (voir figure III-4).

Les dispositifs à mousse peuvent généralement être déclenchés manuellement à partir d'un tableau de commande ou de façon automatique par des détecteurs de chaleur, des détecteurs de flammes sensibles soit aux infrarouges, soit aux ultraviolets, des détecteurs de fumées (ioniques ou optiques).

Quand le système entre en fonctionnement, l'eau et l'émulseur sont transportés séparément vers les mélangeurs. Là, les deux éléments sont mélangés puis envoyés vers le générateur qui crée la mousse par mélange avec l'air et la projecte, à des débits variant, suivant le système de décharge, de quelques l/min à quelques milliers de l/min. En fait ce ne sont pas les débits mais plutôt les taux d'application exprimés en l/m².min (rapport du débit de mousse sur la surface à éteindre) qui sont importants pour juger de l'efficacité d'un dispositif.

On trouve différents types de mélangeurs, parmi lesquels on peut citer : les injecteurs qui utilisent l'effet Venturi, les mélangeurs automatiques, les mélangeurs à pression équilibrée, le générateur pour la mousse à bas foisonnement, mélange l'air au couple (eau + émulseur) par aspiration d'air lors de la détente de la solution moussante. Il peut être du type sprinkler (la tête

CHAPITRE III

du sprinkler a été modifiée pour permettre l'introduction d'air par aspiration) ou "cylindrique".
[12]

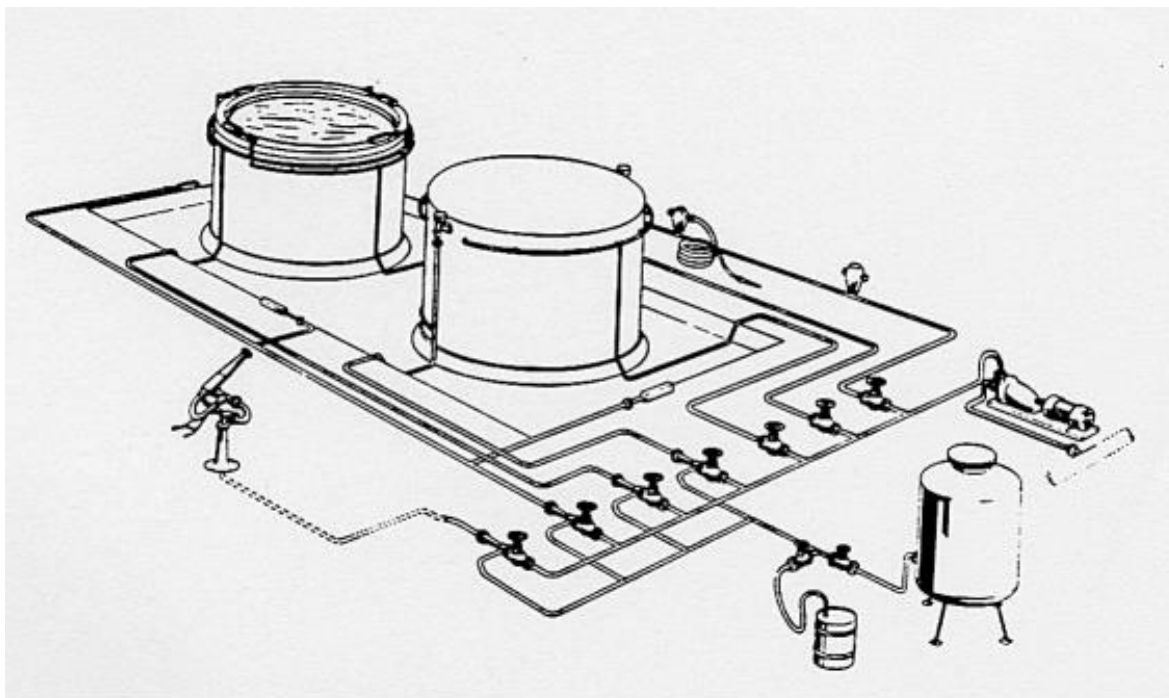


Figure III- 4 : installation fixe classique de dispositif de mousse bas foisonnement



Figure III- 5 : dispositif de mousse sur un réservoir à toit fixe

III.4 Le réseau d'eau d'incendie doit être obligatoirement composé des éléments suivants :

III.4.1 Une réserve d'eau :

Le réseau incendie doit être constitué de deux réservoirs de stockage d'eau incendie (eau de mer) permettant d'assurer une autonomie de 2 x 12 heures au point nominal des pompes anti incendie. Ces réservoirs doivent pouvoir être alimentés à 100% de leur volume par une source externe en une période ne dépassant pas Vingt Quatre (24) Heures. Le seuil de niveau bas des réservoirs d'eau incendie sera fixé de manière à générer une alarme en salle de contrôle quand le niveau d'eau dans le réservoir en service atteint les 50% de son niveau nominal.

III.4.2 Un système de pompage :

III.4.2.1 Pompes principales :

Pompes principales du réseau incendie Il devra être prévu pour tout nouveau projet de pompage anti-incendie un nombre de pompes centrifuges qui permet, même en cas où une pompe de ce nombre est indisponible dans une situation de sinistre, d'assurer au minimum 100% du débit d'eau nécessaire.

En d'autres termes, si N le nombre de pompe nécessaire pour assurer le débit requis, le nombre de pompe à installer serait N+1.

- La configuration de la pomperie doit être comme suit :
 - 1) Soit deux (2) pompes ayant chacune la capacité de délivrer 100% du débit requis. Les moteurs d'entraînement des pompes sont électriques et diesel.
 - 2) Soit un groupe de 03 pompes ayant chacune la capacité de délivrer 67% du débit requis.
 - 3) Soit, lorsque le débit requis dépasse la valeur de 1000 m³/ heure, de 03 pompes ayant chacune la capacité de délivrer 50% du débit requis.

Pour ces deux dernières configurations, il faut prévoir deux moteurs Diesel et un moteur électrique. Toutefois, s'il y a existence de deux sources d'alimentation électrique indépendantes, il possible d'envisager une configuration à deux pompes entraînées par des moteurs électrique et la troisième par un moteur thermique type Diesel.

La pression de refoulement est telle que dans les conditions d'un feu dimensionnant le réseau est à même de fournir à l'équipement le plus éloigné (Hydrant, RIA ou lancer monitor) le débit nominal de cet équipement (fournit le fabricant) à la pression 8 bars.

Leur démarrage est automatique par chute de pression importante dans le réseau (ouverture de d'hydrants ou autres d'incendie), l'arrêt est uniquement manuel. La pression maximale est fixé par la nature des matériaux des équipements constituant le réseau (Brides, pipe, accessoires etc.). [11]

- L'installation des pompes principales doit être conforme aux prescriptions de la norme NFPA

III.4.2.2 Pompes auxiliaires :

La pomperie incendie doit être équipée de deux pompes (2X100%) de capacité nominale de 30 m³ / heure, dites « Pompes Jockey » dont la fonction est de maintenir le réseau sous pression.

En situation normale, le réseau d'eau incendie est maintenu en permanence et de façon automatique en pression (pression minimum de 8 bar en tout point du réseau) au moyen de l'une de la pompe jockey, l'autre étant en secours. Les pompes jockey sont permutées manuellement par l'opérateur de façon périodique (typiquement chaque semaine).

- L'installation des pompes auxiliaires doit être conforme aux prescriptions de la norme NFPA 20.

III.4.3 Accessoires de la tuyauterie du réseau d'incendie :

Pour accomplir sa fonction de lutte contre l'incendie convenablement, le réseau d'eau d'incendie doit comporter certains accessoires tels que :

III.4.3.1 A. Les Vannes de sectionnement :

Leur but, comme indiqué ci-dessus, est de permettre l'isolation de n'importe qu'elle partit du réseau en cas de nécessité, tels que des travaux de réparation, d'entretien ou de vérification.

Leur emplacement ainsi que leur répartition doivent être très bien étudiés pour pouvoir maîtriser n'importe quel tronçon du réseau pendant l'exploitation du système.

Leur nombre dépend de l'étendue du réseau. Il doit être suffisant.

Leur emplacement à chaque intersection est comme indiqué dans les schémas ci-dessous dans le respect de la règle

$\text{Nb vannes} = \text{Nb branches} - 1$

Elles doivent être du type approuvées et conforme aux normes en vigueur régissant le domaine d'application.

Elles doivent être visibles et facilement accessibles en cas de besoin et doivent être du type indicateur de position (fermée/ouverte). La signalisation des vannes installées dans des regards doit être apparente, ces dernières nécessitent une attention particulière notamment les risques d'être couvertes totalement par le sable (régions du sud), ou l'obstruction du regard.

III.4.3.2 B. Les Clapets anti-retour :

Comme leur nom l'indique, ils permettent la circulation de l'eau uniquement dans un sens. Ils doivent être installés sur :

- La tuyauterie de refoulement des différentes pompes du réseau
- La tuyauterie des différents piquages du réseau

III.4.3.3 C. Les Indicateurs de pression :

Le but de leur utilisation est d'indiquer la pression dans le réseau. Ils doivent avoir une échelle de mesure de pression (bar).

Ils sont d'une grande utilité pour le contrôle visuel du réseau.

Leur installation sera utile sur :

- La tuyauterie de refoulement des pompes du réseau.
- À proximité de certains poteaux d'incendie à risque.

III.4.3.4 D. Les armoires d'incendie :

Ceux sont des équipements, conçus pour le stockage de certains matériels d'intervention en cas d'incendie.

Leur utilisation a pour but de :

- Préserver le matériel de lutte contre l'incendie
- Gagner du temps en cas d'incendie

Recommandation :

- Elles doivent être installées à proximité des prises d'eau (bouches / poteaux)
- Elles sont peintes en rouge.
- Elles doivent être fermées constamment en situation normale.
- Elles sont équipées d'une glace conçue pour leur ouverture en cas d'incendie (Brise-glace).

Le matériel d'intervention à stocker dans ces armoires doit faire l'objet d'une étude dans laquelle, il faut considérer les facteurs suivants [13] :

- La nature de la prise d'eau à proximité de laquelle l'armoire est installée
- Hydrant (borne incendie)
- La surface à protéger
- La distance entre prise d'eau et point d'attaque.

D'une manière générale, les armoires doivent être installées entre tous les deux Hydrants et leur l'intérieur doit comprendre le matériel d'intervention suivant [13] :

- 01 Tuyau DN 100 de 20 mètres de longueur.
- 01 Division avec robinet DN 100 par deux sorties DN 65
- 02 Tuyaux de DN 65 mm de 20 mètres de longueur
- 02 Lances à débit variables DN 65 (Débit allant d'une centaine à au moins 500 à litres/minutes à 8 bars)
- 01 Division avec robinet DN 65 par deux sorties DN 40
- 02 Lances à débit variables DN 40 (Débit allant jusqu'à 500 litres/minutes à 8 bars)
- 02 Tuyaux de DN 40 mm de 20 mètre de longueur
- Division avec robinet DN 65 par deux sorties DN 40
- 02 clés Tricoises en bronze universelles
- 01 Hachette
- 01 pelle

III.4.3.5 Les prises d'eau :

Ceux sont des appareils destinés à être installés et répartis sur toute la tuyauterie du réseau d'eau d'incendie.

Ils ont pour but de permettre aux agents d'intervention d'utiliser l'eau sous pression du réseau incendie.

Leur nombre et leur répartition doivent faire l'objet d'une étude approfondie dans laquelle il faut tenir compte des deux facteurs importants suivants [12] :

- Le risque à protéger
- La surface à couvrir

Généralement, ces prises d'eau comprennent :

- Les Hydrants
- Les Robinets Incendie Armés (RIA)
- Les Lances Monitors

a. Hydrants

Les poteaux d'incendie seront raccordés au réseau d'eau incendie, le débit minimal des Hydrants est de 1000 l/mn.

- **Implantation des hydrants**

Les poteaux d'eau incendie seront raccordés à des distances de 40 mètre. Cependant, ils peuvent être, dans certains cas particuliers, plus rapprochés. Ils doivent, dans tous les cas, être situés au moins 30 mètres des unités de production, et leurs alentours ils doivent être dérangés et permettre l'évolution sans gêne, des véhicules d'interventions. Des plots de protection, pour les poteaux d'eau incendie, devront être discutés avec l'ingénieur HSE chargé du projet. [13]

- **Construction des hydrants**

Les poteaux d'eau incendie utilisés sont ceux comportant deux (02) sorties de 100 mm de diamètre chacune avec :

- 1) Raccords systématique avec bouchons et chaînettes
- 2) Une vanne pied de poteaux de diamètre 6''
- 3) Une vanne 4'' pour chaque sortie

Les vannes devront être de type $\frac{1}{4}$ de tour et devront résister à une pression d'épreuve, représentant 200 % de la pression maximale de service.

b. Robinets d'incendie armés (RIA)

Les Robinets d'Incendie Armés (RIA) devront être constitués par :

- a) Un dévidoir fixé sur un poteau ou autre.
- b) Un tuyau semi-rigide de 30 mètres de longueur et de 45 mm de diamètre.
- c) Une lance de 45 mm pouvant établir un jet diffusé et un jet plein.
- d) Le débit devra être de 200 l/mn à 8 bars. La portée utile devra être de 15 mètres au minimum.
- e) Un dispositif protégeant le tuyau des effets sous le soleil devra être prévu.

● **Implantation**

Les RIA sont nécessaires dans toutes les installations de processus, colonnes, Fours, séparateurs, aéroréfrigérants, unité de compression, etc.

Les RIA doivent être implantées de manière à pouvoir atteindre n'importe quel Point des unités avec un minimum de trois (03) lancers simultanément [13].

c. Monitors

Les Monitors fixes doivent être mixte (Eau et Mousse). Ils devront permettre d'atteindre avec le jet plein à l'eau ou à la mousse les parois de bacs de stockage depuis leur emplacement. La portée des Monitors ne peut en aucun cas être inférieure à 50 mètres avec un débit de 3000 l/mn à 7 bars. Chaque cuvette de bac stockage devra disposer, au moins, de quatre lances monitors.

Une réserve de 1500 litres d'émulseur devra être installée auprès de chaque lance, Monitor. La réserve d'émulseur devra être abritée (protégée) du soleil.

d. couronnes d'eau

Tous les bacs de stockage d'hydrocarbures liquides doivent être équipés de deux demi Couronnes d'eau assurant un débit mixte eau/émulseur de 15 L/ min.ml. L'installation des couronnes d'eau, pour les bacs de stockage, doit être conforme aux Prescriptions de la norme NFPA.

III.4.4 Logigramme d'étude d'un réseau incendie :

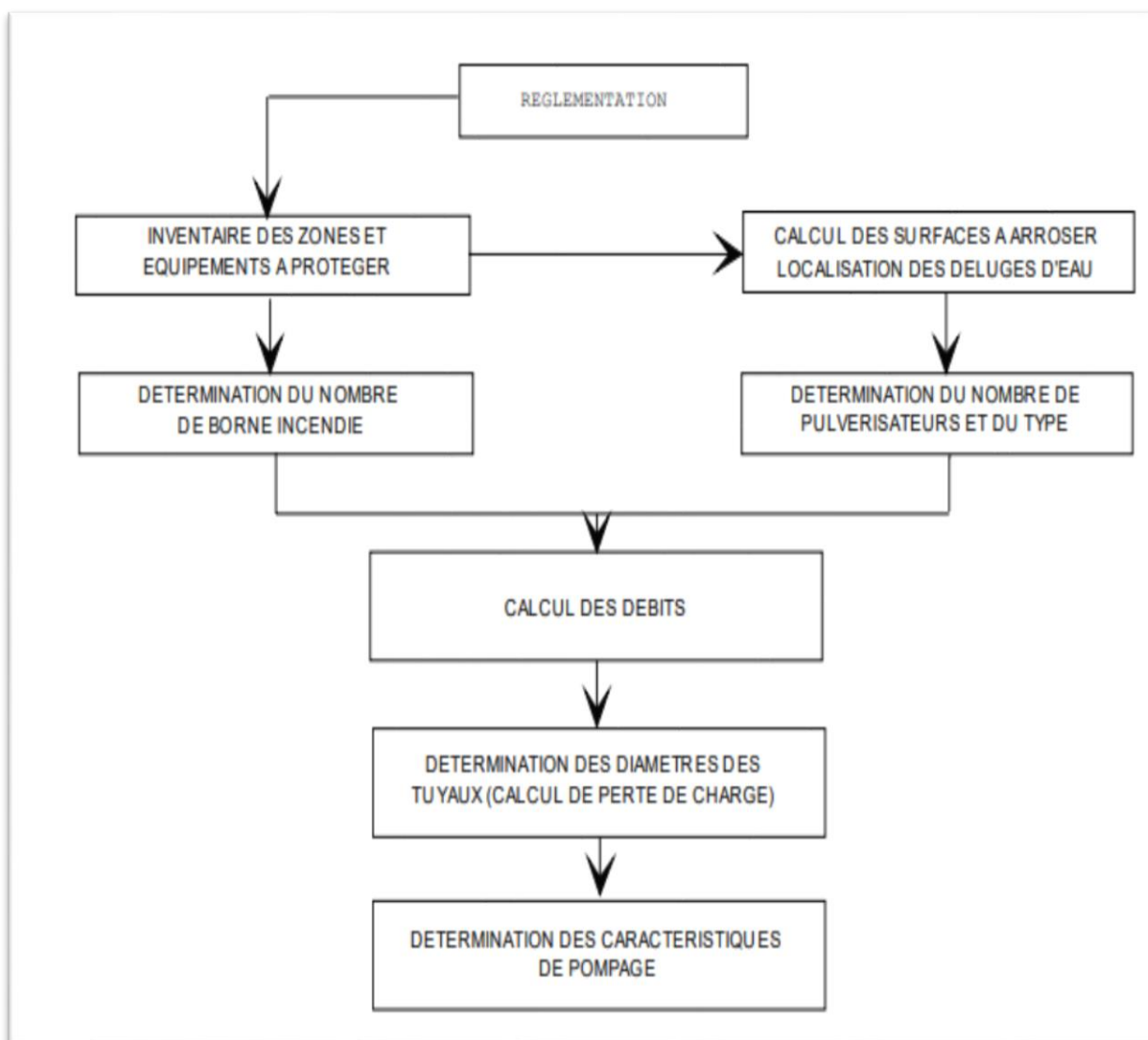


Figure III- 6 : Logigramme d'étude d'un réseau incendie

III.4.5 Utilisateurs d'eau anti-incendie

- Systèmes de déluge - assurent la protection de l'équipement de traitement (de procédés) grâce à une couverture complète de toute la surface des équipements concernés
- Dévidoirs de mousse - fournissent une solution mousse/eau pour la lutte anti-incendie
- Systèmes de sprinklers - contrôlent le feu en vaporisant de l'eau douce
- Lances à d'eau anti-incendie – « oscillent » dans une fourchette prédéfinie pour assurer le refroidissement

Conclusion

Dans le cadre de ce présent chapitre, nous avons présenté la différence entre la sécurité passive et active. Ensuite, on a défini le réseau anti incendie selon la norme NFPA 14 ainsi que les différents dispositifs de protection contre les incendies d'une manière générale en basant sur le système à mousse qui est le système étudié. Dans le chapitre suivante.

