

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Master académique

Domaine: Science et Technique

Filière: électromécanique

Spécialité: maintenance industrielle

THEME

**L'approche humaine dans un processus de
gestion des risques Application de la méthode
THERP au niveau d'un chantier de Forage**

Présenter par:
ZOUZOU Hocine

Encadrer par:
Mr. GUEBAILIA Moussa

Jury :

GUEBAILIA Moussa
BATOUCHE Mouna
TOUGGUI Youssef

MCA -UKMO-
MAA -UKMO
MCB -UKMO

Rapporteur
Président
Examinateur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2022/2023

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes parents

Ma femme

Mes belles filles

Mes amis

Toute la famille

Mes collègues

H.ZOUZOU

sommaire

Introduction générale	01
<u>Chapitre I : Notions générale sur la fiabilité et l'erreur humaine</u>	
I. Introduction	03
II. Analyse des systèmes Homme - Machine	03
II.1. Définition de système Homme - Machine	03
II.2. Domaine de fonctionnement d'un système H-M	04
II.3. Causes des erreurs d'opération dans un système H-M	04
II.4. L'objet d'étude de l'analyse de travail dans les systèmes HM	05
II.4.1. Définition de l'opérateur	06
II.4.2. Modèle de l'opérateur	06
II.5. Définition de la tâche	07
II.5.1. Tâche prescrite, tâche réalisée	07
II.6. Définition De L'activité	09
III.6.1. Les conséquences de l'activité	09
III. Notions sur la fiabilité et l'erreur humaine	10
III.1. Partie I : la fiabilité humaine	10
III.1.1. Notion de fiabilité	10
III.1.2. Définition de la fiabilité humaine	11
III.1.3. La fiabilité humaine comme propriété de l'homme	11
III.1.4. L'amélioration de la fiabilité humaine	12
III.1.4.1. Déterminer les variables essentielles à l'opérateur	12
III.1.4.2. Donner à l'opérateur des informations sur l'évolution du processus	12
III.1.4.3. Améliorer les dispositifs d'avertissement	13
III.1.4.4. Améliorer la perception de l'erreur	13
III.1.4.5. Concevoir des systèmes tolérants à l'erreur	13
III.1.4.6. Améliorer les possibilités de diagnostic de l'erreur	13
III.1.5. Gestion de la fiabilité humaine, généralités	13
III.1.5.1. Gestion de la fiabilité humaine basée sur le retour d'expérience	14
III.1.5.2. Gestion prévisionnelle de la fiabilité humaine	14
III.2. Partie II : Erreur humaine	15
III.2.2. Erreur humaine	15
III.2.2.1. Définition	15
III.2.2.2. Caractère de l'erreur humaine	15
III.2.2.3. Modes des erreurs humaines	15
III.2.2.4. Facteurs d'erreurs humaines	17
III.2.2.5. Analyse de risque des erreurs humaines	18
III.2.2.6. l'évaluation de l'erreur humaine	19
III.2.2.7. Exemple d'évaluation de l'erreur humaine	19
III.2.2.8. L'occurrence de l'erreur	20
III.2.2.9. Conséquence d'erreurs	20

Chapitre II : Les démarches de l'analyse

I. Introduction	22
II. Les méthodes de la fiabilité humaine	22
II.1. La méthode THERP	22
II.1.1. L'objectif de la méthode	22
II.1.2. L'intérêt, limites et domaine d'application	24
II.2. La méthode de description des tâches "MAD"	25
II.2.1. Structure générale	25
II.2.2. Les principaux concepts du formalisme MAD	26
II.2.3. Les constructeurs	26
II.2.4. Exploitation de MAD pour élaborer AMDE opératoire	27
II.2.5. Les avantages de la méthode MAD	27
II.3. AMDE facteur humain	28
II.3.1. Définition et objectifs	28
II.3.2. Structure de l'AMDE facteur humain	28
II.3.3. Etape de l'analyse	29
III. Méthodes d'analyses de la sûreté de fonctionnement	30
A. Analyse fonctionnelle	30
A.1. Les méthodes d'analyse fonctionnelle	30
III.1. Méthode retenue pour cette étude (SADT)	31
III.1.1. l'objectif de SADT	31
III.1.2. Définition de la SADT	31
III.1.3. Le formalisme de SADT	31
III.1.4. Syntaxe de pages SADT	32
III.1.5. Les objectifs de SADT	32
III.1.6. Les concepts fondamentaux de SADT	33
III.1.7. Particularités de la méthode	36
III.1.7.1. Avantages	36
III.1.7.2. Inconvénients	36
B. Analyse dysfonctionnelle	36
III.2. Analyse des modes de défaillances et leurs effets AMDE	36
III.2.1. Principe	36
III.2.2. Déroulement	37
III.2.3. Limites et avantages	41
III.3. Arbre des défaillances (ou des causes) "Add"	42
III.3.1. Elaboration de l'arbre	42
III.3.2. Exploitation de l'arbre	44
III.4. Arbre des événements	47
III.4.1. Principe	47
III.4.2. Déroulement de la méthode	48
IV. Conclusion	51

Chapitre III : Présentation de l'unité et Description sur le forage

I. Introduction	52
II. Présentation de l'entreprise ENTP	52
II.1. Historique	52
II.2. Ressources humaines	52
II.3. Organisation de l'entreprise	52
III. Les équipements de forage	52
IV. Définition de la boue de forage	55
V. Le contrôle d'une venue	55
V.1. Signes avertisseurs	55
V.2. Signes positifs d'une venue (en cours de forage)	55
V.3. Signes positifs d'une venue (en cours de manœuvre)	56
V.4. Principe de contrôle d'une venue	56
VI. Description du système « anti-éruption »	56
VI.1. Les obturateurs des têtes de puits	57
VI.2. Unité d'accumulation et de commande du BOP	57
VI.2.1. Unité de commande de BOP surface	57
VI.3. Panneau de commande à distance	62
VII. Conclusion	62

Chapitre IV : Application de la démarche proposée

I. Introduction	63
II. L'application de la démarche proposée	63
II.1. Application de la méthode SADT	63
II.1.1. Résultats de l'analyse fonctionnelle	66
II.2. l'application de la méthode THREP	66
III. Conclusion	95
Conclusion générale.....	96
Bibliographie	
Annexe	

Différents mots et abréviations

FH : Fiabilité humaine.

EH : Erreur humaine.

HM : Homme Machine.

OH : Opérateur humain

SADT: Structured Analysis and Design Technic (technique structurée d'analyse et modélisation du système)

AMDEC: Analyse Des Modes Des Défaillances De Leurs Effets Et De Leurs Criticités

AdD: Arbre Des Défaillances.