Chapitre IV

Introduction

Dans cette partie nous allons étudier la Disponibilité des équipements du système à mousse anti-incendie de l'usine GPL ZCINA spécifiquement le bac de stockage de condensat (31C-RA-35-01 A) car la fiabilité seul ne suffit pas à définir l'efficacité d'un système, il faut en mesurer la disponibilité lorsque le système est complexe et réparable, car la disponibilité d'un équipement dépend de deux facteurs, la maintenabilité et la fiabilité elle-même.

Cette étude est modélisé à l'aide de logiciel Phast pour déterminer l'ampleur des scénarios catastrophiques au niveau de la zone de stockage des condensat et isograph workbench pour évaluer le performance de système par deux méthodes d'analyse ; en premier temps par l'ADD comme une méthode classique pour repartir le système en plusieurs défaillance d'équipements accordé par des portes logiques jusqu'à l'événement redouté (indisponibilité de système à mousse) ensuite on a utilisé une analyse dynamique (chaîne de Markov) pour évaluer le comportement des sous-système vis à vis la variation d'état (régime de repos et d'intervention ...) qui influence sur le bon fonctionnement ou dysfonctionnement de notre système.

IV.5 Présentation de l'entreprise :

SONATRACH, compagnie pétrolier et gazière algérien d'envergure internationale, intervient dans l'exploitation, la production, le transport par canalisation, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés .SONATRACH se développe également dans l'activité des pétrochimies, de génération électrique, d'énergie nouvelle et recouvrable, de dessalement d'eaux de mer et d'exploitation minière.

IV.5.5 Situation géographique du champ HMD :

Le champ de Hassi-Massaoud est situé à 650 Km sud Est d'Alger et à 350Km de frontière tunisienne, Les démontions de champ éteignent 2500 Km² avec une surface imprégnée d'huile environ 1600 Km².



Figure IV- 1 Situation géographique du champ HMD

IV.5.6 Description des installations de HMD :

La production d'un puits est un mélange triphasique composé d'hydrocarbures liquide et gaz, d'eau et impuretés. Cette production subit un traitement niveau des complexes industriels CIS et CINA avant d'être expédiée.

Les quatre complexes CIS et UTBS et CINA et ZCINA composés d'une chaîne de procédés plus ou moins complexes ont pour fonction le traitement des effluents provenant des puits producteurs. Ces procédés sont faits pour prendre en charge :

- Le traitement du pétrole brut : séparation huile-eau gaz, dessalage et stabilisation pour la production d'un pétrole brut conforme aux normes commerciales (TVR, Salinité, Densité).
- Le traitement des gaz associés produits aux cours du processus du traitement du pétrole brut pour la production des GPL et condensats.
- Le traitement des eaux huileuses générées lors du processus traitement de pétrole brut pour la protection de l'environnement.
- Le raffinage d'une partie du brut pour la production de carburants; approvisionnement du marché local.
- La réinjection des gaz résiduels et l'injection d'eau pour le maintien de la pression du gisement.

IV.5.7 Description générale de l'usine ZCINA :

Présentation de l'usine ZCINA :

ZCINA est une nouvelle unité d'extraction des liquides de gaz associés sur le champ de Hassi-Messaoud nord ; Cette nouvelle zone est située à environ 5 km au nord de CINA.

Cette unité comprend notamment :

- Des connexions à la ligne existante de 40'' de gaz associés de CINA, pour amener le gaz de charge et exporter le gaz résiduel.
- Une section de réception du gaz de charge.
- Une unité de compression du gaz de charge.
- Trois trains de traitement de gaz incluant une section de déshydratation du gaz, une section de récupération des liquides, une section de séparation des GPL et des condensats et un système d'huile chaude.
- Des stockages et une pomperie d'expédition des GPL.
- Des stockages et une pomperie d'expédition des condensats.
- Des systèmes d'utilités.
- Des systèmes de torche.
- Des lignes d'expédition des produits (GPL, condensats).
- Des infrastructures et des bâtiments.

Les installations sont conçues pour récupérer les liquides des gaz associés provenant de l'usine de traitement de brut de CINA et de l'unité de séparation d'huile LDHP. Le traitement du gaz consiste, après réception du gaz depuis la ligne existante allant aux sections de réinjections.

IV.5.8 Identification des Systèmes à étudier :

Le bac de stockage de condensat (31C-RA-35-01 A) :

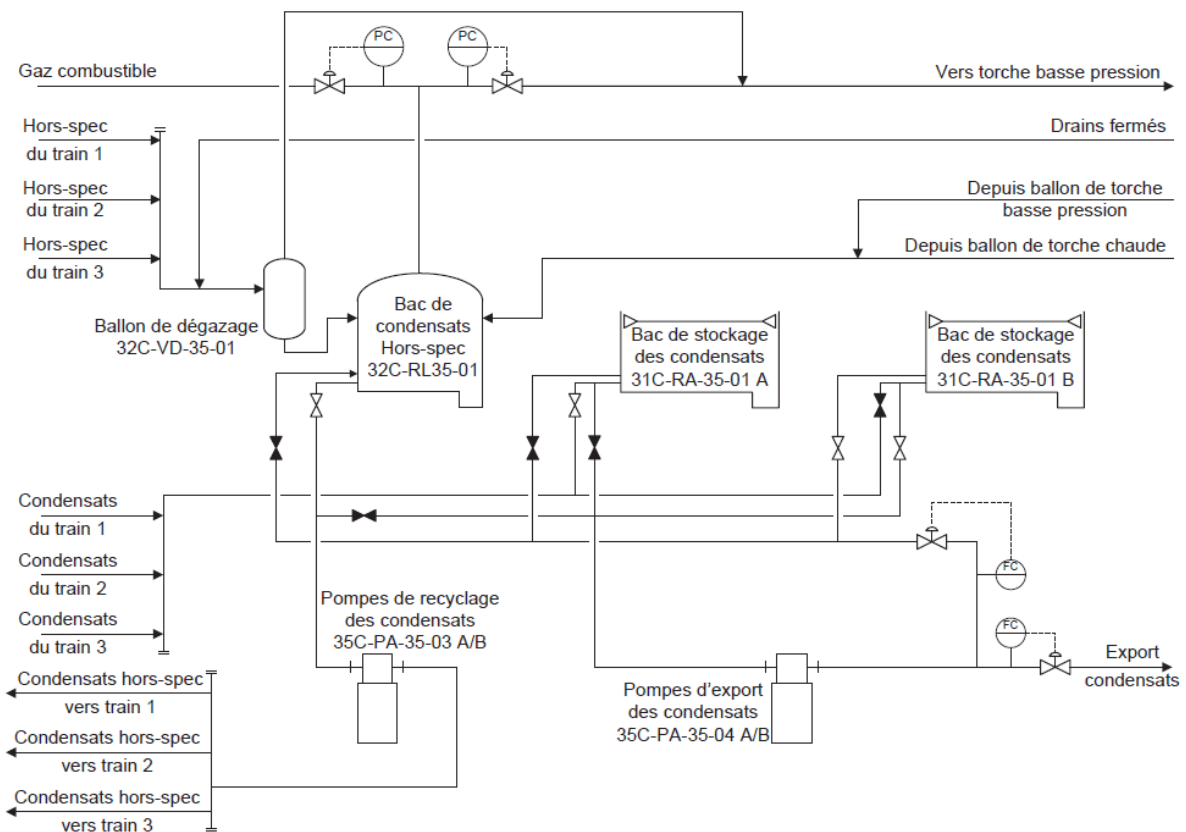


Figure IV- 2 : Le bac de stockage de condensat (31C-RA-35-01 A)

Le système de stockage des condensats se compose au total d'un ballon et de trois bacs. Deux de ces bacs (31CRA-35-01 A/B) sont des bacs à toit flottant d'une capacité unitaire totale d'environ 1000 m³. Ils sont dédiés à recevoir des condensats stabilisés répondant aux spécifications (TVR inférieure à la valeur limite prévenant le dégazage selon la saison) et provenant des trains de production via le collecteur de condensats stabilisés.

En opération normale, un bac de stockage à toit flottant 31C-RA-35-01 A ou B est en remplissage pendant que le second est en phase de vidange vers l'export.

Tableau IV- 1 : description des paramètres de service du bac

Équipement	31C-RA-35-01 A/B
Service	Bac de stockage des condensats
Pression opératoire barg	Atm
Température opératoire °C	10 / 60
Pression de calcul barg	Atm
Température de calcul (min / max) °C	- 5 / 90
Dimension (D/L) mm	12 500 / 10 000

IV.5.9 Scénarios et phénomènes dangereux dans la zone de stockage condensat :

Suite aux résultats des études HAZOP et HAZID établis par des bureaux d'études, les causes, dite événement initiateur, sont la perte de confinement par (corrosion, agression externe, défaut soudure) / Débordement du bac, Perte du toit flottant (toit coulé/ éjecté), Détérioration du joint du toit flottant, Blocage du toit flottant en position haute. et suite aux simulation établi par le logiciel Phast sur les conséquence des scénarios et phénomènes dangereux catastrophiques inhérents tels que (Risque d'incendie (feu de cuvette) et d'UVCE dans la cuvette en présence d'une source d'inflammation , Pollution du sol, Risque de feu de bac en présence d'une source d'inflammation (foudre, court-circuit, feu un, Feu de joint, Risque d'explosion du réservoir par entrée d'air).

IV.6 Modélisation par le logiciel PHAST :

La modélisation des effets d'un phénomène accidentel comprend trois composantes, à savoir les modélisations du « terme source », de la « propagation » de cette source dans l'environnement et l'effet sur les « cibles ».

La dispersion atmosphérique d'un produit rejeté accidentellement dépend essentiellement :

- Des caractéristiques de la source d'émission (énergie cinétique, direction du rejet, densité du produit rejeté, durée de la fuite, conditions de la fuite...).
- Des conditions météorologiques comme la vitesse du vent, la stabilité de l'atmosphère, l'hygrométrie, la température ambiante.
- Des conditions de relief et de la présence d'obstacles.

IV.2.1 Les données requis pour la simulation :

CHAPITRE IV

Tableau IV- 2 : les données requis pour la simulation

Les caractéristiques	Les valeurs
Vitesse du vent	3.78 m/s
Direction du vent	Nord-est (45°)
Pression	ATM
Température	Ambiante (36c°)
Les dimensions (D/H) mm	(12500/10000)
Capacité m ³	1000

IV.2.2 Les résultats de simulation par logiciel Phast :

Modélisation de la dispersion :

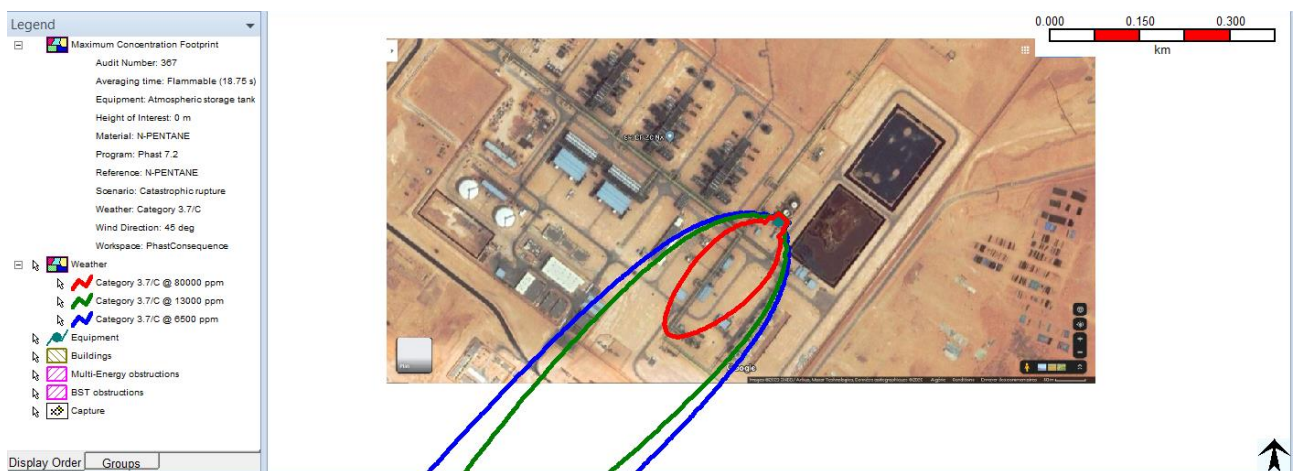


Figure IV- 3 : les zones de concentration du polluant sur site

Commentaire :

Le résultat dans la figure ci-dessus montre les zones touchées par le polluant pendant un temps de 18.75seconds. On peut remarquer une très importante dispersion de polluant, qui s'étend jusqu'à 300m on qualifie cette zone comme étant une zone mortel (asphyxie), après jusqu'à une distance de 1200m comme une zone la concentration du polluant moins dangereuse.

Modélisation des effets thermiques :

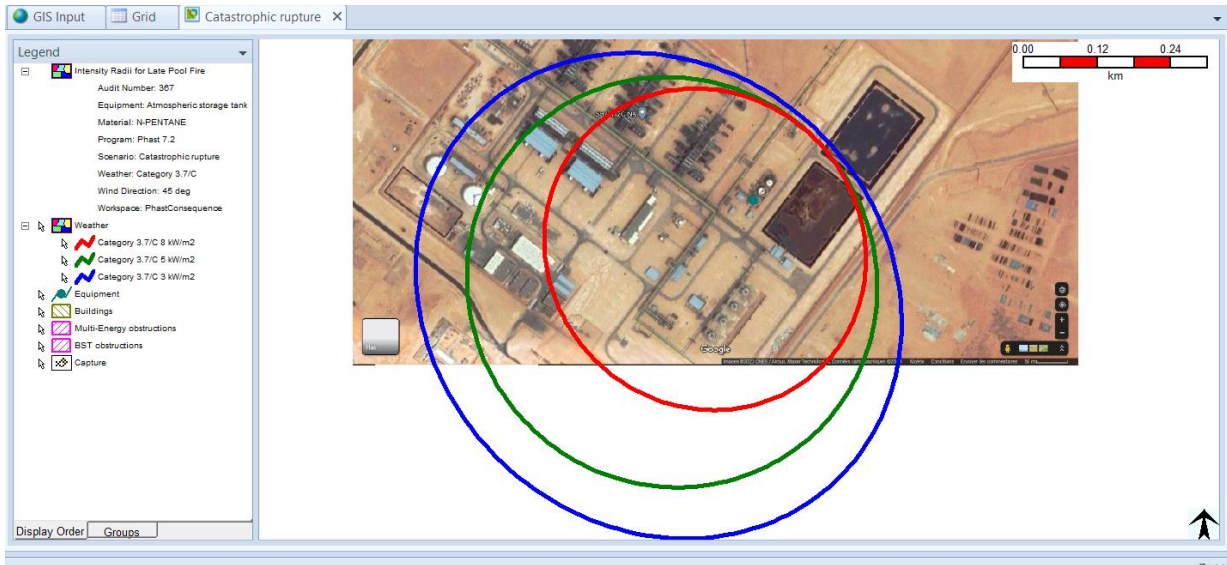


Figure IV- 4 : les zones touchées par les radiations thermiques (Pool Fire) sur site

Commentaire :

D'après ce résultat on remarque que les radiations thermiques atteignent une distance de 600m à partir du bac de condensat.

Modélisation des effets de surpression :

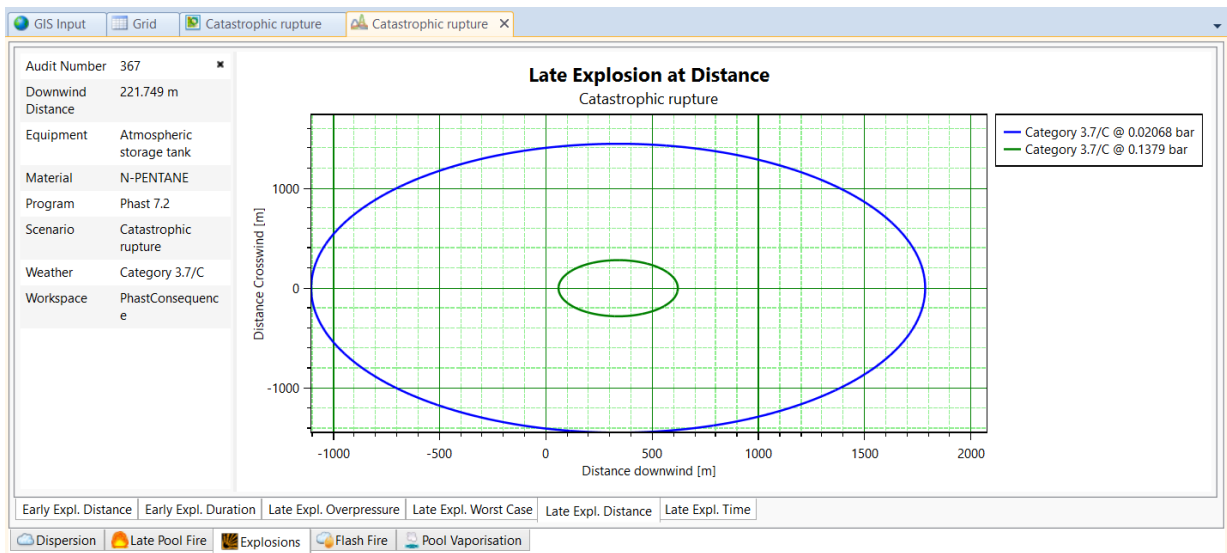


Figure IV- 5 : les zones touchées par les ondes de pression (bar)

Commentaire :

La figure ci-dessus montre que les effets de surpression peuvent atteindre jusqu'à la distance de 1500 m à partir du bac de condensat, par une propagation peut engendrer des graves dégâts.

IV.2.3 Conclusion sur la modélisation par phast:

La survenus de ces scénario catastrophique peuvent engendrer des conséquences catastrophiques sur l'homme, sur les installations et l'environnement avoisinant causant de graves pertes économiques. À cet effet, il ne faut pas négliger la totale sécurité au niveau de ces zones de stockage, d'où l'importance d'un dispositif de sécurité performant et fiable qui peut assurer la prévention ainsi que l'intervention afin de diminuer les dégâts.

IV.7 Le système déluge à mousse comme barrière de sécurité :

IV.2.4 Description du système déluge à Mousse:

Le complexe pétrolier est situé au sud d'Algérie (Hassi Messaoud) ou la température est souvent très élevé et avec les scénarios catastrophiques déjà mentionné le système déluge à mousse joue un rôle très important dans le cas de stockage des condensats par l'intervention des couronnes de refroidissement afin de maitriser le flux thermique et réduire les conséquence d'effet domino et l'étouffement de feu par les déversoirs à mousse en cas d'incendie pour délimiter les dégâts.

Cependant, le système déluge à mousse est un système qui assure ces fonctions à partir du réseau anti incendie général du complexe pétrolier voir figure IV-6.

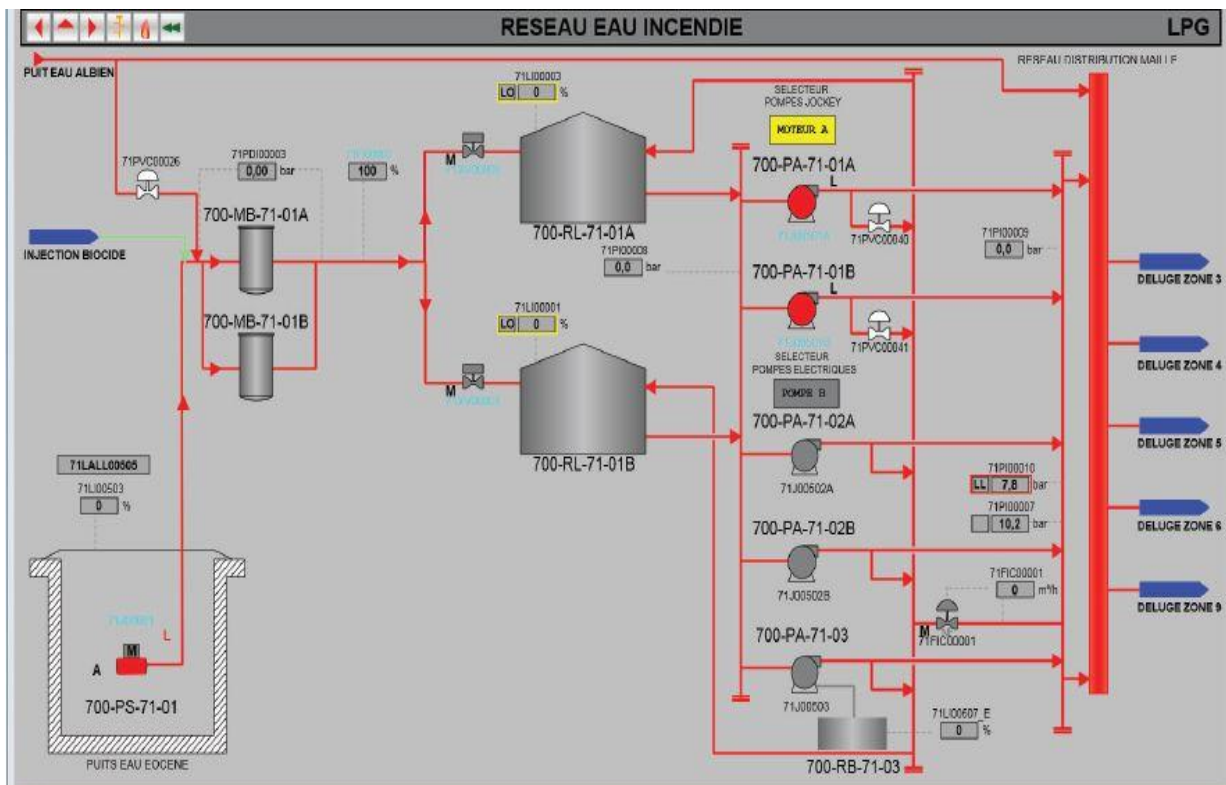


Figure IV- 6 : réseau eau incendie

IV.2.5 Équipements et fonctionnement du système déluge à mousse:

La zone de feu au niveau de Stockage des Condensat dispose d'un système à mousse comprenant deux réservoirs de stockage d'eau incendie, une pomperie incendie, systèmes vannes automatique, un ballon d'émulseur et un réseau de distribution.

Les deux réservoirs d'eau sont d'une capacité de 14 000 m³ avec une autonomie de 12 chacun. Le système pomperie comporte plusieurs pompes redondantes calculé pour le scénario le plus défavorable. {deux pompes jockey (2×100%) 30 m³ /h à 8 barg, deux pompes électriques (2×50) 550m³ /h à 10 barg et une pompe diesel (1×100) 1100m³ /h à 10 barg}. La 1^{ère} pompe jockey marche à plein temps pour maintenir le réseau sous pression, les autres pompes interviennent soit automatiquement par le système Feu et gaz en cas de détection de feu confirmée par 2 détecteurs parmi les 3 ou bien par le transmetteur de pression en as de basse pression dans le réseau selon des étapes bien définies ou bien manuellement par l'opérateur à partir de la salle de contrôle ou bien sur site. Ensuit par l'ouverture des vannes automatique déluge et à partir d'un ballon d'émulseur (706-RA-71-10) et avec l'aide des injecteurs de pipeline (eau/émulseur) on obtient un mélange {Eau + émulseur + Oxygène} mousse pour combattre les feux de liquide inflammables par l'intervention des couronnes de refroidissement et les déversoirs à mousse. [13]

Le scénario dimensionnant pour la demande en émulseur des unités LPG/LDHP correspond à un feu sur les séparateurs triphasiques, nécessitant un débit d'émulseur de 47.5 m³/h avec 30% de marge. Les quantités nécessaires d'émulseur sont de 10 m³ pour ce complexe.

Lorsque le système déluge à mousse est le responsable sur la protection des équipements de stockage des condensats et la zone LPG en général il doit être Fiable et disponible à l'instant t si y'a besoin.

CHAPITRE IV

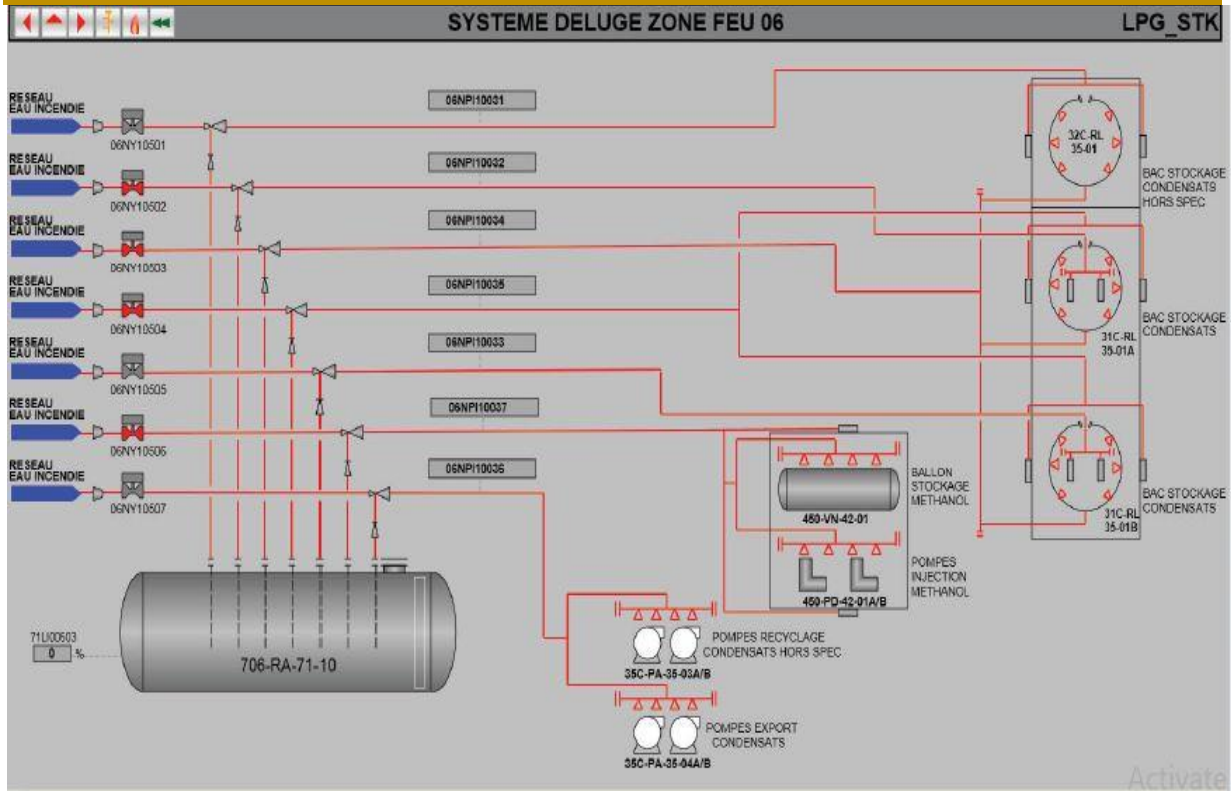


Figure IV- 7 : système déluge à mousse la zone de stockage de condensat

IV.8 Analyse par ADD :

IV.2.6 Données d'étude de fiabilité du système à mousse :

Avant d'entamer une analyse par arbre de défaillance il est nécessaire d'avoir les données de fiabilité de chaque équipement susceptible d'être défaillant tel que (taux de défaillance, taux de réparation, période de test...) c'est données sont sélectionnées selon les modes de défaillance des équipements préétabli par retour d'expérience du système déluge à eau à partir de la base de données (OREDA-2009) regroupées dans le tableau IV-3:

Tableau IV- 3 : les données de (λ ; MTTR) des composants

Composants	Paramètres (λ ;MTTR)
rupture de bac de stockage d'eau A/B	2.893E-05 ; 18
vanne manuelle de transition entre les deux bacs de stockage bloquée fermée	5.1E-06 ; 17
capteur de niveau défaillant	7.13E-06 ; 2,3
erreur humaine	0.01
système d'émulseur défaillant	0.0004
les vannes auto bloquée fermé	5.93E-06 ; 6
Capteur pression défaillant	4.2E-07
les couronnes de pulvérisation de mousse défaillantes	1E-06
déversoir à mousse défaillant	2.136E-07

CHAPITRE IV

détecteurs 1/2/3 défaillant	7.3E-07 ; 4
Pompe diesel défaillant	6.078E-05 ; 34
pompe diesel ne démarre pas à la demande	0.0018
générateur diesel défaillant	0.0105021 ; 18.1
Pompe jockey A/B défaillante	6.078E-05 ; 34
pompe jockey A/B ne démarre pas à la demande	0.0018
pompe électrique A/B défaillant	6.078E-05 ; 34
pompe électrique A/B ne démarre pas à la demande	0.0018

Remarque :

Données manquante pour système émulseur (MTTR) alors il est étudié a priori comme étant non réparable.

IV.2.7 Construction de l'arbre :

On a choisi :

- l'évènement redouté comme : indisponibilité de système à mousse

Les sous-systèmes :

- stockage d'eau
- pompes
- système à mousse
- détection de flamme

Les figures suivantes représentent la construction de l'arbre de défaillance par logiciel isographe présenté en sous-système :