ADE: Arbre Des Évènements.

MAD: Méthode Analytique De Description Des Tâches.

THERP: Technique for Human Error Rates Prediction. (Technique pour la prédiction du taux d'erreur humaine)

C de P : Contrôle de pression.

C de D: Contrôle de débit.

C de N: Contrôle de niveau.

SEQ : Tâche Séquentielle

ALT : Tâches Alternatives

SIM: Tâches Simultanées

ABB offshore systems Inc= constructeur.

Ajustable choke= les duses réglables

API= American petroleum institute

Bag type= BOP annulaire

Blind rams= fermeture sur un diamètre donnée

Blind shear rams= fermeture et caisillante.

BHA (Bottom Hole Assembly) = elle est constituée de l'outil de forage, des masses tiges et des stabilisateurs

BOP (blowout preventer)= bloc obturateur de puits

Casing head housing= tête de tubage de base

Choke= Duse (orifice calibré permettant de réglage le débit d'un puits)

Choke line= ligne d'évacuation

Choke valve, flapper valve= clapet anti retour, clapet de retenue

Choke manifold= manifold de Duse

Crown block= moufle fixé

Cutting= les copeaux (déblais de forage, particules des formations détruites pendant les opérations de forage et d'évacuation)

Derrick= le mat

Drilling break= la vitesse d'avancement

Driller's panel= panneau de commande

Drills bit= outil de forage

Drills collars, DC= masse tige

Drill pipe, DP = train des tiges

Drop = chute

DST= Drilling System Testing

HPR= régulateur de pression hydraulique

HCR= la vanne pneumatique

I-BOP (inside blowout preventers) = BOP interne

Kelly= la tige carré

Kelly coke, gray valve= vanne de la tige d'entraînement

Kill line= ligne de sécurité, conduite de remplissage

La formation= c'est la contenu du réservoir de puits (eau, gaz, huile,...etc.)

Lock nut= contre-écrou, écrou de verrouillage

Mud- gas separator= séparateur gaz boue

Mud pit= bacs à boue

Mud pomp= pompe à boue

MWD (measurements while drilling) = mesure en cours de forage

Plug = bouchon

Pipe rams= fermeture sur un diamètre donnée

Pit volume totalizer = système d'alarme audiovisuelle pour une détection plus rapide d'une baisse ou augmentation du niveau de la boue

Pouce (") : unité de mesure de diamètre = 24,54 mm

Poor boy degasser = dégaseur atmosphérique

Psi (pond force per square inch) = 6.89476 kpa

Rotary drive = entraînement de la table

Skidding = dérapage, glissement, ripage

Standing valve = clapet d'aspiration

Stand pipe= flexible d'injection

Swivel= moufle mobile

Tailrace= goulotte

Tool-joint (TJ) = joint de tige

Top drive= la tête d'injection

Tubing head= la tête de tubage

Turn table= table de rotation

API= American petroleum institute

LISTE DES TABLEAUX

N°	NOM DU TABLEAUX	pages
<u>CHAPITRE II</u>		
II.1	La grille AMDE selon la norme NFX60-510	29
II.2	Exemple d'un tableau de type AMDEC	38
II.3	Modes de défaillance généraux	39
II.4	Modes de défaillance génériques	40
II.5	Coupes minimales, réduction de l'arbre	45
II.6	Exploitation quantitative de l'arbre de défaillances	47
<u>CHAPITRE IV</u>		
IV.1	Analyse de mode de défaillance, de leurs effets et de leur criticité	67
IV.2	Les abréviations des coupes minimales	76
VI.3	Les modes des erreurs humaines à partir L'Add	77
IV.4	AMDE facteur humain pour un processus de travail humain : Opérations d'intervention en cas de venue au cours de forage	83
IV.5	AMDE facteur humain pour un processus de travail humain : Opérations d'intervention en cas de venue au cours de manœuvre	86
IV.6	Les modes des erreurs humaines	87

LISTE DES FIGURES

N°	NOM DU FIGURE	pages
<u>CHAPITRE I</u>		
I.1	Organisation homme-machine dans un système élémentaire	03
I.2	Le graphe d'état d'un système H-M	04
I.3	Classes des causes d'erreurs humaines	05
I.4	Les quatre groupes d'éléments essentiels à considérer dans une analyse du travail	05
I.5	Modèle SADT de l'opérateur humain	06
I.6	Tâche prescrite, Tâche à réaliser	08
I.7	Classes des causes des défaillances humaines	11
I.8.1	Gestion de la fiabilité humaine basée sur le retour d'expérience	14
I.8.2	Gestion prévisionnelle de la fiabilité humaine	15
I.9	Modes d'erreurs humaines	16
I.10	Facteurs d'erreurs humaines	17
I.11	Schéma explicative de l'analyse de risque des erreurs humaines	18
I.12	Model d'intégration d'analyse d'erreurs en phase de conception	19
I.13	Schéma représentative de l'occurrence de l'erreur	20
I.14	Schéma représente la conséquence de l'erreur	21
<u>CHAPITRE II</u>		
II.1	Description hiérarchique de tâches par MAD	25
II.2	Principe d'identification des erreurs	27
II.3	Le formalisme de SADT	32
II.4	Page SADT	32
II.5	Actigramme (Décomposition des activités).	34
II.6	Datagramme (Décomposition des données)	34
II.7	Diagramme type SADT avec détail sur le niveau inférieur	35
II.8	Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances	42

II.9	Exemple d'arbre des défaillances (VILLEMEUR, 1988)	44
II.10	Réduction de l'arbre des défaillances pris en exemple	45
II.11	Exemple d'arbre d'évènements réduit	51
<u>CHAPITRE III</u>		
III.1	Système de forage classique	54
III.2	Schéma type d'une unité de commande de BOP de surface	61
<u>CHAPITRE IV</u>		
IV.1	Décomposition du système par SADT (niveau 0)	63
IV.2	Décomposition du système par SADT (niveau 1)	64
IV.3	Décomposition du système par SADT (niveau 2)	65
IV.4	Décomposition du système par SADT (niveau 3)	65
IV.5	Arbre de défaillance de l'évènement non souhaité « éruption »	76
IV.6	La tâche de fermeture de puits en cas de venue selon le formalisme MAD	78
IV.6.1	Décomposition de la tâche de la fermeture de puits en cas de forage selon le formalisme MAD	79
IV.6.2	Décomposition de la tâche de fermeture de puits en cas de manœuvre selon le formalisme MAD	80
IV.7	L'ADE (scénario d'accident)	89

Résumé :

Dans l'industrie, l'analyse des accidents dus à des erreurs humaines a joué un rôle non négligeable : erreur de pilotage, de conduite, de diagnostic et de contrôle...etc., et partout où il y'a des activités humaines, les possibilités d'erreurs sont présents.