CHAPITRE IV

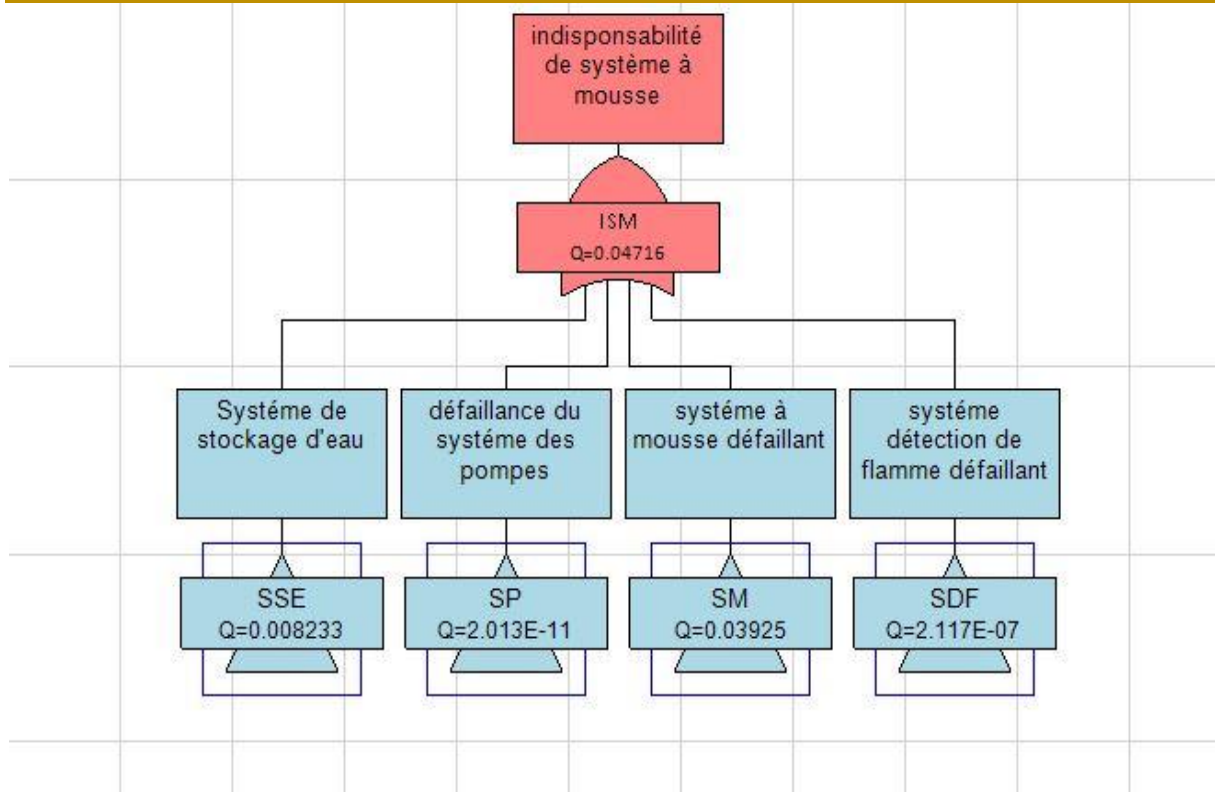


Figure IV- 8 : ADD de l'évènement redouté

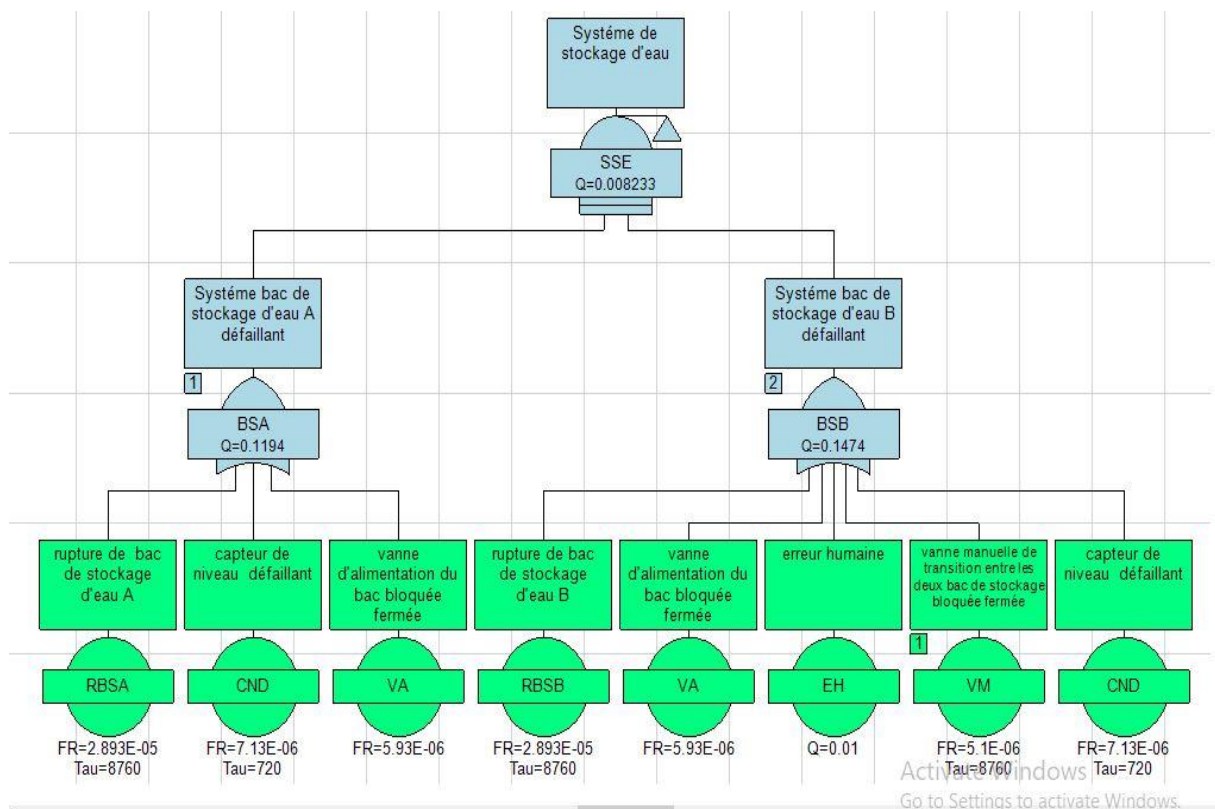


Figure IV- 9 : suite ADD sys stockage d'eau

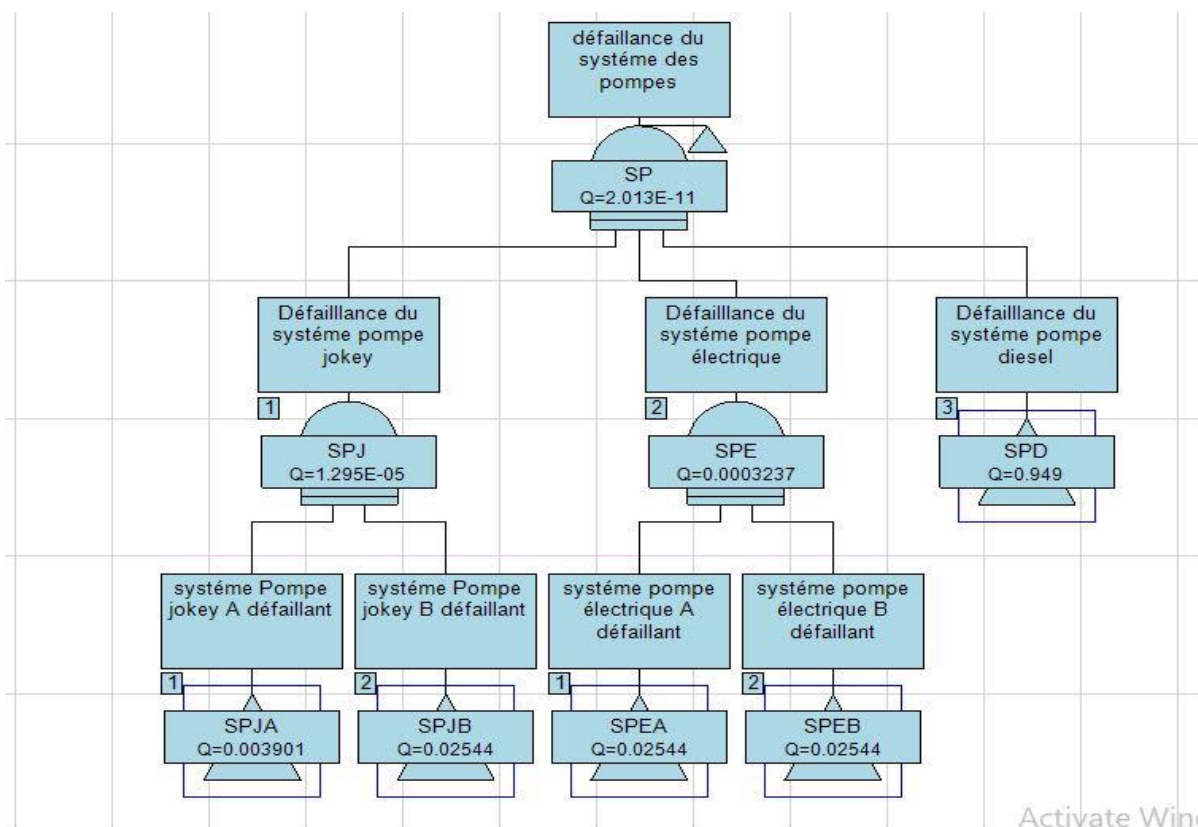


Figure IV- 10 : suite ADD sys pompes

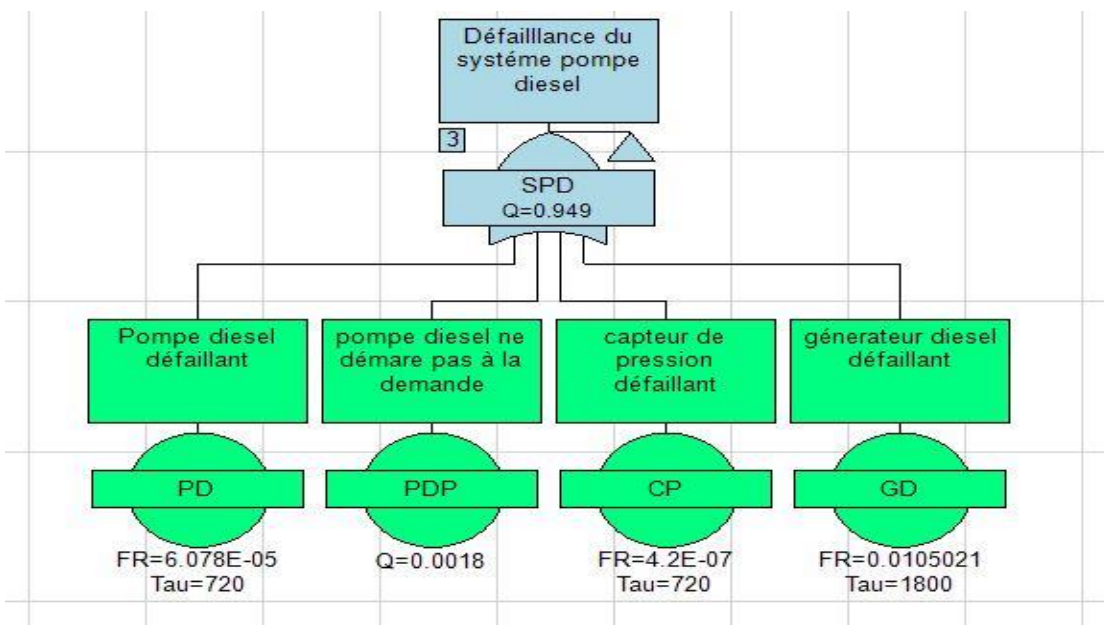


Figure IV- 11 : suite ADD sys pompe diesel

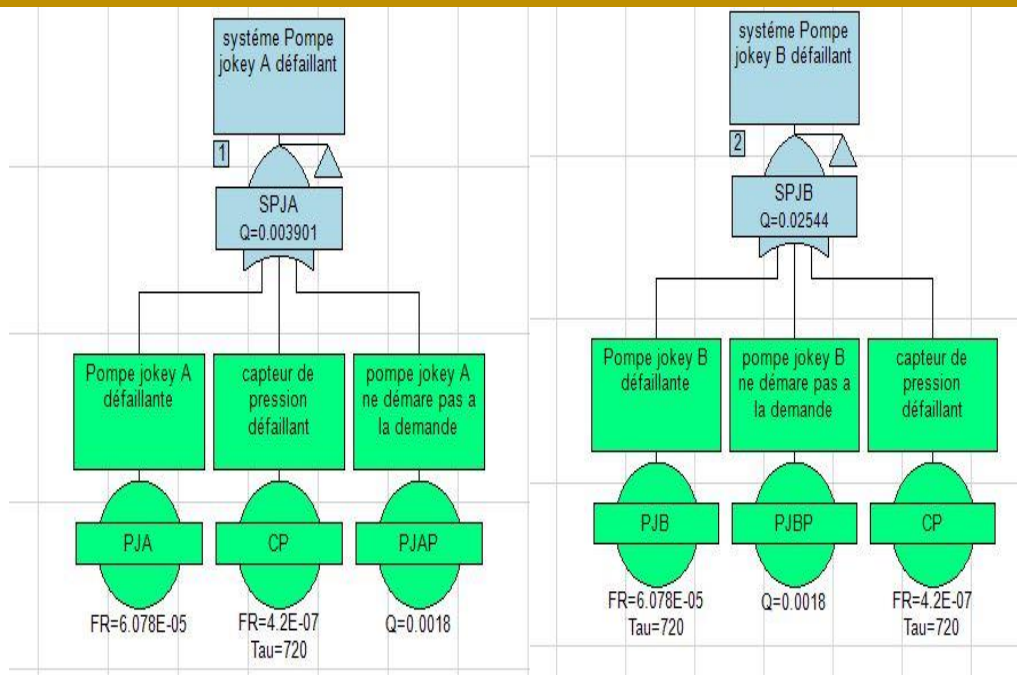


Figure IV- 12 : suite ADD sys pompes jockey A et B

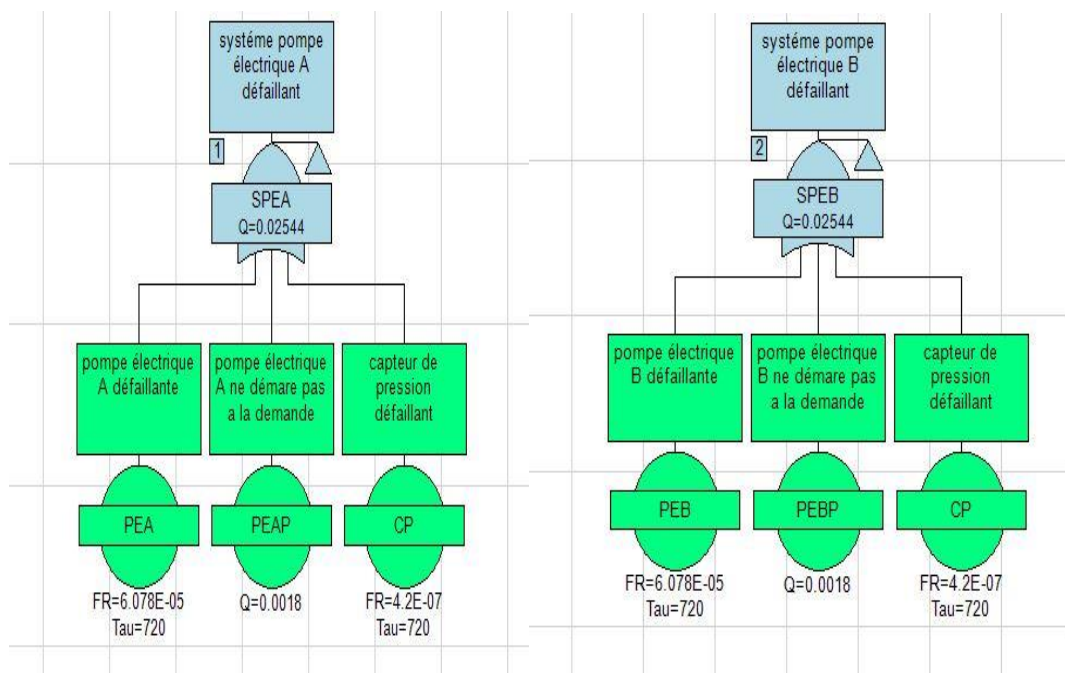


Figure IV- 13 : suite ADD sys pompes électrique A et B

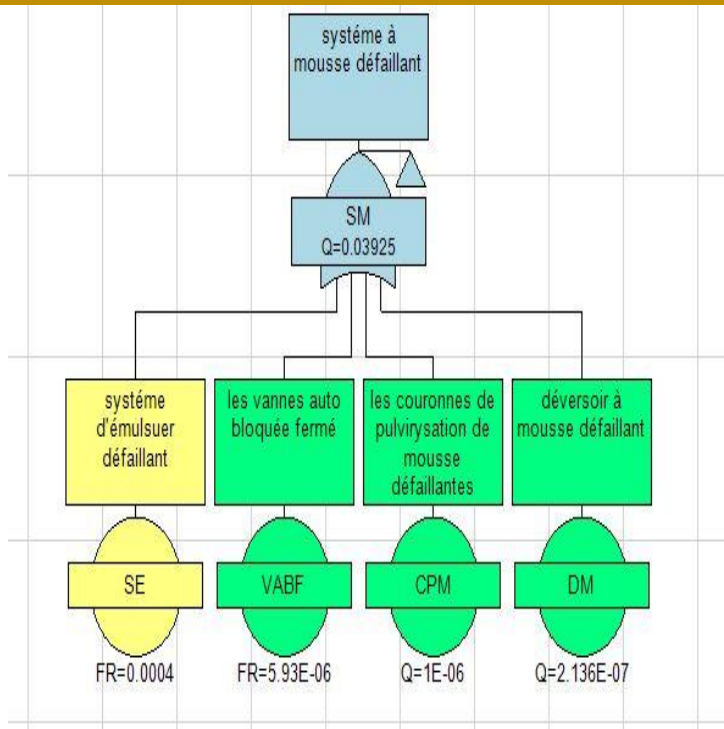


Figure IV- 14 : suite ADD sys à mousse

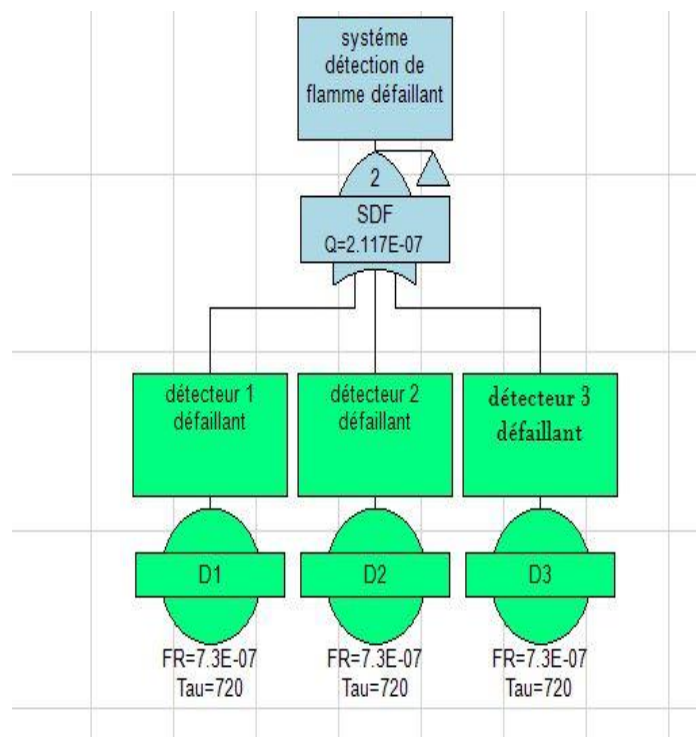


Figure IV- 15 : suite ADD sys de détection de flamme

IV.2.8 Résultats et discussion :

Après une analyse par l'arbre de défaillance on obtient les graphes de l'indisponibilité afin d'établir une synthèse d'évaluation des sous-systèmes et le système global :

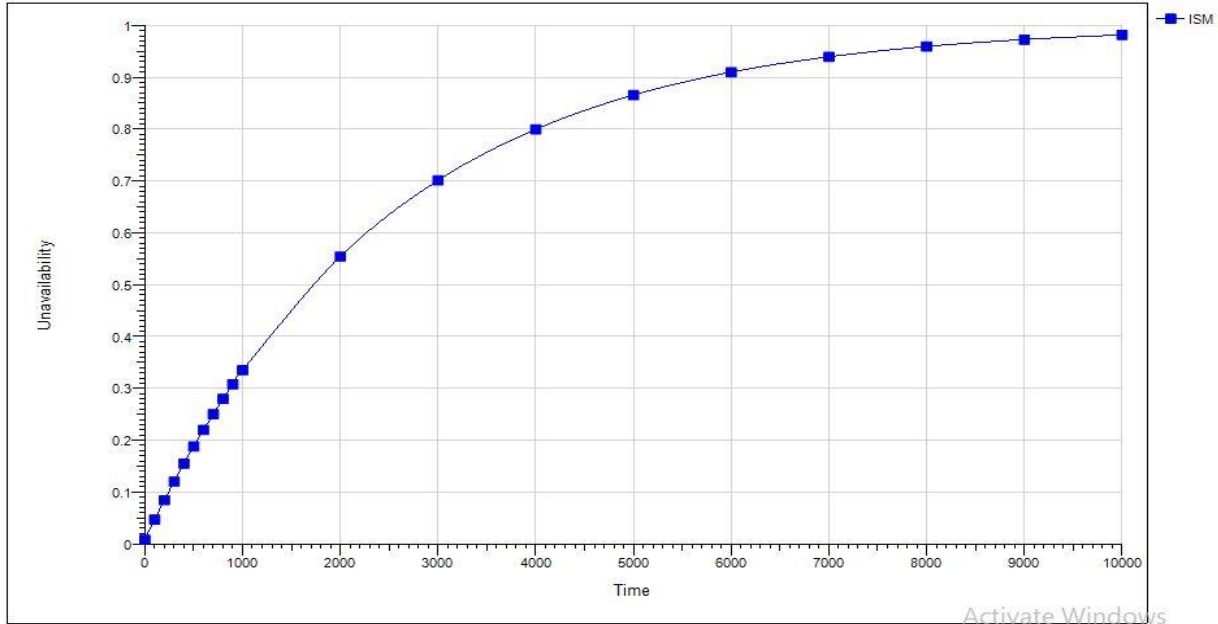


Figure IV- 16 : variation de l'indisponibilité de système à mouse global

Synthèse du système globale :

La courbe de la figure montre l'indisponibilité (unavailability) du système sur un intervalle de simulation de 10000h, on remarque que l'allure de la courbe augmente régulièrement jusqu'à l'indisponibilité totale où la courbe stabilise sur une valeur asymptotique 98.18% c'est-à-dire notre système devient totalement indisponible au court du temps par effet de l'usure et dégradation des équipements qui influence directement sur sa disponibilité d'où la nécessité d'une étude approfondie par facteur d'importance de diagnostic pour révéler ces équipements qui contribuent le plus à son indisponibilité et qui nécessitent une maintenance.

L'indisponibilité des autres sous-systèmes à 1000h est résumée dans le tableau suivant :

CHAPITRE IV

Tableau IV- 4 : L'indisponibilité des autres sous-systèmes

Sous-système	Indisponibilité	Sous-système	Indisponibilité
stockage d'eau	0.008233	Bac A	0.1194
		Bac B	0.1474
pompes	2.199E-11	Jockey	1.363E-5
		Électrique	0.0003237
		Diesel	0.949
détection de flamme	2.117E-7		
à mousse défaillant	0.9819		

Facteurs d'importance et coupes minimal :

Tableau IV- 5 : Facteurs d'importance et coupes minimal

Sous-Système	équipement	NO	Fussell-vesely	Birnbaum
bac de stockage d'eau A	• VA	• 1	• 0.0002973	• 1
	• CND	• 2	• 0.02155	• 1
	• RBSA	• 3	• 0.9782	• 1
bac de stockage d'eau B	• VM	• 1	• 0.01691	• 1
	• CND	• 2	• 0.01955	• 1
	• EH	• 3	• 0.07581	• 1
	• RBSB	• 4	• 0.8875	• 1
	• VA	• 5	• 0.0002973	• 1
système détection de flamme	• D1	• 1(D2, D3)	• 0.6667	• 0.0005313
	• D2	• 2(D1, D3)	• 0.6667	• 0.0005313
	• D3	• 3(D1, D2)	• 0.6667	• 0.0005313
système à mousse	• CPM	• 1	• 1.019E-06	• 1
	• DM	• 2	• 2.176E-07	• 1
	• SE	• 3	• 1	• 1
	• VABF	• 4	• 3.62E-05	• 1
système pompe diesel	• CP	• 1	• 0.0001554	• 1
	• GD	• 2	• 0.9738	• 1
	• PD	• 3	• 0.2419	• 1
	• PDP	• 4	• 0.00185	• 1
système pompe électrique A	• CP	• 1	• 0.005931	• 1
	• PEAP	• 2	• 0.07061	• 1
	• PEA	• 3	• 0.9235	• 1
système pompe électrique B	• CP	• 1	• 0.005931	• 1
	• PEBP	• 2	• 0.07061	• 1
	• PEB	• 3	• 0.9235	• 1

CHAPITRE IV

système Pompe jockey A	• PJAP	• 1	• 0.4485	• 1
	• CP	• 2	• 0.03761	• 1
	• PJA	• 3	• 0.5138	• 1
système Pompe jockey B	• CP	• 1	• 0.005931	• 1
	• PJBP	• 2	• 0.07061	• 1
	• PJB	• 3	• 0.9235	• 1

Synthèse générale :

À partir des résultats obtenus (tableau IV-5 de facteurs d'importance /les coupes minimal et tableau IV-4de l'indisponibilité des sous-systèmes) on peut déduire que l'élément principale qui contribue le plus à l'indisponibilité du système général c'est l'équipement émulseur par la raison que le taux défaillance de cet système est très important ($\lambda = 0.0004$ défaillances/h) par rapport aux autres équipements. D'où en remarque dans la figure de la courbe de sous-système à mousse est presque identique avec la courbe du système complet étudié (après 2000h A (ISM)= 55.4%, A (SM)=52%) voir la figure B.6 dans l'annexe B.

Solution proposé :

Alors pour diminuer l'indisponibilité d'un système on doit viser l'amélioration de sa fiabilité par une optimisation sur le design, par exemple sur le système émulseur il faut opter sur une redondance par l'utilisation d'une réserve pour assurer la performance de notre système à mousse mais lorsque quand parle de cout la mise en place d'une autre nouvelle installation est défavorisée.

Suite à un constat, avis d'expert et des équipements similaire à l'émulseur il est préférable d'aller vers une maintenance d'où on a choisi une valeur MTTR = 18h, on introduisant cette valeur sur l'ADD dans une loi réparable les résultats vont changer.

Modification sur l'arbre de défaillance :

On ajoute la valeur de MTTR au donnée de logiciel isographe ensuit on lance la simulation.