Le forage est un domaine de travail très difficile et compliqué, à cause de plusieurs facteurs tels que, la diversité des opérations qui le constitue et le matériel utilisé (pompe à boue, table de rotation, les bacs à boue, le treuil, les groupes électrogène....etc.) ,et ainsi que l'opérateur humain qui peut faire des erreurs pendant l'exécution de ces opérations, ces dernières peuvent engendrer des dégâts matériels et humaines, les statistiques des accidents et des incidents montre que la majorité de ces derniers sont causées par l'erreur humaine.

Le travail suivant s'insère dans ce contexte d'idées, en voulant montrer la place du facteur humain dans une étude de sécurité, en proposant une analyse dysfonctionnelle centrée sur le facteur humain. Toutes les étapes de cette étude seront réalisées au niveau d'un chantier de forage.

En se basant sur ces résultats, et afin d'atteindre notre objective en utilise la méthode d'analyse de fiabilité humaine THERP (Technique fo Human Error Rate Prediction).

Les objectives généraux de cette méthode sont : analyser le rôle de l'erreur humaine sur le système, de quantifier les probabilités d'erreur, de proposer des solutions qui augmente la probabilité de succès de l'action humaine, et de vérifier la validité de ces solutions en terme d'augmentation de la fiabilité globale du système.

Mots clés : Accident, Erreur humaine, THERP, Fiabilité, Indicateur

Abstract

In the industry, the analysis of accidents due to human errors has played a significant role: pilot, driving, diagnostic and control errors... etc., and wherever there are human activities, there are possibilities for error.

Drilling is a very difficult and complicated field of work, because of several factors such as, the diversity of operations that constitute it and the equipment used (mud pump, turntable, mud trays, winch, generators, etc.), and as well as the human operator who may make mistakes during the execution of these operations, the latter may cause material and human damage, Accident and incident statistics show that the majority of accidents and incidents are caused by human error.

The following work fits into this context of ideas, by trying to show the place of the human factor in a safety study, by proposing a dysfunctional analysis centered on the human factor. All stages of this study will be carried out at a drilling site.

Based on these results, and in order to achieve our objective by using the human reliability analysis method THERP (Technique fo Human Error Rate Prediction).

The general objectives of this method are: to analyse the role of human error on the system, to quantify the probabilities of error, to propose solutions that increase the probability of success of human action, and verify the validity of these solutions in terms of increasing the overall reliability of the system.

Keywords: Accident, Human error, THERP, Reliability, Indicator

ملخص

في الصناعة، لعب تحليل الحوادث بسبب الأخطاء البشرية دورًا مهمًا: أخطاء الطيار والقيادة والتشخيص والسيطرة... وما إلى ذلك، وحيثما توجد أنشطة بشرية، توجد فرص للخطأ الحفر مجال عمل صعب ومعقد للغاية، بسبب عدة عوامل مثل تنوع العمليات التي تشكله والمعدات المستخدمة (مضخة الطين، والقرص الدوار، وصواني الطين، والرافعة، والمولدات، وما إلى ذلك)، وكذلك العامل البشري الذي قد يرتكب أخطاء أثناء تنفيذ هذه العمليات، مما يؤدي إلى أضرار مادية وبشرية يتناسب هذا العمل مع سياق الأفكار من خلال محاولة إظهار مكان العامل البشري في دراسة السلامة، وذلك من خلال اقتراح تحليل يركز على العامل البشري. تم إجراء جميع مراحل هذه الدراسة في موقع حفر بناءً على هذه النتائج، ومن أجل تحقيق هدفنا قمنا باستخدام طريقة تحليل الموثوقية البشرية

THERP (Technique for Human Error Rate Prediction)

الأهداف العامة لهذه الطريقة هي: تحليل دور الخطأ البشري في النظام، وتحديد احتمالات الخطأ، واقتراح حلول تزيد من احتمال نجاح العمل البشري، والتحقق من صحة هذه الحلول من حيث زيادة موثوقية النظام بشكل عام

الكلمات الرئيسية: ، حادث ، خطأ بشري ، THERP ، موثوقية ، مؤشر

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La fiabilité et l'erreur humaine : voilà des notions fréquentes dans les textes et les déclarations sur les « nouvelles technologies ». L'intérêt qui est porté n'est pas de nature spéculative, mais il est très directement pratique car, dans les systèmes techniques complexes, l'erreur humaine peut avoir des conséquences très graves, tant en raison des dommages humains que des pertes matérielles qu'elle risque d'entraîner; l'expérience montre en effet que même dans les installations dites automatisées, l'homme n'est pas absent et que son rôle est loin d'être négligeable, n'oublions pas d'ailleurs que le technique est conçu par l'homme et que les défaillances « techniques » ont leur source plus au moins lointaine dans des activités humaines.

Aussi dans l'industrie, l'analyse des accidents dus à des erreurs humaines a joué un rôle non négligeable : erreur de pilotage, de conduite, de diagnostic et de contrôle...etc., et partout où il y'a des activités humaines, les possibilités d'erreurs sont présents.

Le travail suivant s'insère dans ce contexte d'idées, en voulant montrer la place du facteur humain dans une étude de sécurité, en proposant une analyse dysfonctionnelle centrée sur le facteur humain. Toutes les étapes de cette étude seront réalisées au niveau d'un site industriel cas de l'entreprise national des travaux aux puits (ENTP)

Le forage est un domaine de travail très difficile et compliqué, à cause de plusieurs facteurs tels que, la diversité des opérations qui le constitue et le matériel utilisé (pompe à boue, table de rotation, les bacs à boue, le treuil,...etc.) ,et ainsi que le l'opérateur humain qui peut faire des erreurs pendant l'exécution de ces opérations, ces dernières peuvent engendrer des dégâts matériels et humaines, les statistiques des accidents et des incidents au niveau de (ENTP) montre que la majorité des accidents et incidents sont causées par l'erreur humaine.

En se basant sur ces résultats, nous avons trouvé que l'étude de sécurité sera plus efficace si elle sera orientée vers une étude de la fiabilité humaine.

Pour atteindre notre objectif, nous avons décomposé ce travail en quatre parties qui vont regrouper les points essentiels à développer :

- **Le premier chapitre**, présente quelques notions importantes sur la fiabilité humaine et l'erreur humaine.