Tableau IV- 6 : les données de (λ et MTTR) d'émulseur

Équipement	Taux de défaillance/h	MTTR (h)
émulseur	0.0004	18

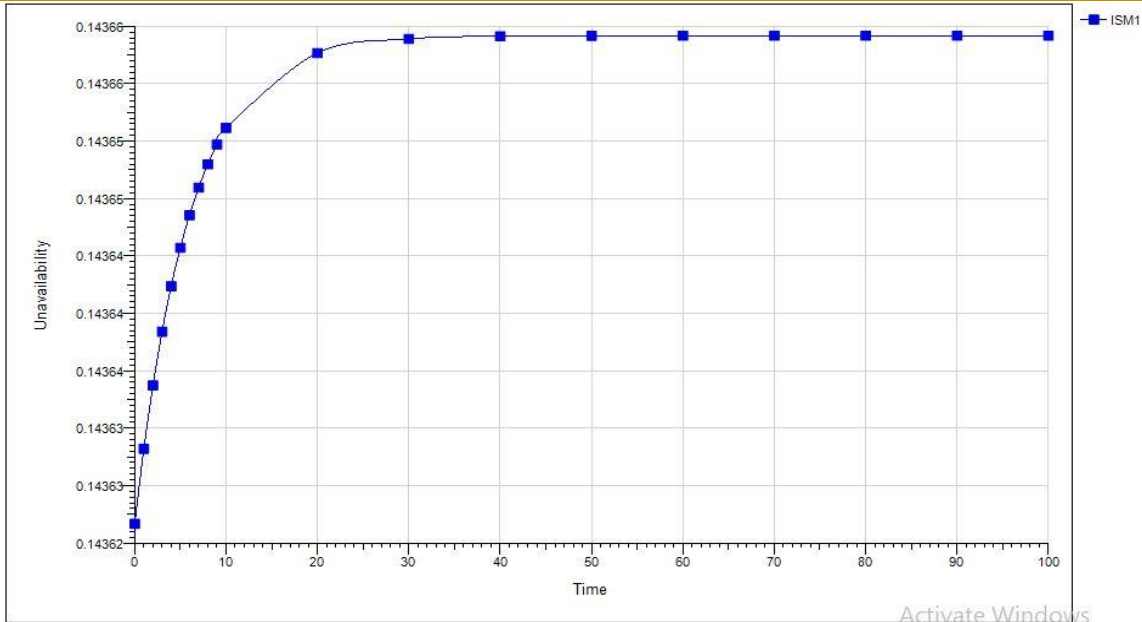


Figure IV- 17 : variation de l’indisponibilité de système à mousse globale

Suite aux changements précédents les nouveaux résultats de l’indisponibilité sont présents dans la courbe de la figure ci-dessus :

Synthèse du système globale :

On remarque dans ce cas que l’indisponibilité de système globale se commence par une valeur initial de 14,362 % et l’allure de la courbe se passe par trois phases (après chaque réparation importante l’allure va ralentir ou freiner jusqu’à où elle stabilise sur une valeur d’indisponibilité intrinsèque 14.366 % après 30h de simulation. Donc on exprime ces changements par l’importance des redondances appliqués sur les différentes parties de notre système avec les tests et les opérations répétitives de réparation qui jouent un rôle très important pour diminuer l’indisponibilité à un pourcentage remarquable sachant que les résultats ont été obtenus à l’aide d’une loi **dormant** (voir annexe A).

Tableau IV- 7 : comparaison entre l’indisponibilité de système à mousse avant et après les modifications

Équipement	Taux de défaillance/h	MTTR (h)	Indisponibilité de sous-sys à mousse	Indisponibilité de sys à mousse globale
Émulseur (non réparable)	0.0004	/	0.9817	0.9818
Émulseur (réparable)	0.0004		18	0.1366

IV.2.9 Conclusion sur l'étude par la méthode d'analyse par arbre de défaillance :

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif. En effet, on a, à partir de l'événement redouté défini a priori (l'indisponibilité du sys à mousse), déterminer les enchaînements d'évènements pouvant conduire à cet événement. Cette analyse nous permettons de remonter de causes en causes jusqu'aux évènements de base qui sont à l'origine de l'événement redouté soit les défaillances des équipements composants le système anti incendie.

Le principal avantage de cette méthode c'était visualiser l'ensemble des combinaisons d'évènements élémentaires conduisant à la défaillance et de s'assurer que toutes les mesures possibles été envisagées en vue de prévenir le risque associé à cet événement. Mais l'arbre des défaillances ne prend pas en compte de l'aspect temporel des scénarios d'évènements conduisant à la défaillance, cette méthode est binaire, un événement peut soit se produire, soit ne pas se produire.

IV.9 Analyse par les chaines de Markov :

À partir de la problématique précédente, on a choisi le sous-système pompes pour le modéliser par un graphe d'états de Markov parce que ce système est le favorable pour la modélisation par les chaines de Markov, un système simple avec des redondances très important qui donne des résultats considérable.

Alors au premier temps on a défini les phases de notre sous-système comme suit :

- A. Phase de repos.
- B. Phase d'intervention en cas d'incendie.

Après on a identifié les composants de sous-système pompes :

- 1- Sous-système pompes jockeys.
- 2- Sous-système pompes électriques.

On a lancé les calculs par logiciel isograph.

Établir de graphe d'état :

IV.2.10 Phase de repos :

1- Sous système pompes jockeys :

Les différents états :

- État 1 : Pompe A marche; B standby
- État 2 : Pompe A stand by; B marche
- État 3 : Pompe A défaillante; B marche

CHAPITRE IV

- État 4 : Pompe A marche; B défailante
- État 5 : Pompe A défailante; B défailante

Tableau IV- 8 : Les données des (λ ; σ)

Équipement	Taux de défaillance	Taux de réparation
Pompe jockey	6.096E-05	0.0152

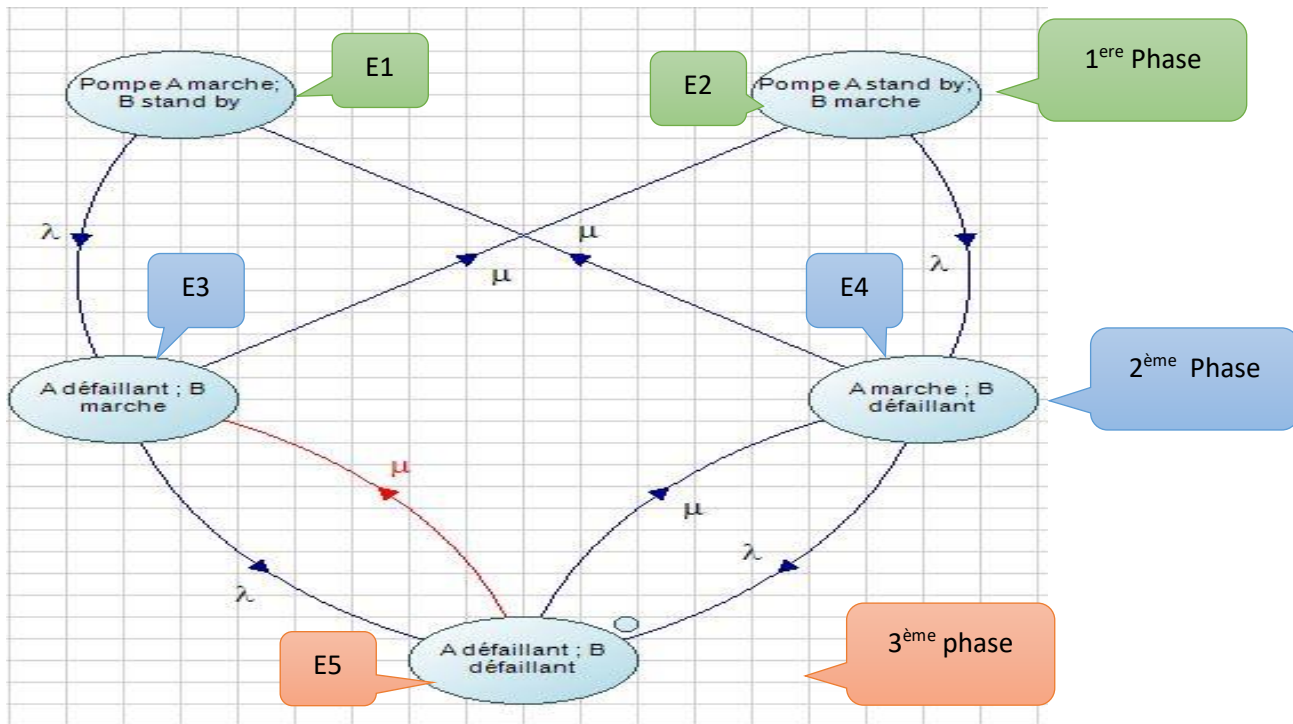


Figure IV- 18 : graphe d'état de Sous-système pompes jockeys

Synthèse :

Ce graphe d'état présent les cinq états (E1, E2, E3, E4 et E5) et les transitions de passage d'un état à un autre du sous-système pompe jockeys. On répartie notre graphe en trois phase :

- La 1ère phase : On passe de la 1ère phase vers la 2ème par la transition de défaillance soit de la pompe A de l'état 1 ou la pompe B de l'état 2 et a partir la transition de réparation de on revient de l'état 4 vers l'état 1 ou de l'état 3 vers l'état 2.
- La 2ème phase : on passe de la 2ème phase vers la 3ème par la transition de défaillance de la pompe B de l'état 3 ou de la pompe A de l'état 4 et a partir la transition de de réparation de l'état 5 on revient soit à l'état 4 ou à l'état 3.
- La 3ème phase : c'est l'état de panne des deux pompes.

Dans les deux premières phases le sous-système est en marche par la suite il devient totalement en panne dans la phase trois.

CHAPITRE IV

Tableau IV- 9 : les différents états de sous-système pompe Jockey

Pompe A	Pompe B	État	Marche oui/non
Marche	Standby	1	Oui
Standby	Marche	2	Oui
Défaillante	Marche	3	Oui
Marche	Défaillante	4	Oui
Défaillante	Défaillante	5	Non

2- Sous-système pompes électriques :

Les différents états :

- État 1 : Pompe A marche; B standby
- État 2 : Pompe A défaillante; B marche
- État 3 : Pompe A marche; B défaillante standby
- État 4 : Pompe défaillante; B défaillante

Tableau IV- 10 : Les données des (λ ; σ)

Équipement	Taux de défaillance	Taux de réparation
Pompe électrique	6.096E-05	0.0152

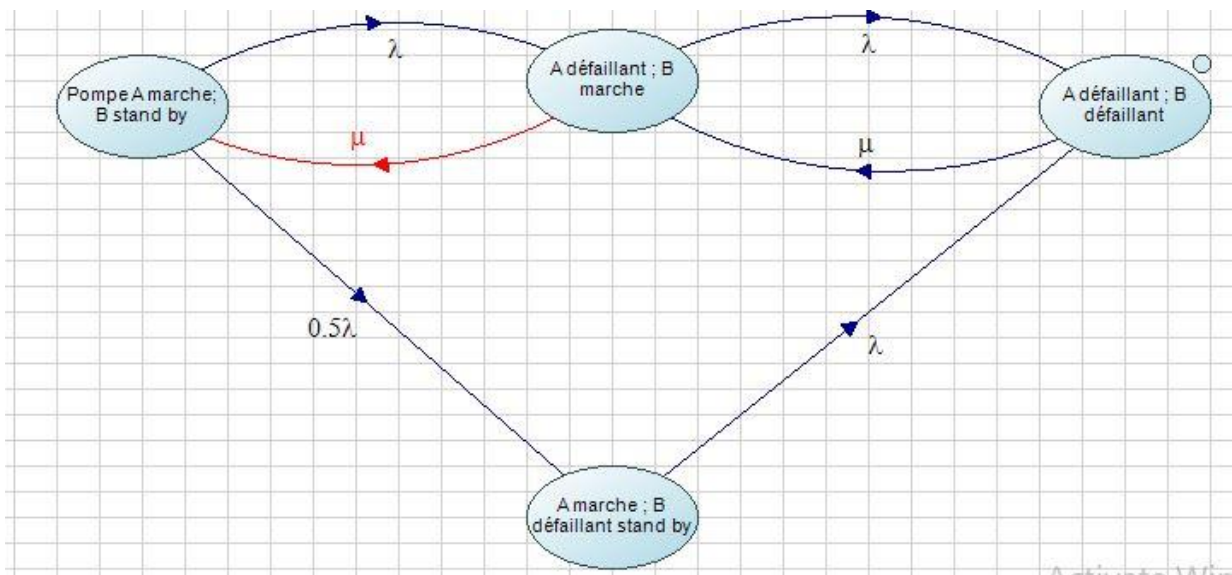


Figure IV- 19 : graphe d'état de Sous-système pompes électriques

Synthèse :

Ce graphe d'état présente cinq états (E1, E2, E3 et E4) et les transitions de passage d'un état à un autre du sous-système pompe électrique. Dans l'état 1, la pompe électrique A marche et la pompe B est en standby et on passe à l'état 2 par la transition de défaillance de la pompe A et en retour par la transition de réparation ensuite on peut aller vers l'état 4 par la transition de

CHAPITRE IV

défaillance de la pompe B et comme cas exceptionnel de probabilité de 50 % de survenu c'est d'aller de l'état 1 vers l'état 3 par la transition de défaillance de la pompe B au même temps c'était en standby (ça veut dire qu'elle n'était pas détecté défaillante mais né au moins il y-a la possibilité d'être défaillante) ensuite d'aller de l'état 3 vers l'état 4 par transition de défaillance de la pompe A.

Dans les trois premier états le sous-système marche et tombé en panne totalement dans l'état 4.

Tableau IV- 11 : les différents états de sous-système pompe électrique

Pompe A	Pompe B	État	Marche oui/non
Marche	Standby	1	Oui
Défaillante	Marche	2	Oui
Marche	Défaillante standby	3	Oui
Défaillante	Défaillante	4	Non

Tableau IV- 12 : les résultats de l'indisponibilité et la fiabilité du sous-système pompe jockey et sous-système pompe électrique.

Sous-système	Indisponibilité	Fiabilité
pompes jockeys	8.01E-6	99.76 %
pompes électriques	8.013E-4	92.92 %

IV.2.11 Phase d'intervention en cas d'incendie :

Dans ce cas on a étudié la performance de système pompe en cas d'intervention sur terrain avec un débit nécessaire pour faire face la situation cet augmentation de débit doit assurer par la redondance entre le sous-système pompes jockey et les deux pompes électrique puissants.

La simplification pour pompe jockey et pompe e standby

Les différents états :

- État 1 : 2 pompes marches; 1 pompe standby
- État 2 : 1 pompe défaillante; 2 pompes marches
- État 3 : 2 pompes défaillantes; 1 pompe marche
- État 4 : 2 pompes marches; 1 pompe défaillante standby
- État 5 : 3 pompes défaillantes

Tableau IV- 13 : Les données des (λ ; μ)

Équipement	Taux de défaillance	Taux de réparation
Pompes électrique	6.096E-05	0.0152

CHAPITRE IV

pompes jockeys

6.096E-05

0.0152

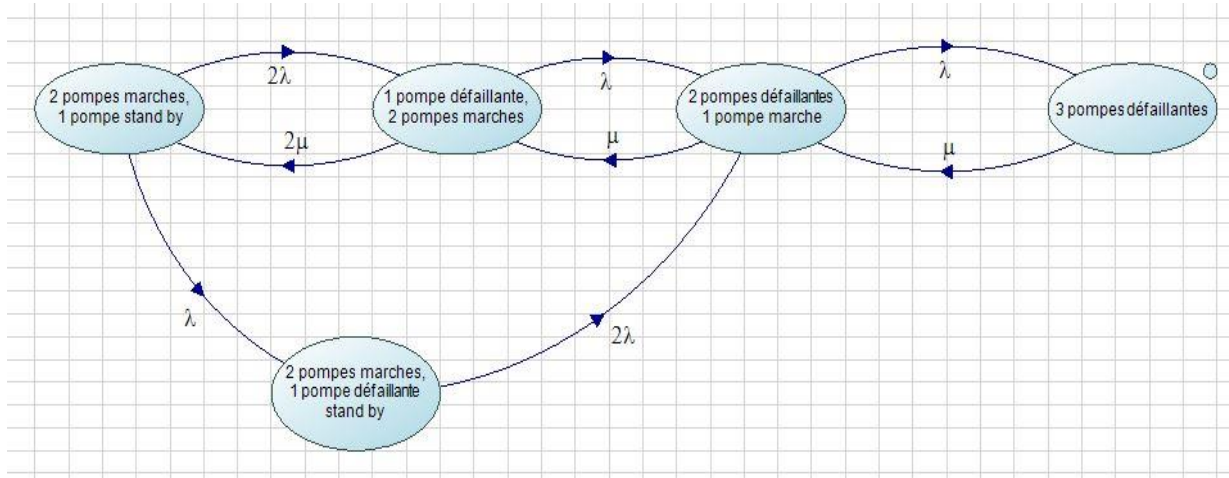


Figure IV- 20 : graphe d'état de Sous-système pompes électriques et jockeys

Synthèse :

Ce graphe d'état présente cinq états (E1, E2, E3, E4 et E5) et les transitions de passage d'un état à un autre du sous-système pompe jockeys et électrique, dans ce cas d'intervention on a les deux pompes jockey supposé comme une seule pompe de taux de défaillance égale $2 \times \lambda$ parce que les deux sont identiques et on a comme condition lors de l'intervention que les deux pompes soient en marche au même temps. Alors dans l'état 1 les deux pompes jockey et la pompe électrique A marche et l'autre pompe électrique B standby, l'état 2 c'était par la transition de défaillance de la pompe jockey et par la transition de réparation pour reprendre à l'état 1, ensuite l'état 3 c'était la transition de défaillance de la pompe électrique A, l'état 5 c'était la transition de défaillance de la pompe électrique B et le retour de l'état à l'état précédent c'est par la transition de réparation. En fin l'état 4 c'est d'aller de l'état 1 vers l'état 4 par la transition de défaillance de la pompe électrique B au même temps c'était en standby et de aller de l'état 4 vers l'état 3 par la transition de défaillance de la pompe jockey.

Tableau IV- 14 : les différents états de sous-système pompe électrique et jockey

Pompe jockey	pompe électrique A	pompe électrique B	État	Le système marche oui/non
marche	marche	standby	E1	Oui
défaillante	marche	marche	E2	Oui
défaillante	défaillante	marche	E3	Non
marche	marche	Défaillante standby	E4	Oui
défaillante	défaillante	défaillante	E5	Non

Tableau IV- 15 : les résultats de l'indisponibilité et fiabilité de sous-système pompe électrique et jockey

CHAPITRE IV

Sous-système	Indisponibilité	Fiabilité
pompe électrique et jockey	8.971E-6	99.91%

IV.2.12 Intégration des résultats :

D'après les résultats obtenus par la modélisation de graphe de Markov on a les intégrés dans l'arbre de défaillance pour voir les changements sur l'indisponibilité de système de pompe en général.

➤ Phase de repos :

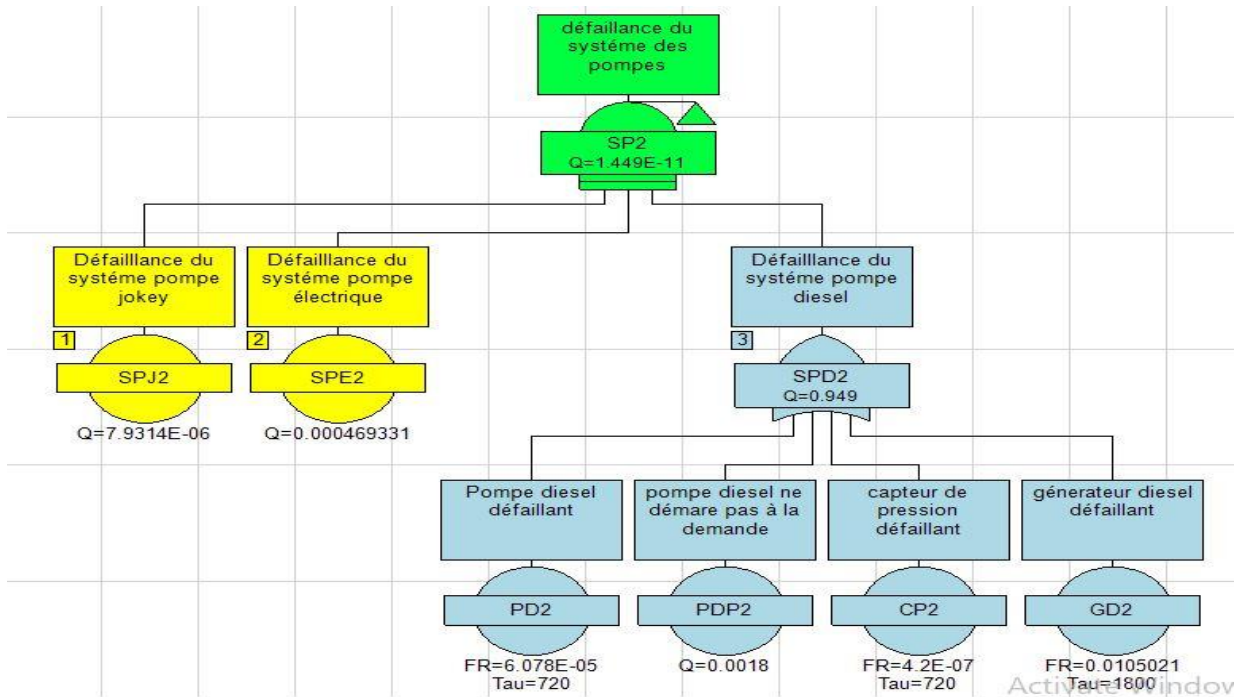


Figure IV- 21 : intégration des résultats de chaîne de Markov sur ADD

Synthèse :

Dans la phase de repos après l'intégration des valeurs de l'indisponibilité des deux sous-systèmes pompe jockey et électrique et les avoir simplifié dans l'arbre en les considérant sur logiciel comme étant un événement de base ; on remarque l'indisponibilité du système pompe en général diminue parce que les trois sous-systèmes sont en redondance et les valeurs intégrées sont plus précises. Il scénarise les différents états par lesquels passe le sous-système pompe.

Tableau IV- 16 : les résultats de l'indisponibilité du sous-système pompe jockey et sous-système pompe électrique par l'ADD

Système	L'indisponibilité
Pompe avant intégration	2.199E-11
Pompe après intégration	1.449E-11

➤ **Phase d'intervention :**

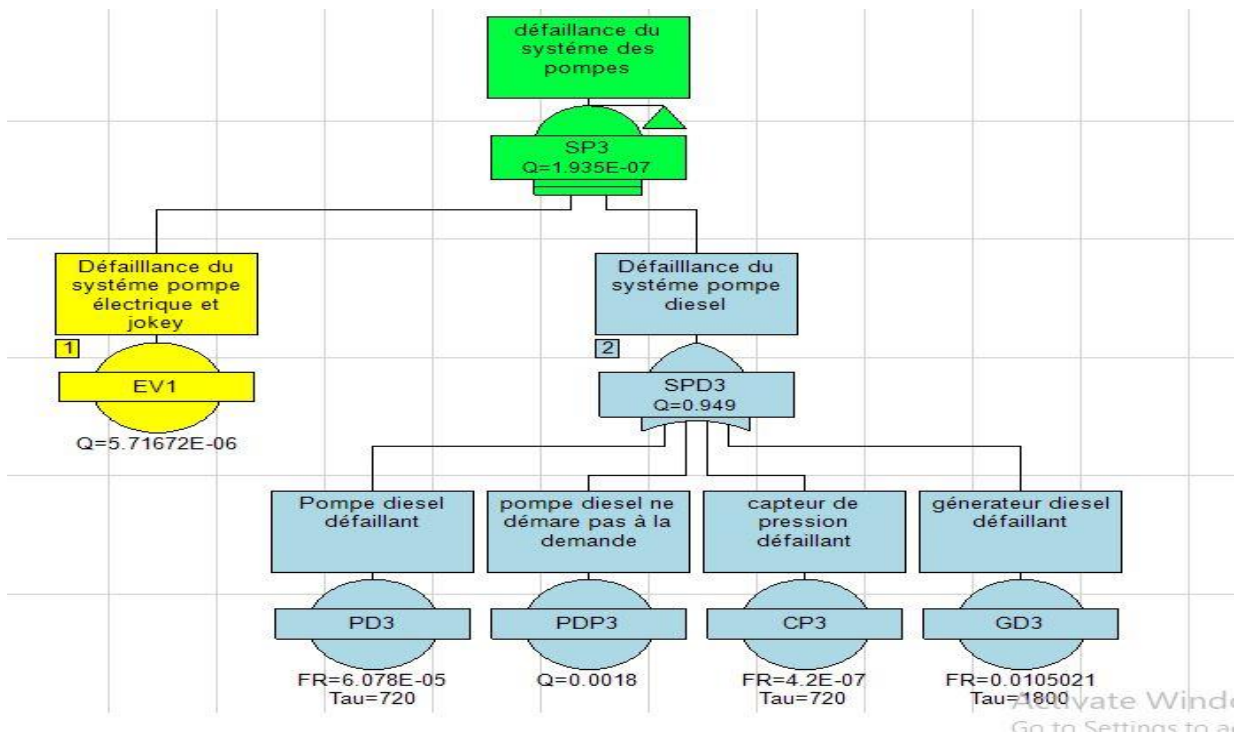


Figure IV- 22 : intégration des résultats de chaîne de Markov sur ADD

Synthèse :

Au niveau de la phase d'intervention et suite à l'intégration des valeurs de l'indisponibilité de sous-système pompe électrique et jockey comme un évènement de base dans l'ADD, on remarque que l'indisponibilité de système pompe augmente (voir le tableau IV-17), est ça est due à la phase d'utilisation des pompes d'où les chaînes Markov donne une précisions dans les calculs obtenus.

Tableau IV- 17 : les résultats de l'indisponibilité du sous-système pompe jockey et électrique par l'ADD

Système	L'indisponibilité
Pompe avant intégration	2.199E-11
Pompe après intégration	1.935E-7

IV.2.13 Conclusion sur l'étude par la méthode chaînes de Markov :

La modélisation et la simulation du système dynamique avec les chaînes de Markov a permis d'évaluer la disponibilité du système pompe, Le principe de cette étude était de représenter tous les états du système étudié et prendre en compte les interactions entre fonctionnement et dysfonctionnement pour une évaluation fine de ces paramètres de Sdf afin d'avoir un réseau

CHAPITRE IV

d'intervention d'un grand niveau de fiabilité et de disponibilité permettant ainsi de réduire les conséquences catastrophique dans la zone de stockage des condensat.

Mais Cependant, la modélisation par les chaine de Markov est d'une complexité excessive par rapport au grand système avec plusieurs interactions d'où la simplicité de l'exemple choisi pour notre étude, cette complexité qui limite sa mise en œuvre rigoureuse aux petits systèmes.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons d'abord présenté le système à étudier et le système déluge à mousse comme barrière de sécurité installé dans une zone de stockage de condensat en présentant les différents scénarios catastrophiques qui peuvent survenir dans cette zone à l'aide du logiciel Phast.

Ensuite on a fait l'étude de l'indisponibilité de cette barrière par une analyse statique (arbre de défaillance) et dynamique (les chaînes de Markov) à l'aide de logiciel isographe. En fin on a comparé les résultats obtenus par chaque méthode dans le but de l'étude de fiabilité et l'indisponibilité de notre système à mousse pour assurer un haut niveau de disponibilité et de fiabilité de notre système suite aux décisions établies pour faire face aux scénarios catastrophiques dans la zone de stockage de condensat.

Conclusion générale

Ce travail de fin d'étude avait pour but d'étudier la fiabilité d'un système déluge à mousse anti incendie dans un site industriel (ZCINA, Hassi-Mesaoud). Plus précisément d'évaluer à l'aide de logiciel isographe la disponibilité et la fiabilité afin d'assurer un haut niveau de performance du système déluge à mousse vis-à-vis la réduction de la gravité des dommages causés par les scénarios catastrophiques dans la zone de stockage de condensat.

Dans le chapitre I nous avons présenté un aperçu général sur les notions de la sûreté de fonctionnement ainsi que la sécurité d'une manière générale en définissant la terminologie employée dans ces domaines selon les normes, ensuite nous avons présenté la différence entre l'ensemble des approches de La Sûreté de Fonctionnement et on a résumé les différentes méthodes d'analyse de risque les plus utilisées dans le domaine d'analyse de la sûreté de fonctionnement dans le chapitre II d'où on a opté pour l'utilisation de la méthode ADD et la chaîne de Markov afin de mieux modéliser notre système étudié.

Dans le chapitre III, nous avons présenté la différence entre la sécurité passive et active et on a défini le réseau anti incendie selon la norme NFPA 14 ainsi que les différents dispositifs de protection contre les incendies d'une manière générale et le système déluge à mousse d'une manière approfondie.

Et la fin par le dernier chapitre, on a présenté le système à étudier étant le système déluge à mousse comme barrière de sécurité installée dans une zone de stockage de condensat en présentant les différents scénarios catastrophiques qui peuvent survenir dans cette zone à l'aide du logiciel Phast.

Ensuite on a étudié l'indisponibilité de cette barrière par l'analyse à partir d'arbre de défaillance et des chaînes de Markov en utilisant le logiciel isographe et comparer les résultats obtenus par chaque méthode.

Cette comparaison nous a menés vers une satisfaction sur les résultats obtenus vis-à-vis l'objectif prédéfini celui d'assurer la disponibilité de notre système à mousse. Après on a ciblé et proposé des recommandations sur le système émulseur qui contribue le plus sur la disponibilité de notre système déluge à mousse.

Bibliographie

[3] M. Guetarni Islam Hadj Mohamed, Thèse de Doctorat LMD-Analyse quantitative des risques, 06 Mai 2019

[5] Anass BOUCHIBA. 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 2009

[4] Amel DEMRI. Contribution à l'évolution de la fiabilité d'un système mécatronique par modélisation fonctionnelle et dysfonctionnelle. Laboratoire de sûreté de fonctionnement, Qualité et organisation. ANGERS 2009.

[9]IEC 61508. Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques /électroniques programmables relatifs à la sécurité, partie 6, mars 2002.

[1] Mohamed-Habib MAZOUNI. Pour une Meilleure Approche du Management des Risques : De la Modélisation Ontologique du Processus Accidentel au Système Interactif d'Aide à la Décision. Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL 2008

[8] Malik MEGDICHE. Sûreté de fonctionnement des réseaux de distribution en présence de production décentralisée. Sciences de l'ingénieur. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2004.

[2] G. Zwingelstein, « Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels complexes », Techniques de l'Ingénieur, S8250, 2009

[6] Villmer, Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels, 1988

[7] Michel ROYER, TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR l'expertise technique et scientifique HAZOP : une méthode d'analyse des risques - Présentation et contexte, 01/03/2012

[10] Dr. Belhadj Djilali Abdelkadir, Polycopié de cours du module Maintenance et sûreté de fonctionnement, 2020

[11] MANUEL DE FORMATION : RESEAU INCENDIE ET MOUSSE, 08/06/2007

[12] INERIS-DRA Formation "Systèmes fixes de protection contre l'incendie" – IFP Training, Novembre 2016

[13] Operating Manual: GNL3Z Arzew Project, 30-05-2011

[14] MANUEL OPERATOIRE : HASSI MESSAOUD - PROJET LPG/LDHP, 1/10/2008

ANNEXE

Annexe A : Arbre de défaillance et lois de probabilité

A. Analyse par Arbre de Défaillances :

La méthode consiste en une représentation graphique des multiples causes d'un événement dangereux. Elle permet de visualiser les relations entre les défaillances d'équipement, les erreurs humaines et les facteurs environnementaux qui peuvent conduire à des accidents. On peut donc éventuellement y inclure des facteurs reliés aux aspects organisationnels.

Coupes minimales – Réduction d'arbre :

Une coupe minimale représente la plus petite combinaison d'évènements pouvant conduire à l'évènement indésirable ou redouté. On parle parfois également de « Chemin critique ».

Dans l'exemple précédent, l'occurrence simultanée des évènements A, B et C conduit effectivement à l'évènement final. Il ne s'agit cependant pas d'une coupe minimale puisque la combinaison A.B seule peut être à l'origine de l'évènement final.

La recherche des coupes minimales est effectuée à partir des règles de l'algèbre de BOOLE en considérant que :

- À chaque événement de base correspond une variable booléenne,
- L'évènement de sortie d'une porte « ET » est associé au produit des variables booléennes correspondant aux événements d'entrée,
- L'évènement de sortie d'une porte « OU » est associé à la somme des variables booléennes correspondant aux événements d'entrée, Quelques-unes des principales règles de l'algèbre de BOOLE sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau A.1 principales règles de l'algèbre de BOOLE

Propriétés	Produit (t)	Somme (OU)
Commutativité	$A.B = B.A$	$A + B = B + A$
Idempotence	$A . A = A$	$A + A = A$
Absorption	$A. (A+B) = A$	$A + A.B = A$
Associativité	$A. (B. C) = (A. B). C$	$A + (B + C) = (A + B) + C$
Distributivité	$A. (B + C) = A.B + A.C$	$A + B.C = (A+B). (A+C)$

Ainsi, dans l'exemple précédent, la recherche des coupes minimales peut s'effectuer comme suit :

$$\checkmark \quad ER = E1 \cdot E2$$

$$\checkmark \quad E1 = A + E3$$

Avec

$$\checkmark \quad E3 = B + C \quad E2 = C + E4$$

Avec

$$\checkmark \quad E4 = A \cdot B$$

Au total, nous avons donc :

$$\checkmark \quad ER = (A+B+C) \cdot (C+A \cdot B) = A \cdot C + A \cdot B + B \cdot C + A \cdot B + C + C \cdot A \cdot B$$

Or,

$$A \cdot C + C = C \quad \text{et} \quad A \cdot B + A \cdot B \cdot C = A \cdot B$$

Par absorption)

$$ER = (C + A \cdot B + B \cdot C + A \cdot B)$$

De plus,

$$A \cdot B + A \cdot B = AB \text{ (Idempotence)} \text{ et } C + B \cdot C = C \text{ (Absorption)}$$

D'où

$$\checkmark \quad ER = C + A \cdot B$$

Ainsi, l'événement C seul ou la combinaison des événements A.B conduisent à l'événement redouté. Il n'existe pas de combinaison plus petite conduisant à cet événement. L'arbre présenté en exemple admet donc deux coupes minimales : C ainsi que A.B.

L'ordre d'une coupe est alors défini comme le nombre d'événements combinés qui figurent dans cette coupe.

Finalement, cet arbre comporte :

- Une coupe minimale d'ordre 1 : C,
- Une coupe minimale d'ordre 2 : A.B.

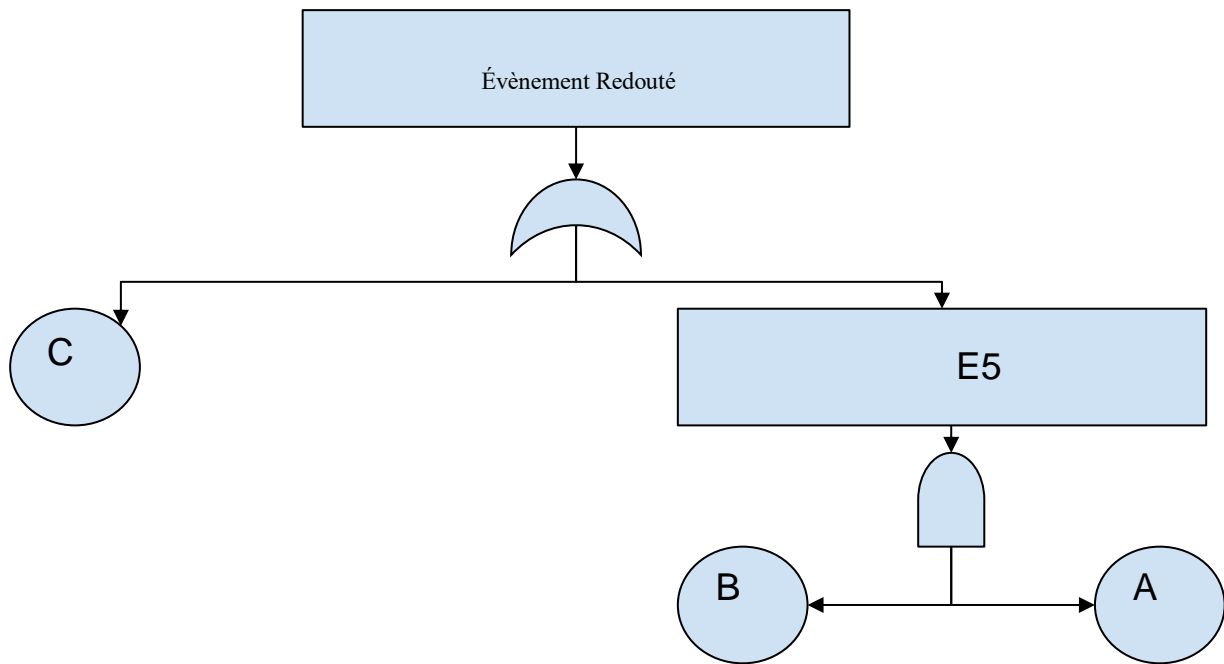


Figure A.1 Exemple coupe minimale

Pour un système (événement redouté ER avec deux événements de base E1 et/ou E2) le Tableau A.2 résume les équations de probabilité des portes logiques «ou », «et»

Tableau A.3 les équations de probabilité des portes logiques «ou », «et»

Porte ou	Porte et
$P(ER) = P(E1) + P(E2) - P(E1)*P(E2)$ (Théorème de POINCARÉ) Lorsque la probabilité des événements de base est faible, il est possible de négliger le produit $P(E1)*P(E2)$ et de considérer : $P(ER) \approx P(E1) + P(E2)$	$P(ER) = P(E1) *P(E2)$

A.2. Loi dormante

Les composants qui font partie d'un système de protection ou de secours peuvent ne pas voir leurs défaillances révélées jusqu'à ce qu'ils soient tenus de fonctionner, ou jusqu'à ce qu'une maintenance ou une inspection (test) ait lieu. Par exemple, un générateur diesel de secours ne peut être « mis en marche » que lorsqu'il est nécessaire de compléter ou de remplacer l'énergie électrique ou lorsqu'il est testé lors d'une inspection. Ce n'est qu'à ces moments-là que les réparations peuvent être effectuées.