- **Le deuxième chapitre**, présente les différentes démarches appliquées pour atteindre l'objectif de ce modeste travail, notamment la méthode SADT pour l'analyse fonctionnelle, et la méthode THERP pour l'étude de la fiabilité humaine (erreur humaine) et comme cette méthode comporte plusieurs étapes, on a bousions d'autre méthode telles que : AMDEC, AdD, ADE pour l'analyse désfonctionnelle et en suite la méthode MAD pour la description des tâches, et l'AMDE facteur humain pour l'identification des causes et conséquences de l'écart entre la tâche prescrit et la tâche réalisé.
- **Le troisième chapitre**, présente la présentation de l'entreprise, et description générale sur le forage et le système étudié « système anti-éruption »
- **Le quatrième chapitre**, l'application des démarches proposées sur le système anti-éruption de l'appareil de forage.

Et enfin on termine ce modeste travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I

NOTIONS GENEERALE SUR LA FIABILITE ET L'ERREUR HUMAINE

I. Introduction :

La notion de fiabilité est couramment appliquée aux équipements ou objet technique si bien que fiabilité est devenue synonyme de sécurité. Dans les systèmes socio – technique complexe l'efficacité de la fiabilité dépend non seulement de leurs éléments techniques, mais aussi des hommes qui les composent, donc il faut s'interroger sur cette fiabilité humaine.

Dans ce chapitre, nous allons définir les notions de fiabilité humaine, et des rappels généraux sur les caractéristiques de l'erreur humaine.

II. Analyse des systèmes Homme - Machine :

II.1. Définition du système Homme - Machine :

Un système HM simple se compose des éléments suivants :

1. l'opérateur et tâche (ou procédure)
2. l'interface HM de contrôle commande
3. la machine (ou les processus)
4. l'environnement
5. les systèmes de sécurité
6. les systèmes de signalisation et régulation en réseau de plusieurs machines. [1]

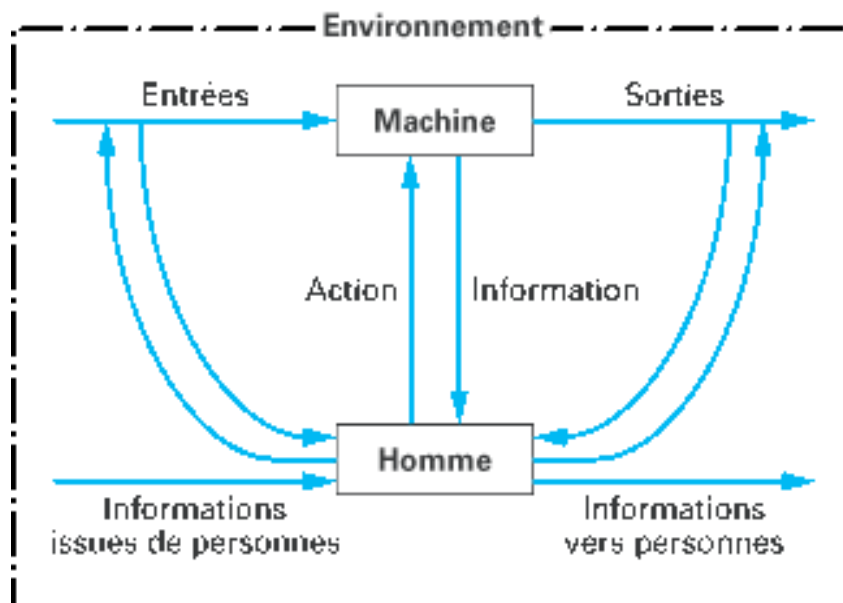


Fig .I.1. Organisation homme-machine dans un système élémentaire

II.2. Domaine de fonctionnement d'un système H-M :

On distingue trois (03) domaines de fonctionnement (ou marche) d'un système :

- D1 : domaine de fonctionnement normal, désiré
- D2 : domaine de fonctionnement dégradé (ou critique ou incidentel)
- D3 : domaine de fonctionnement accidentel, indésirable. [1]

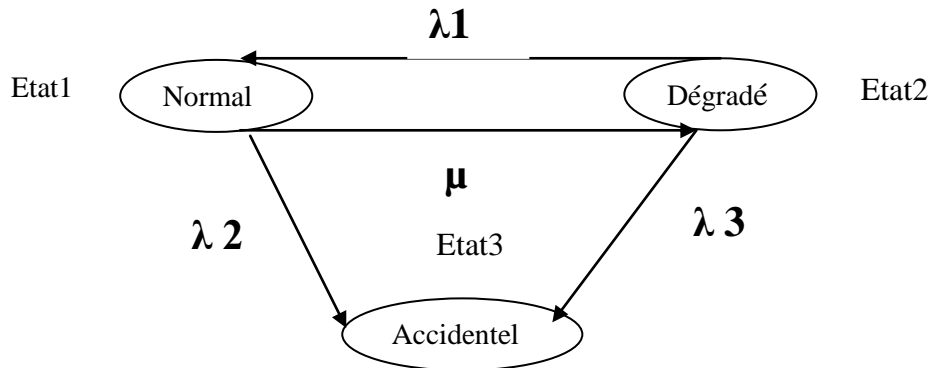


Fig. I.2. Le graphe d'état d'un système H-M [2]

II.3. Causes des erreurs d'opération dans un système H-M : [2]

L'erreur humaine est définie comme toute action humaine qui dépasse une limite d'acceptabilité ; cette limite d'acceptabilité étant définie par le système.

Swain a indiqué que si les erreurs humaines sont analysées avec la même objectivité que celle utilisée pour analyser les défaillances des composants techniques, il serait possible de prévoir des mesures adéquates de prévention ou de correction

Dans cette logique, il est commode de classer les erreurs humaines par rapport à leurs causes premières : (1) les erreurs dont les causes premières sont liées aux conditions de travail (ECT), et (2) les erreurs dont les causes premières sont liées aux comportements humains (ECH).

Les analyses de sécurité, fiabilité humaine et ergonomie ont reconnu depuis longtemps, que la plupart des erreurs qui arrivent durant l'opération des systèmes dont les conditions de travail sont bien définies sont du type ECT et relativement très peu sont du type ECH. D'après Swain ce constat n'est pas surprenant, car les personnes qui font trop d'erreurs du type ECH ne garderont pas leur poste de travail longtemps.

Des enquêtes ont été menées par des chercheurs entre 1982 et 84 pour identifier les causes des erreurs humaines dans les activités d'opération, de tests, de maintenance et de démarrage et arrêt des centrales nucléaires françaises. Elles ont mis en évidence que plus de 90 pour cent des erreurs sont de type ECT,

La figure. I.3 montre que la plupart des erreurs sont la résultante de deux composantes : une erreur ou combinaison d'erreurs de type ECT et une erreur ou combinaison d'erreurs de type ECH.

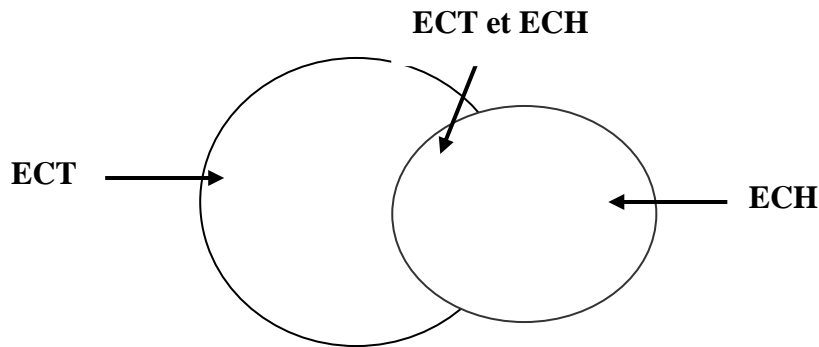


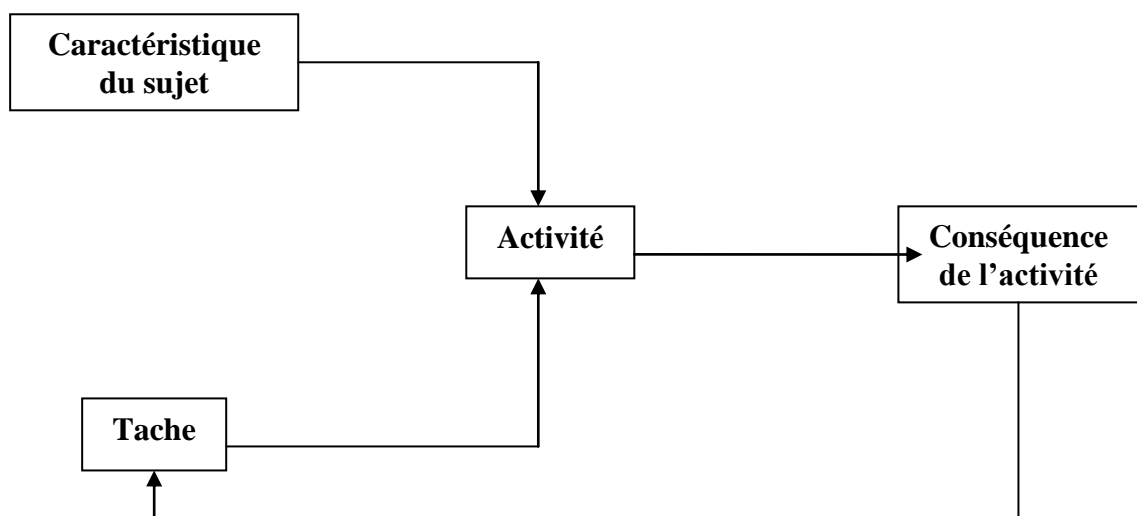
Fig. I.3. Classes des causes d'erreurs humaines [2]

- **ECH** : Les erreurs dont les causes premières sont liées aux comportements humains
- **ECT** : Les erreurs dont les causes premières sont liées aux conditions de travail

II.4. L'objet d'étude de l'analyse de travail dans les systèmes HM :

La démarche d'analyse du travail permet d'appréhender une situation de travail dans son ensemble en s'intéressant aux objets d'étude suivants:

- L'opérateur (caractéristiques),
- La tâche (prescrite/réelle),
- L'activité (mise en œuvre par l'opérateur pour effectuer sa tâche),
- Le contexte dans lequel l'opérateur et sa tâche vont évoluer. [4]



a → b : b dépend de a

Fig. I.4. Les quatre groupes d'éléments essentiels à considérer dans une analyse du travail [3]

II.4.1. Définition de l'opérateur :

Pour effectuer sa tâche, l'utilisateur déploie une activité ; cette activité est déterminée par les caractéristiques de l'opérateur lui-même. Ces caractéristiques peuvent être d'ordre :

- ❖ Physiologique (age, sexe, état de fatigue...)
- ❖ Psychologique : expérience de l'application, expérience de la tâche, motivation à utiliser l'outil, savoir (savoir-faire) dans le domaine informatique, caractère occasionnelle ou permanent de l'utilisation.
- ❖ Psychosociologique (motivation, statut...)

Les utilisateurs n'ayant pas tous les mêmes caractéristiques, on comprend la nécessité de développer des applications adaptable aux différents profils d'utilisateurs et à l'évolution de leurs capacités d'expertise. [4]

II.4.2. Modèle de l'opérateur :

La présence de l'homme dans la boucle de conduite d'un système est généralement définie par l'activité qu'il réalise.

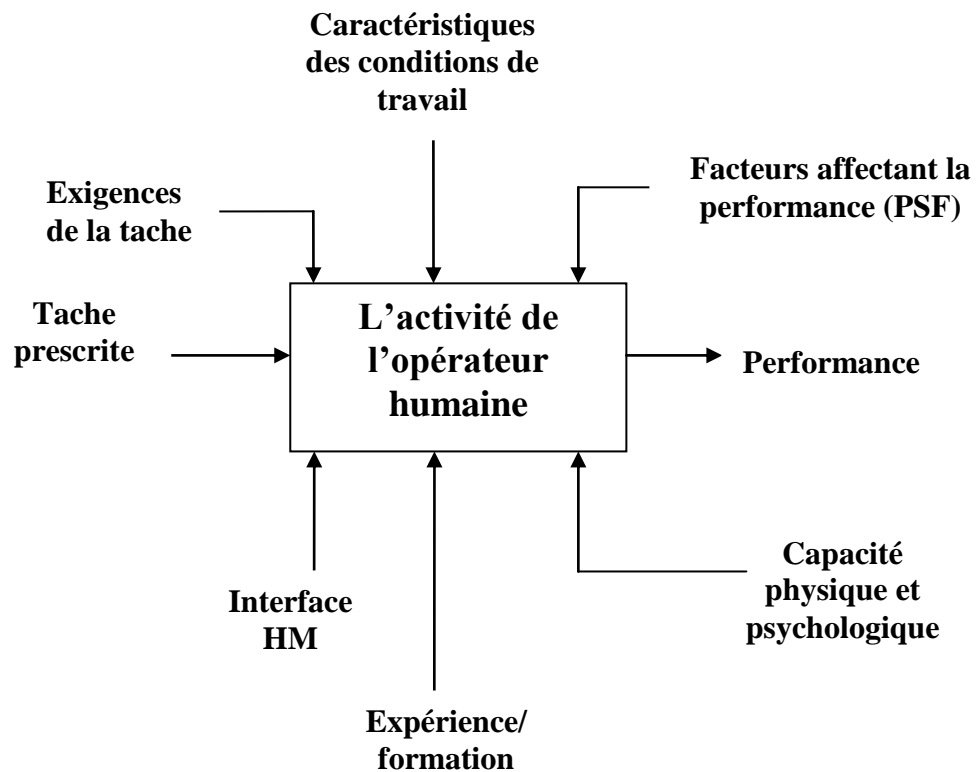


Fig. I.5. Modèle SADT de l'opérateur humaine [1]