En effet, les composants dormants présentent des caractéristiques similaires aux composants non réparables pendant les périodes entre les inspections. La variation réelle de l'indisponibilité avec le temps est de nature périodique.

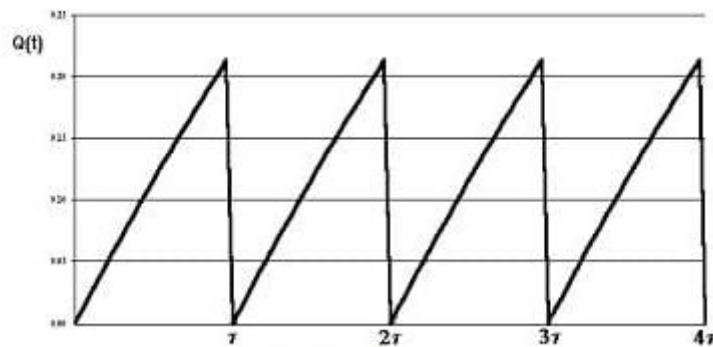


Figure A.2 Diagramme Q versus t pour le modèle de défaillance dormante avec $t \ll MTTF$

Le modèle Dormant produit des valeurs d'indisponibilité de risque moyenne ou maximale et de fréquence de défaillance à partir du taux de défaillance, du temps moyen de réparation et des paramètres d'intervalle de test saisis par l'utilisateur. Si l'indicateur de modèle de défaillance dormante est défini sur Moyenne ou CEI 61508 ou CEI 61508 Ext (dans l'onglet Calcul de la boîte de dialogue Options du projet), le modèle prend une valeur moyenne de l'indisponibilité de l'événement.

L'expression de l'indisponibilité moyenne d'un événement dormant individuel est donnée ci-dessous :

$$Q_{max} = \frac{\lambda \cdot \tau - (1 - e^{-\lambda \tau}) + \lambda \cdot MTTR(1 - e^{-\lambda \tau})}{\lambda \cdot \tau + \lambda \cdot MTTR(1 - e^{-\lambda \tau})}$$

- ✓ Q_{max} = valeur d'indisponibilité moyenne
- ✓ λ = Taux de défaillance constant
- ✓ $MTTR$ = Durée moyenne de réparation (Mean Time To Repair)
- ✓ τ = intervalle de test

Cette expression se simplifie en une représentation approximative dans le cas où :

$$\lambda \cdot \tau \ll 1 \text{ Et } MTTR \ll 1$$

Donc :

$$Q_{max} = \frac{\lambda \cdot \tau}{2} \lambda \cdot MTTR$$

Si l'indicateur de modèle d'échec dormant est défini sur Maximum (dans l'onglet Calcul de la boîte de dialogue Options du projet), l'expression suivante est utilisée pour représenter l'indisponibilité de l'événement :

$$Q_{max} = 1 - e^{-\lambda \tau}$$

Q_{max} = valeur maximale d'indisponibilité sur l'intervalle d'inspection

Annexe B : logiciel de simulation

B.1. Le logiciel de simulation PHAST :

PHAST est un logiciel qui a été développé et mis à jour par DNV software pour évaluer les conséquences des fuites de gaz, des incendies, des explosions, de la toxicité et des autres dangers technologiques reliés à diverses industries. Phast est l'acronyme anglais de Process Hazard Analysis Software Tool (qui peut se traduire par Outil logiciel d'analyse de risques de procédé). C'est un outil complet d'analyse des risques d'une installation industrielle. PHAST simule l'évolution d'un rejet accidentel d'un produit toxique et/ou inflammable, depuis la fuite initiale jusqu'à la dispersion atmosphérique en champ lointain, incluant la modélisation de l'épandage et de l'évaporation de flaque. PHAST est capable de modéliser les scénarios de rejets à partir des divers termes sources (fuite sur la paroi d'un réservoir, rupture d'une canalisation, ...) qui sont ensuite combinés avec le modèle de dispersion de PHAST de type intégral, appelé Unified Dispersion Model (UDM), pour obtenir par exemple : les distances de sécurité correspondant aux seuils toxiques et l'empreinte du nuage au Sol à un instant donné. La nouvelle version de l'UDM a été mise au point dans laquelle il est possible de calculer un profil uniforme de concentration intégrant les différentes phases de la dispersion. Ce nouveau modèle prend en compte les phénomènes d'évaporation, de formation de flaque, d'élévation du nuage et de dispersion variable au cours du temps. UDM est capable de traiter un grand nombre de produits, qu'ils soient toxiques et/ou inflammables, légers, lourds ou neutres. Il traite les rejets liquides, gazeux ou diphasiques. Pour les rejets diphasiques, il modélise la formation et l'évaporation de flaque.

Les étapes suivies pour réaliser la modélisation Par Le logiciel PHAST :

Étape 1 : dans la première étape on va insérer une image satellitaire du site ainsi que ces échelles (la distance entre le bac de stockage). Voir FIG B.1

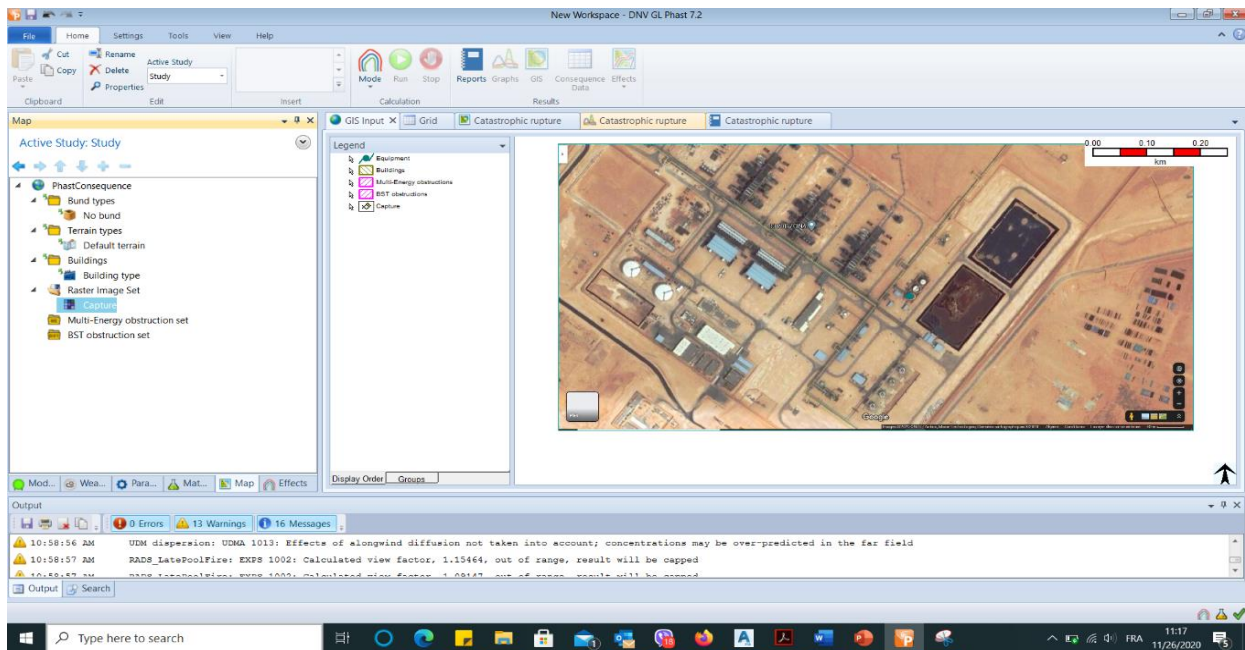


Figure B.1 Etape 1

Etape 2 : on va choisir le bac de stockage concerné par la modélisation. Indiqué sur La figure A.4 par un point vert.

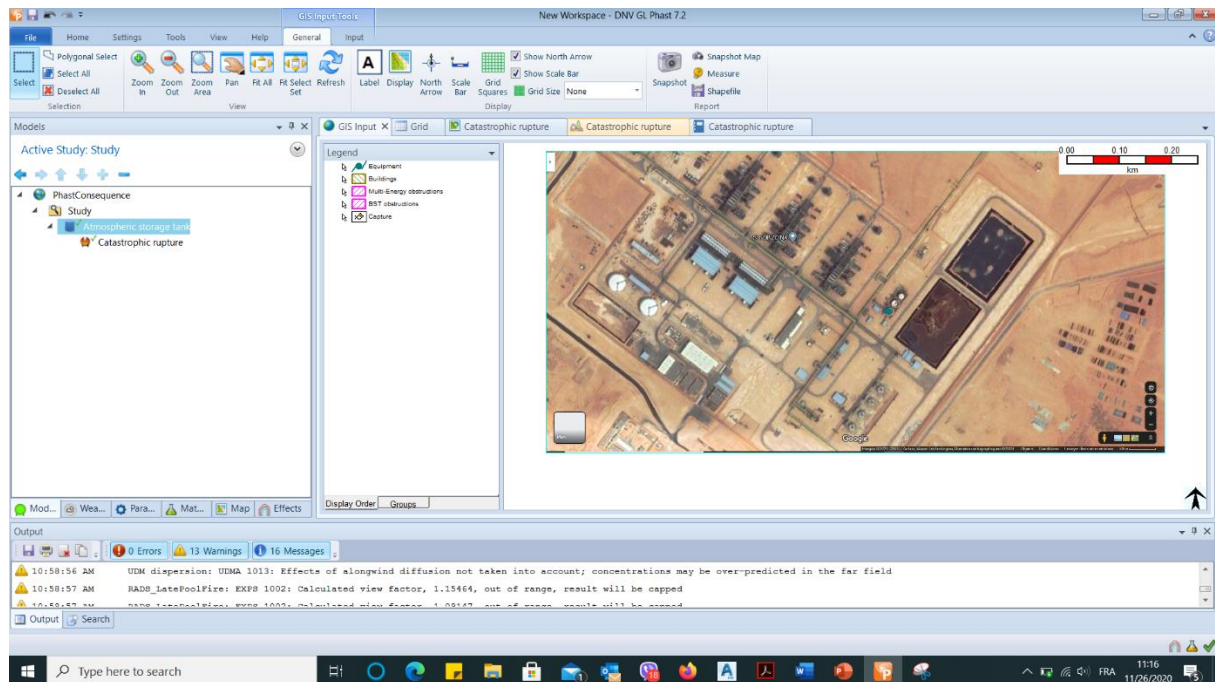


Figure B.2 Etape 3

Etape 3 : on va introduire le nom du produit stocké, son volume et la température.

D'abord on va :

- Le matériel : N pentane

- Volume du produit : 1000 m³
- Température : 36.0469

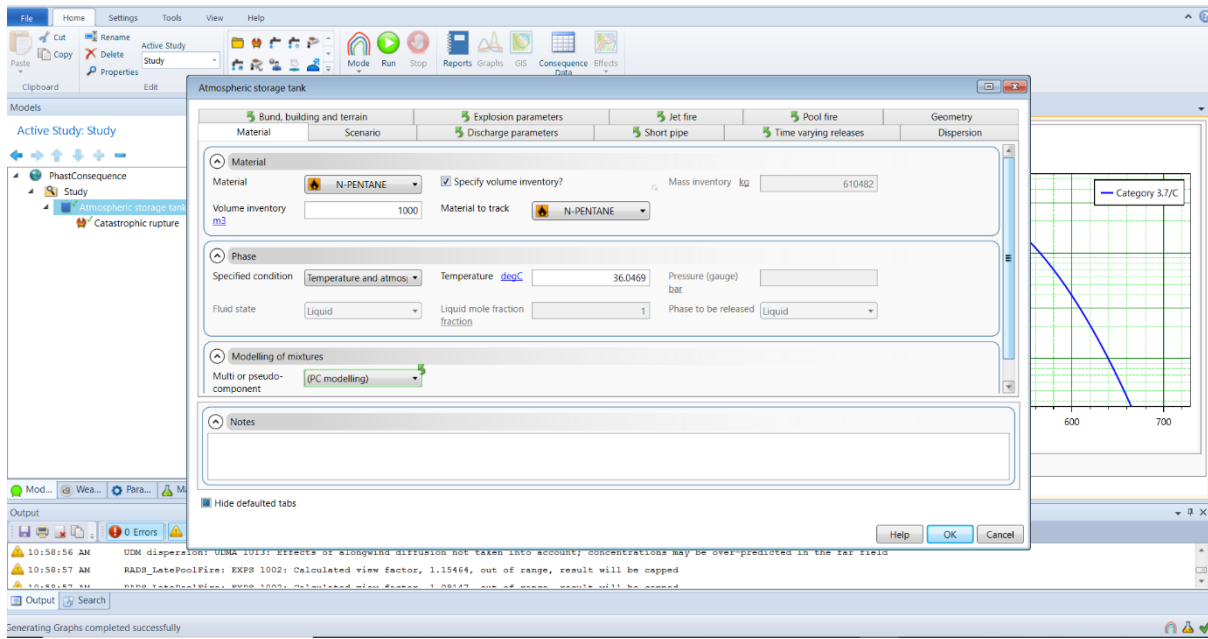


Figure B.3 Etape3- Caractéristique du matériel

Ensuit on va introduire la dimension du réservoir :

- La largeur : 1 m
- La hauteur : 10 m

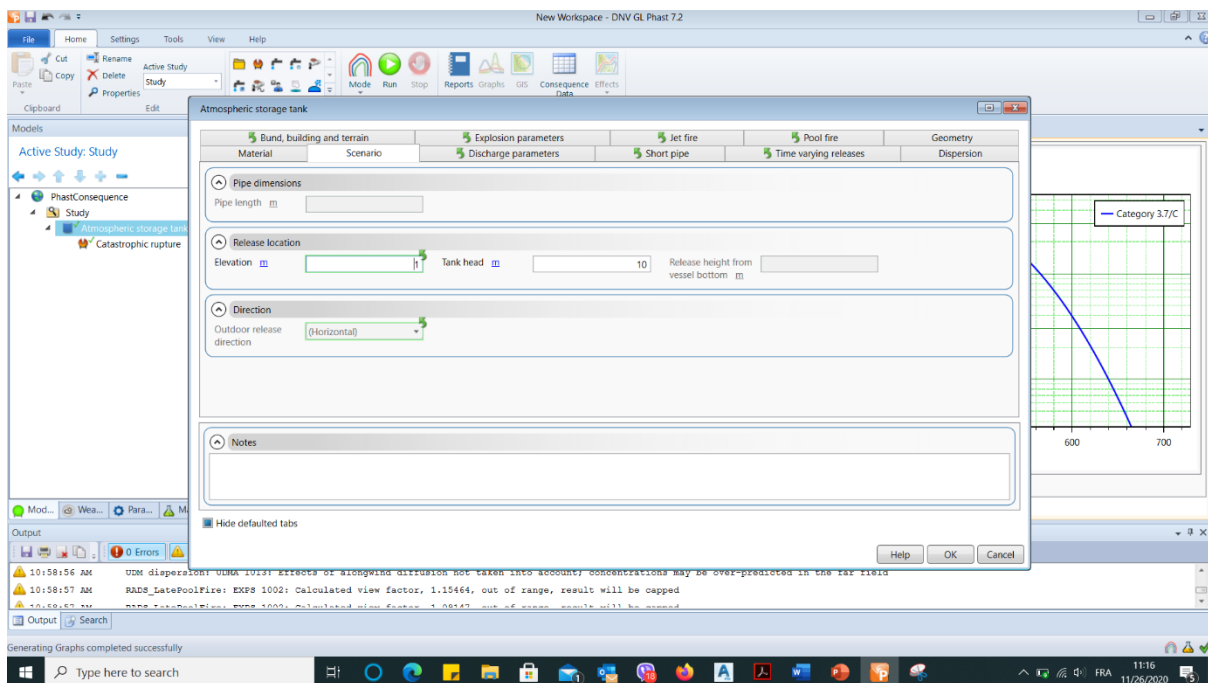


Figure B.4 Etape3-la dimension du réservoir

Après on va introduire les conditions métrologiques

- On a pris comme vitesse moyenne du vent 3,7.
- Et pour la stabilité on a choisi C modalité instable.

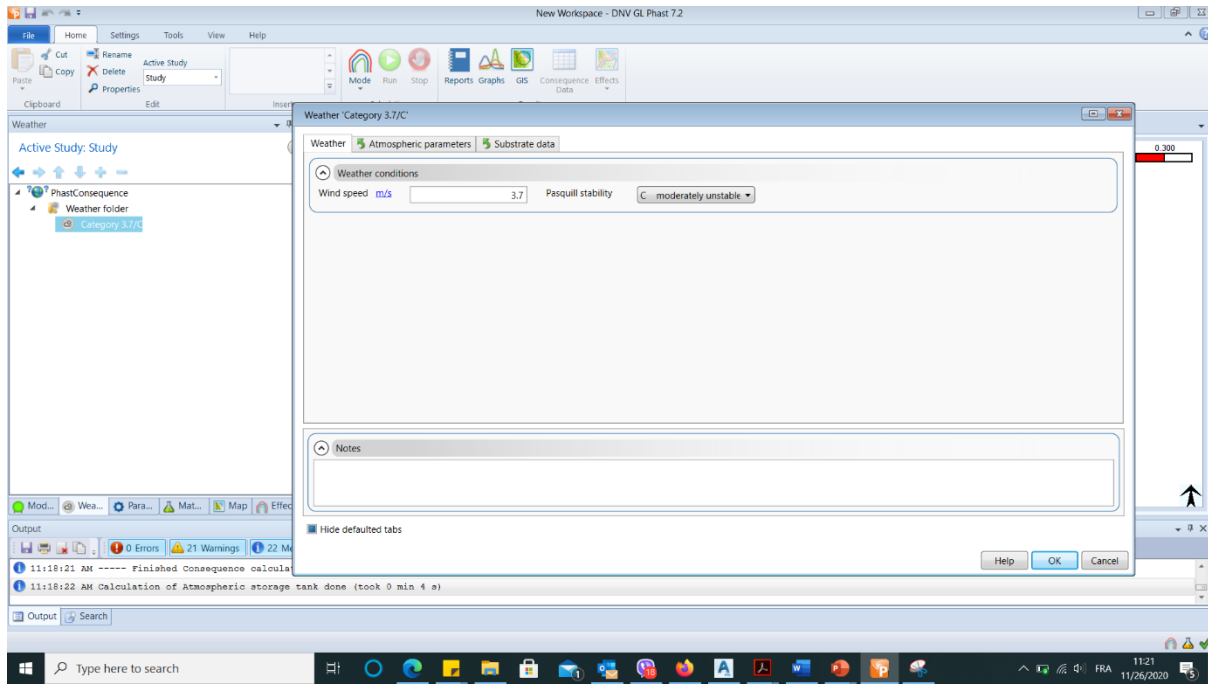


Figure B.5 Etape 3- les conditions météorologique.