La figure précédente décrite à l'aide d'un modèle SADT l'activité en générale de l'opérateur dans un système HM. La tâche prescrite définit le but à atteindre, les exigences de la tâche. L'activité de l'opérateur consiste à utiliser l'interface HM, ses conséquences (issues de son expérience et formations). Les moyens de contrôle de l'exécution sont les exigences de la

tâche, et les conditions de travail. Pour mieux comprendre les activités de l'opérateur, le modèle descriptif SADT (voir fig. I.5.) définit les principales interactions entre les sous-systèmes et l'opérateur. [4]

II.5. Définition de la tâche :

L'ergonome établit une distinction entre la tâche prescrite (ce que l'opérateur doit faire et qui est défini par l'organisation) et la tâche réelle (ce que l'opérateur fait réellement). Plus précisément :

- ❖ La tâche prescrite (ou travail prescrit) recouvre tout ce qui, dans l'organisation du travail, définit le travail (par écrit ou non) de chacun au sein d'une structure donnée ; autrement dit c'est la manière officielle de faire les choses :
 - Les objectifs à atteindre en échange du salaire
 - La manière de les atteindre, les consignes et procédures à suivre
 - Les moyens techniques mis à disposition
 - La répartition des tâches entre les différents opérateurs,
 - Les conditions temporelles de travail (horaires, durée),
 - Les conditions sociales (qualification, salaire),
 - L'environnement physique de travail.
- ❖ La tâche réelle (ou travail réel) correspond au travail réel de l'opérateur. Plus précisément, la tâche réelle correspond à la manière dont l'opérateur pense qu'il agit la manière dont il agit réellement, c'est son activité. La tâche réelle est donc la représentation que l'utilisateur se fait de son travail. [4]

II.5.1. Tâche prescrite, tâche réalisée :

L'ergonomie s'intéresse particulièrement à l'écart qui existe entre la tâche prescrite et la tâche réalisée, c'est-à-dire ce qui est attendu, dans notre cas, par le didacticien et le médiateur (figure I.6), et ce réellement effectué par l'apprenant opérateur. Cette confrontation permet de déterminer l'adéquation ou les insuffisances des conditions de la tâche l'environnement de travail proposé à l'apprenant.

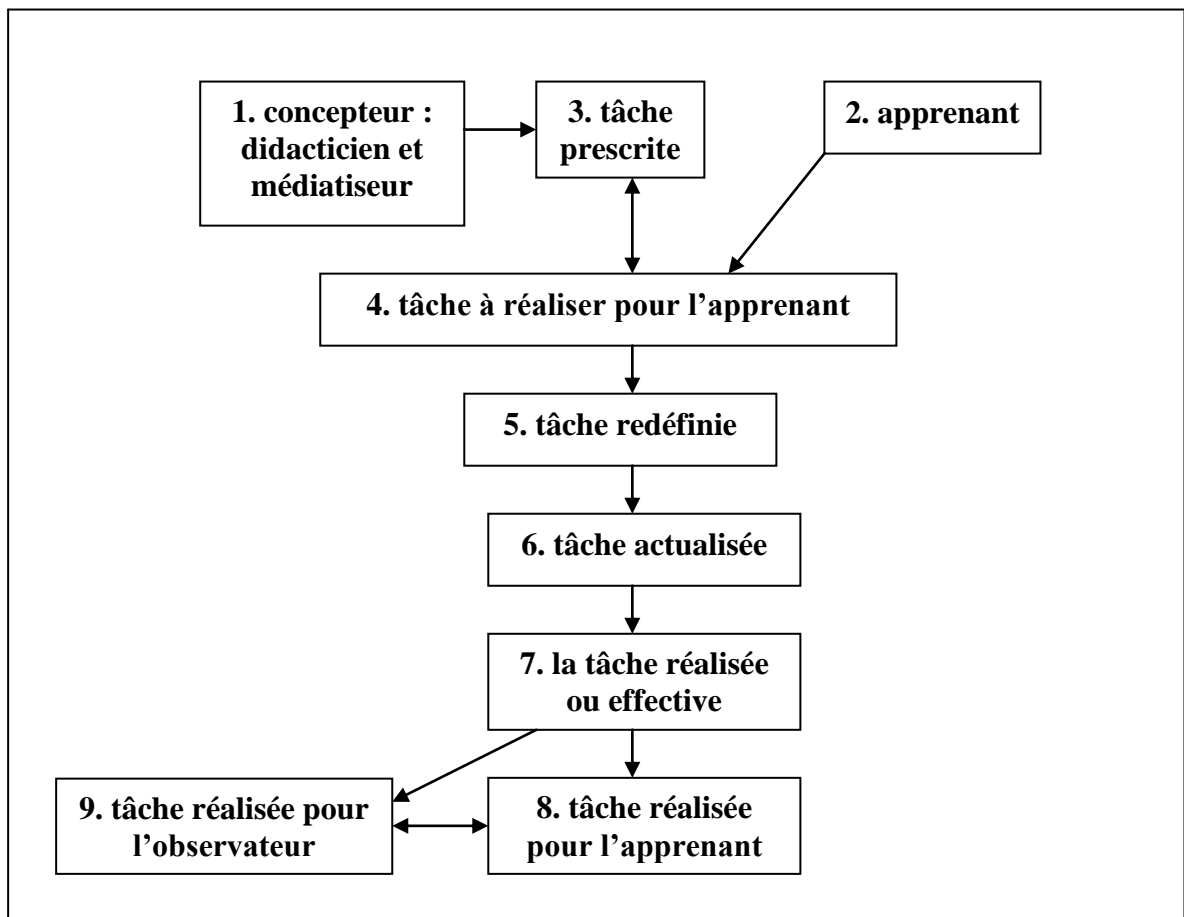


Fig. I.6. Tâche prescrite, Tâche à réaliser. [5]

Le schéma permet d'illustrer ce qui se joue dans la confrontation entre la tâche prescrite et la tâche réaliser entre deux glisse la notion d'intention qui va conduire à l'apprenant à se représenter l'action, à planifier et à déclencher le processus de résolution. De plus, le schéma montre qu'une même tâche diffère selon le point de vue et selon le moment du traitement. La tâche, « *définie comme un but à atteindre dans des conditions déterminées* » (LEPLAT, OP. CIT. :17) va subir divers traitements de la part de l'apprenant selon son utilité supposée, la faire rentrer dans ses schémas cognitifs , lui donner une forme permettant le traitement par exemple en la décomposant ou en déterminant des procédures intermédiaires , l'effectuer selon ses aptitudes et sa motivation par évidence, il y aura écart plus ou moins important entre ce que l'apprenant est en mesure de dire de activité, de stratégies et de ses difficultés , et ce qu'un observateur percevra dans l'activité (et dans le discours sur l'activité) de l'apprenant .

II.6. Définition de l'activité :

Elle peut être définie, comme ce que le sujet met en jeu pour exécuter la tâche. Cette activité est finalisée par le but que se fixe le sujet à partir du but que prescrit. Elle est soumise à des contraintes plus ou moins strictes selon les conditions de la tâche partie observable. Lorsqu'elle porte sur des présentations mentales, on n'en perçoit que des traces qui apportent plus ou moins d'information. Par exemple lorsqu'un dépanneur recherche l'origine de ces consultations, on peut observer les contrôles qu'il exécute, les consultations de ces contrôles et ces consultations sont réglées par une activité mentale inobservable, qui porte sur des représentations que le dépanneur a élaborées de la situation à partir de ses connaissances et des informations fournies par la situation actuelle. Il n'est jamais facile de reconstituer cette activité mentale à la partir des observations. En fait, toute activité – même si elle est dite

Manuelle – comporte en aspect observable, constitué par les mécanismes qui en règlent le déroulement. La partie directement observable (les comportements « spontanés ») est parfois très réduite et en permet pas de faire ou de vérifier des hypothèses précises sur la nature des opérations mentales et des mécanismes mis en jeu. On est appelé alors à recourir à des observations « provoqué », comme celles que l'on peut obtenir en demandant au sujet de verbaliser.

- Les activités d'exécution qui mettent en jeu des mécanismes déjà constitués chez la sujet ; ce sont les activités de routine ou les activités guidées par des aides au : consignes, listes de contrôle (check listes), « menu » informatique, etc.
- Les activités d'élaboration qui ont pour objet la constitution de ces mécanismes : on les rencontre quand l'individu est confronté à une tâche nouvelle (apprentissage, résolution de problème). [3]

III.6.1. Les conséquences de l'activité :

Les conséquences de l'activité sont catégorisables en deux grandes classes, selon qu'elles sont envisagées par rapport au travailleur ou par rapport au système socio-technique ou il est inséré.

a) par rapport au travailleur :

L'activité a des effets multiples, à terme plus ou moins éloigné et sa présentation, au moment où elle s'effectue, une charge plus ou mois grande, qui mobilise à degrés divers. Une charge élevée durant de longues périodes entraîne un état de fatigue qui modifie les caractéristiques de l'opérateur et pourra l'amener à modifier ses méthodes de travail et à devenir moins fiable. L'activité peut aussi apporter plus ou moins de satisfaction ; donner

un sentiment de responsabilité ; se montrer plus ou moins significative, etc., toutes conséquences qui peuvent modifier en retour les caractéristiques de l'activité.

b) par rapport au système sociotechnique :

L'activité répond aux exigences de la tâche définie par ce système, et ses résultats peuvent être évalués par rapport à ces exigences. On trouvera les critères touchant la performance – quantité et qualité et vitesse de régularité et pour ce qui nous concerne encore plus directement ici, absence d'erreurs et d'incident. Là encore, les conséquences peuvent être plus ou moins à long terme. Ainsi, l'opérateur sur machine pourra avoir plus ou moins soin d'entretenir régulièrement, ce qui après un certain temps peut conduire à des pannes et incidents. Enfin, l'activité peut avoir des conséquences sur l'organisation elle-même sur les relations et le climat de travail.

L'ensemble des conséquences de cette catégorie aboutira soit à modifier la tâche elle-même, à travers les changements notamment dans ces conditions d'exécution. [3]

III. Notions sur la fiabilité et l'erreur humaine :

III.1. la fiabilité humaine :

III.1.1. Notion de fiabilité :

Ce mot dérive d'un vieux adjectif, fiable que Littré définit ainsi : (digne de foi, à qui l'on peut se fier) chapouille (1972) nous propose pour ce terme la définition qui en est donnée par le comité électrotechnique française : (la fiabilité est l'aptitude d'une disposition à accomplir une fonction requise dans des conditions données pour une période de temps donnée.) Kaufmann (1969) définit la fiabilité comme ((la science de la confiance)) dans un petit ouvrage intitulé : la confiance technique. Théorie mathématique de la fiabilité. Pour cette théorie dans laquelle s'inscrit l'étude de la fiabilité, celle-ci est définie en terme de probabilité (la fiabilité $f(t)$ d'une cellule dans des conditions de fonctionnement définies est la probabilité que cette cellule ne tombe pas en panne durant un intervalle de temps donné (0-1) (Faivre 1967), l'auteur appelle cellule ou unité fonctionnelle tout élément distingué dans le système étudié, la cellule pourra donc avoir des dimensions diverses : pièce mécanique, engin, individu, poste de travail, équipe... etc. Comme la dernière définition en témoigne, la notion de fiabilité est liée à celle de panne, l'absence de fiabilité se traduit concrètement par l'apparition de panne et c'est d'ailleurs à partir de celle-ci que la fiabilité pourra être évaluée. On peut élargir la notion de panne à celle d'incident. [3]

III.1.2. Définition de la fiabilité humaine :

On peut définir la fiabilité humaine comme probabilité qu'une tâche soit réalisée avec succès à n'importe quelle phase de fonctionnement d'un système durant une période de temps donné. La fiabilité humaine est inextricablement liée à l'erreur humaine, et comme l'indique Meister, elle désigne une méthode, un concept théorique et une mesure.

Comme méthode, la fiabilité humaine est une procédure d'analyse quantitative pour évaluer la possibilité d'erreur humaine.

Comme concept théorique, la fiabilité humaine implique l'analyse des erreurs pour expliquer comment et pourquoi elles se produisent.

Comme mesure, la fiabilité humaine est par définition la probabilité de réaliser avec succès une tâche ou partie d'une tâche par un opérateur durant une durée déterminée et dans des conditions définies.