⇒ Enfin lorsqu'on introduit tous ces éléments on lance la modélisation par le Botton **RUN**

Résultats de modélisation par PHAST :

Les résultats sont présentés sous forme Graphique et numérique (rapport), Certains résultats peuvent être présentés sur fond cartographique (zones d'effet).

B.2. ISOGRAPH :

Reliability Workbench, est intégré pour effectuer des prévisions de fiabilité et des analyses de déclassement, des prévisions de maintenabilité, des effets de mode de défaillance et une analyse de criticité (AMDEC) avec testabilité, une analyse de diagramme de blocs de fiabilité (RBD), une analyse d'arbre de défaillances, une analyse d'arbre d'événements, une analyse de Markov, Analyse de Weibull, calculs de croissance de fiabilité, allocation de fiabilité et évaluation de la sécurité.

Reliability Workbench permet aux utilisateurs de développer des projets contenant des données appropriées à un ou plusieurs de ces modules d'analyse. Les données peuvent être facilement transférées entre les modules en utilisant simplement le copier-coller et les fonctions de transfert automatique de données. Si vous utilisez les modules de prédiction MIL-217 ou Telcordia, vous pourrez également convertir automatiquement les données entre ces deux normes différentes.

Que vous utilisiez les versions Professional ou Enterprise, vous serez en mesure de maintenir et d'analyser les projets et bibliothèques de fiabilité dans un environnement intégré. Lorsque vous utilisez Reliability Workbench, vous pouvez basculer entre les différents modules en un instant. Les données

peuvent être transférées entre les modules simplement en copiant et en collant les données appropriées. Les liens entre les modules sont maintenus à l'aide d'une puissante fonction de liaison de données et les données peuvent être automatiquement mises à jour dans un module en raison des modifications apportées dans un autre module. Par exemple, l'utilisateur peut exiger qu'un bloc dans un RBD obtienne son taux d'échec à partir d'une prédiction MIL-217. Le bloc dans le RBD peut donc être lié à un bloc dans le module de prédiction MIL-217. Les modifications des taux de défaillance dans le module de prédiction peuvent alors être automatiquement transférées vers le RBD. Un autre bloc dans le RBD peut obtenir ses données de taux d'échec à partir d'une prédiction NSW. Le module d'évaluation de la sécurité permet de relier les analyses des dangers aux modèles de vérification probabilistes utilisés pour soutenir le dossier de sécurité.

Reliability Workbench fournit un puissant générateur de rapports, permettant aux utilisateurs de créer des rapports et des graphiques personnalisés. De plus, une puissante fonction d'import / export est fournie, permettant de transférer des données directement vers et depuis les bases de données Microsoft Access et les tableurs tels que Microsoft Excel.

Reliability Workbench contient une multitude de fonctionnalités pour la construction de projets, l'analyse des données et la production de rapports. Ces caractéristiques comprennent :

- ✓ Prédictions MIL-217
- ✓ Prédictions 217Plus
- ✓ Prédictions Telcordia
- ✓ Prédictions CEI TR 62380
- ✓ Prédictions GJB / Z 299B / C
- ✓ Prédictions SN 29500
- ✓ Prédictions FIDES
- ✓ Prédictions de données mécaniques (NSWC)
- ✓ Modèles de prédiction de taux d'échec personnalisés
- ✓ Calculs de déclassement
- ✓ Prédictions MTTR
- ✓ Analyse des modes de défaillance, des effets et de la criticité
- ✓ Analyse de testabilité
- ✓ Analyse des diagrammes de fiabilité (RBD)
- ✓ Analyse de l'arbre des défauts
- ✓ Analyse de l'arborescence d'événements
- ✓ Analyse de Markov
- ✓ Analyse Weibull
- ✓ Croissance de la fiabilité
- ✓ Allocation de fiabilité
- ✓ Évaluation de la sécurité (analyse des dangers)
- ✓ Contrôle de grille personnalisable
- ✓ Rapports et graphiques personnalisables
- ✓ Installations d'importation et d'exportation personnalisables
- ✓ Fonctions de couper, copier et coller

- ✓ Faites glisser et déposez les données des bibliothèques
- ✓ Facilités de transfert de données entre différents modules
- ✓ Création automatique de RBD à partir d'une AMDEC ou d'une prédiction
- ✓ Création automatique d'arbres de défaillances à partir d'un RBD, AMDEC ou prédiction
- ✓ Ajout de données de différents projets
- ✓ Bibliothèques de répartition et de phrases pour AMDEC
- ✓ Vérificateur d'orthographe
- ✓ Fonctions étendues de tri, de recherche et de remplacement de texte
- ✓ Interface Windows moderne avec des options familières
- ✓ Capacités d'analyse rapides et complètes
- ✓ Conversion automatique MIL-217 vers Telcordia
- ✓ Conversion automatique de Telcordia en MIL-217
- ✓ Bibliothèques de pièces intégrées

B.2.1. Les graphes obtenus lors de la réalisation de L'Add Du sous-système par ISOGRAPH :

1. Add 1 : (non réparable)

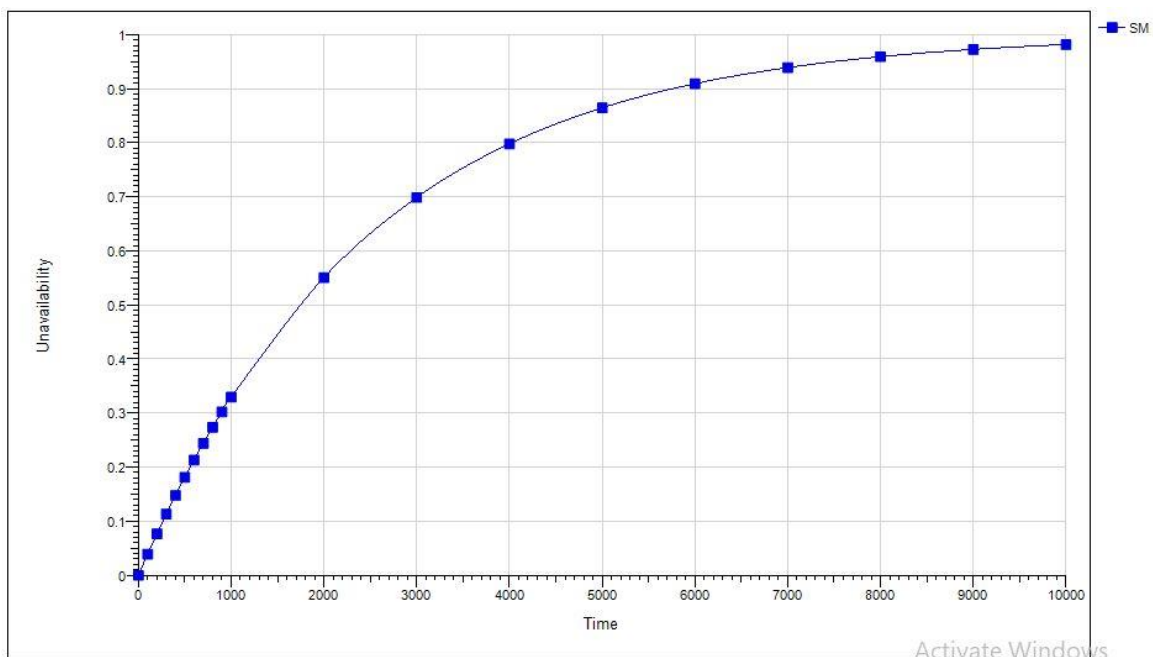


Figure B.6 l'évolution de l'indisponibilité par a port au temps du système à mousse (émulseur)

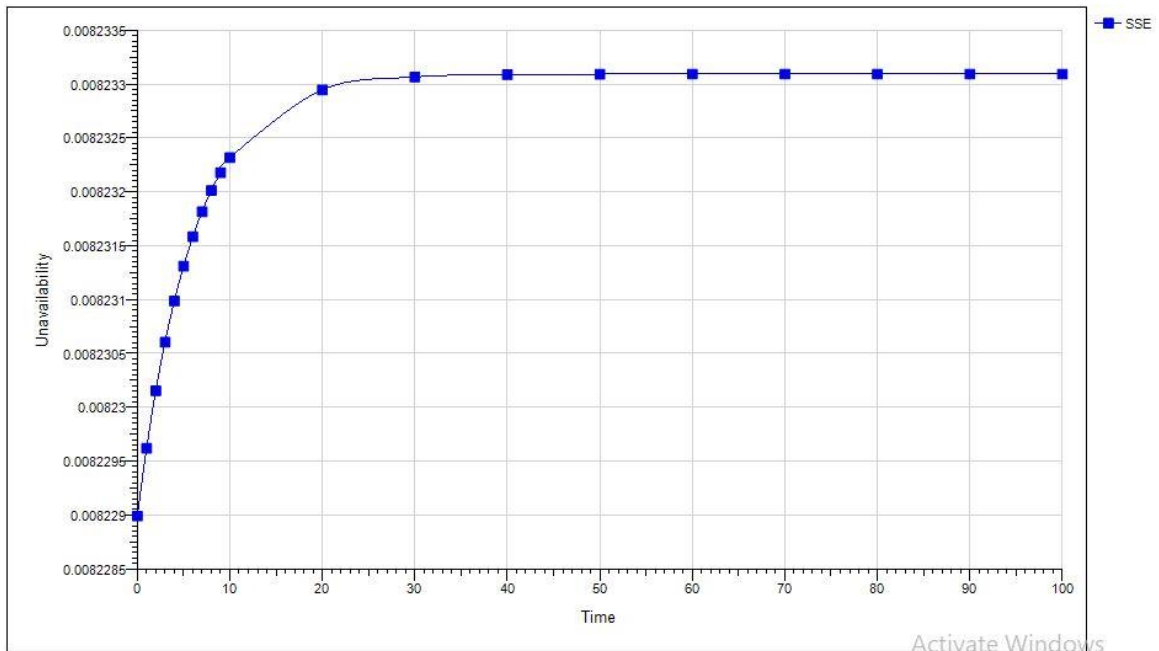


Figure B.7 l'évolution de l'indisponibilité par a port au temps système stockage d'eau

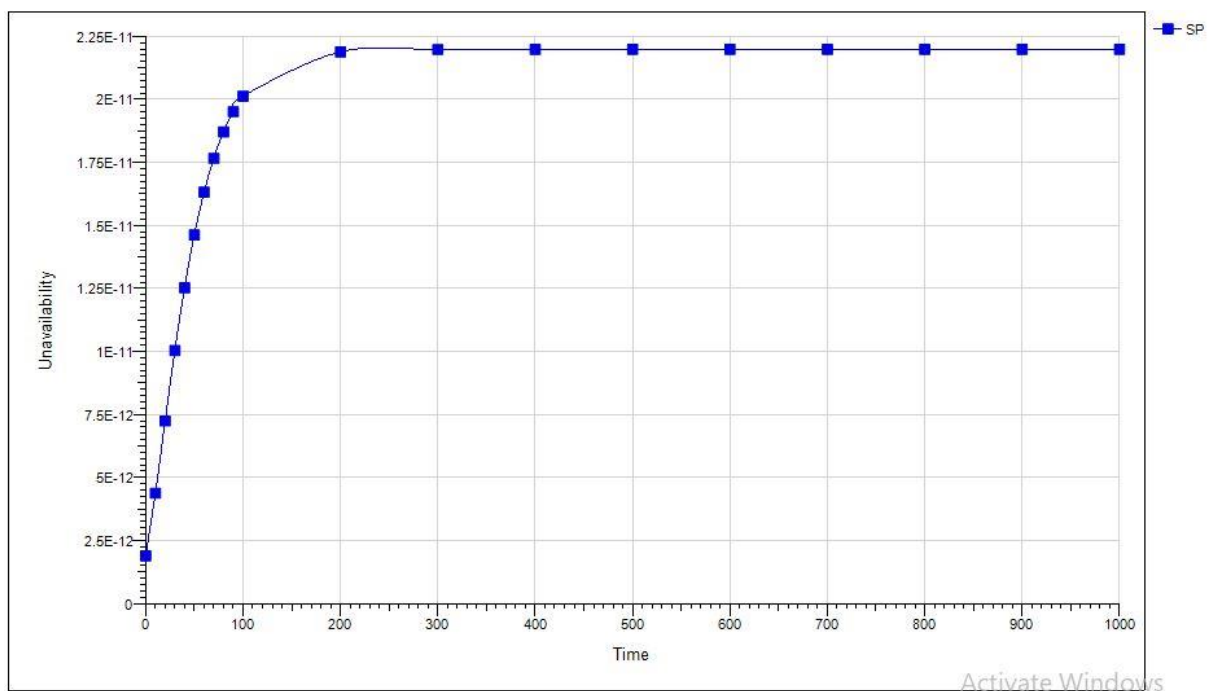


Figure B.8 l'évolution de l'indisponibilité par a port au temps du système pompes.

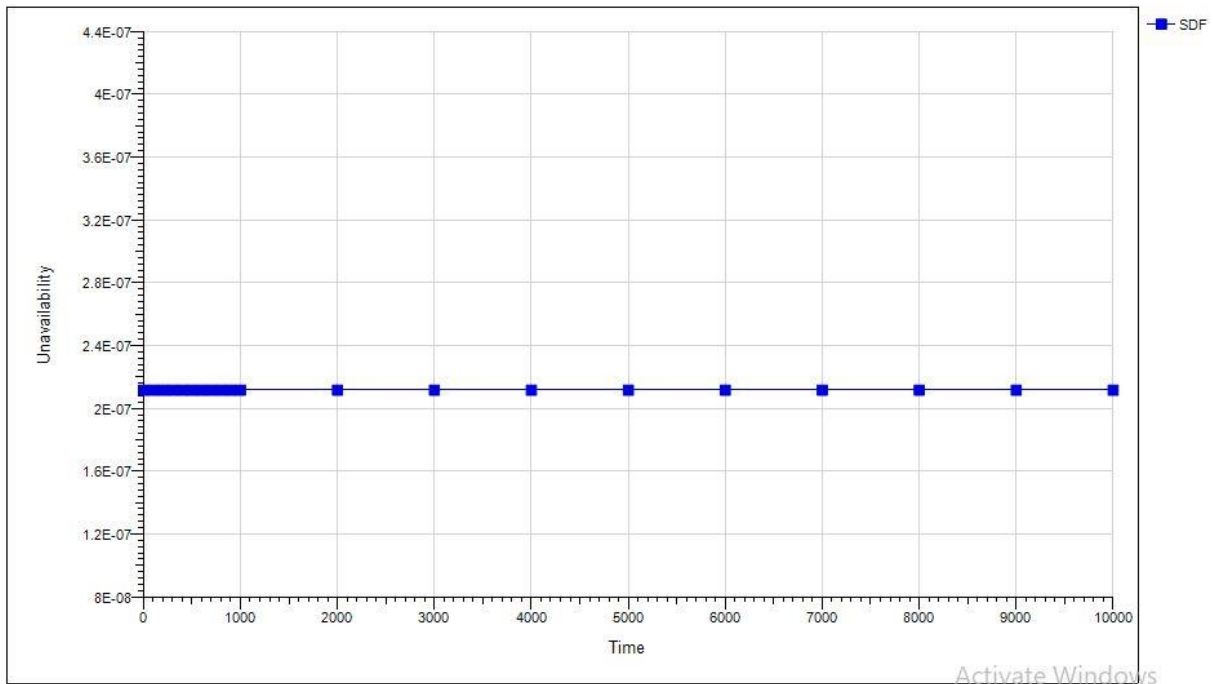


Figure B.9 l'évolution de l'indisponibilité par a port au temps du système détection flamme

Add 2 :

On a déduit que l'élément principale qui contribue le plus à l'indisponibilité du système général c'est l'équipement émulseur par la raison que le taux défaillance de ce système est très important alors on a proposé comme solution d'aller vers une maintenance système émulseur réparable

La figure ci-dessous représente la comparaison de l'indisponibilité entre le sous system émulseur non réparable en rouge et le sous system émulseur réparable en bleu

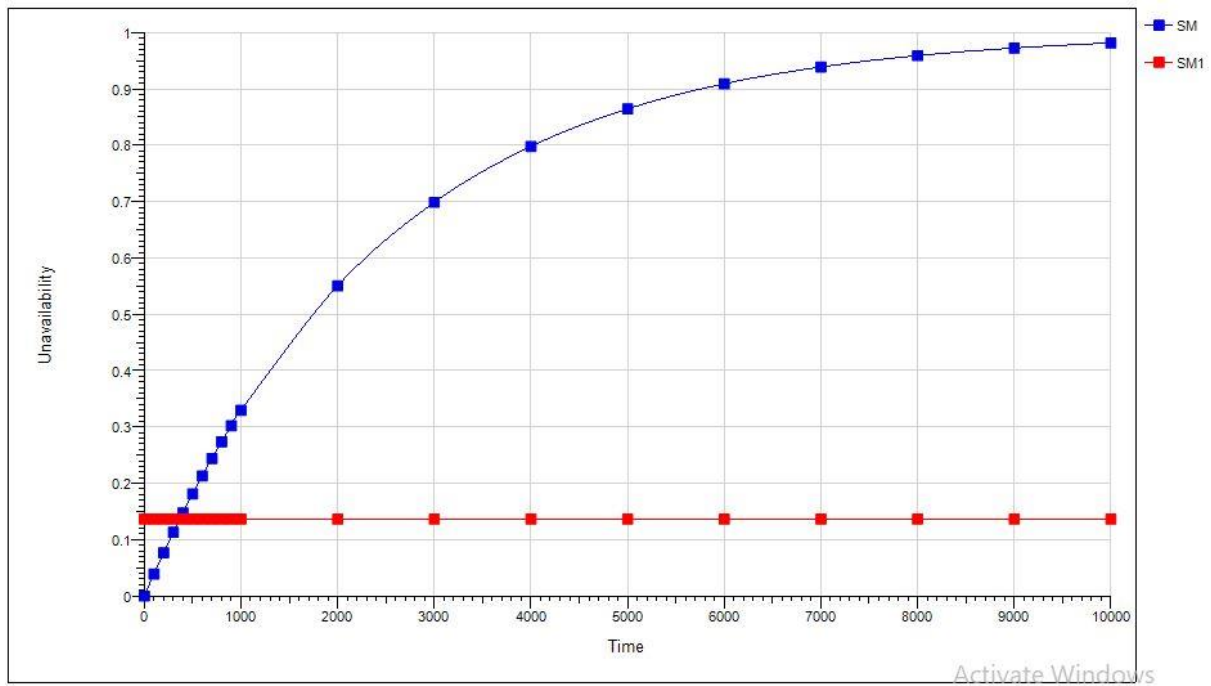


Figure B.10 Comparaison de l'indisponibilité de sous-système émulseur dans ces différent état (réparable et non réparable)