Généralement, l'objectif global de la fiabilité humaine, comme l'indique Embray est de période et prévenir l'erreur humaine dans le but d'optimiser la fiabilité globale, la productivité et la régularité du système. [1]

III.1.3. La fiabilité humaine comme propriété de l'homme :

La FH est la probabilité qu'un individu, une équipe, une organisation humaine accomplissent une mission dans des conditions données à l'intérieur de limites acceptables pendant une certaine durée. Fiabilité sociotechnique (Nicolet et Cellier)

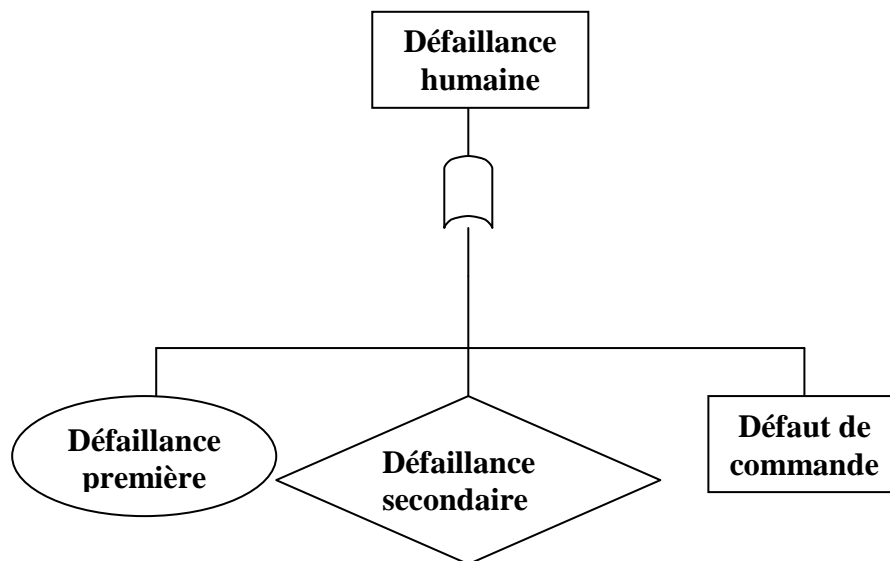


Fig. I.7. Classes des causes des défaillances humaines [6]

A-/ Défaillance première :

Représente l'attribut de l'ensemble des causes de fiabilité intrinsèque de l'opérateur, exp: sa compétence, ses problèmes physiologiques ou psychologiques (stress). [2]

B-/ Défaillance secondaire :

Représente un attribut de l'ensemble des causes liées aux conditions de travail, exp: défaut de visibilité, surcharge de travail, interface H-M inadéquate (commandes mal adaptées, absence d'information exigée). [2]

C-/ Défaut de commande :

Représente l'attribut de l'ensemble des causes liées à l'absence d'informations ou de stimuli, issus de la machine ou du système, nécessaires à l'opérateur pour accomplir la tâche requise.

- Les informations peuvent caractériser l'état de la machine ou le résultat d'une action réalisée.

Les stimuli peuvent être des signaux issus de la machine ou de l'environnement indiquant un ordre d'exécuter une tâche donnée. [2]

III.1.4. L'amélioration de la fiabilité humaine : [2]

III.1.4.1. Déterminer les variables essentielles à l'opérateur :

Il s'agit de lui permettre d'élaborer le diagnostic de l'état du système concerné. Deux seuils symétriques sont ici à éviter, à savoir :

- Donner des indications insuffisantes, ce qui oblige l'opérateur à déduire des informations utiles d'autres informations et a pour conséquence un accroissement de la charge de travail et des risques d'erreurs dans ces « calculs » intermédiaires.
- Donner trop d'indications, ce qui oblige l'opérateur à des choix difficiles, l'information utile étant noyée dans une information parasite.

III.1.4.2. Donner à l'opérateur des informations sur l'évolution du processus :

La connaissance de l'évolution des variables caractérisant le fonctionnement du système est un élément essentiel pour la prévision. Il est donc bon que, au moins pour les variables les plus critiques, on fournisse à l'opérateur des informations sur les tendances, en utilisant par exemple des dispositifs enregistreurs ou en confiant à l'ordinateur le soin de présenter les tendances d'une manière facilement lisible. L'élargissement du champ de contrôle peut être réalisé par des moyens techniques ou organisationnels. Par des moyens techniques, on fournira à l'opérateur des informations supplémentaires sur son tableau de commande ou sur son écran. Par des moyens organisationnels, on favorisera les

communications entre le long de la chaîne de production et avec les différents services qui interviennent dans la production.

III.1.4.3. Améliorer les dispositifs d'avertissement : l'amélioration se fait par :

- réduction du nombre d'alarmes.
- hiérarchisation du nombre des alarmes par ordre d'importance.
- augmentation de la fiabilité des alarmes.
- meilleure localisation des boutons de commande par rapport aux alarmes.
- étude des avertisseurs sonores.
- intégration de la présentation des alarmes dans un contexte qui aide au diagnostic.

III.1.4.4. Améliorer la perception de l'erreur :

L'amélioration de la fiabilité pourra être recherchée à travers la découverte des moyens permettant à l'opérateur d'avoir une information précoce sur les conséquences de son erreur initiale.

III.1.4.5. Concevoir des systèmes tolérants à l'erreur :

L'erreur humaine n'étant jamais totalement inévitable, les systèmes devront être conçus pour en éviter les conséquences néfastes quand elle se produit. On cherchera donc à concevoir des systèmes tolérants à l'erreur.

III.1.4.6. Améliorer les possibilités de diagnostic de l'erreur :

Pour assurer le contrôle correct d'un système, l'opérateur doit être en mesure de diagnostiquer l'origine des erreurs, en particulier de celles dans la genèse desquelles il est intervenu par une action non pertinente ou par absence d'action.

III.1.5. Gestion de la fiabilité humaine, généralités : [7]

Nous distinguerons deux modes de gestion de la fiabilité humaine : la gestion basée sur le retour d'expérience, et la gestion prévisionnelle, celles-ci sont respectivement schématisées dans les figures **Fig.I.8.1.** et **Fig.I.8.2.** L'analyse de la fiabilité s'identifiera, le plus souvent, à celle des *erreurs humaines* (l'erreur étant le critère négatif de la fiabilité, selon l'expression de Leplat, 1985). Cette analyse conduira à dégager les conditions internes à l'opérateur (charge mentale, hypovigilance, accoutumance à la tâche, insuffisance de la formation...), ainsi que les conditions externes (organisation des équipes, rythme de travail, procédures de conduite, interface homme-machine...) (Leplat, 1985). Ces modes de gestion comportent deux volets communs : l'identification des moyens d'amélioration de la fiabilité et l'étude / évaluation a priori des moyens d'amélioration de cette fiabilité.

III.1.5.1. Gestion de la fiabilité humaine basée sur le retour d'expérience :

Dans ce contexte, l'analyse de la fiabilité s'effectue a posteriori. Elle consiste à analyser des incidents ou des accidents, afin de déterminer les causes des dysfonctionnements humains observés et de là, d'identifier les moyens de prévenir de ces dysfonctionnements par la suite.

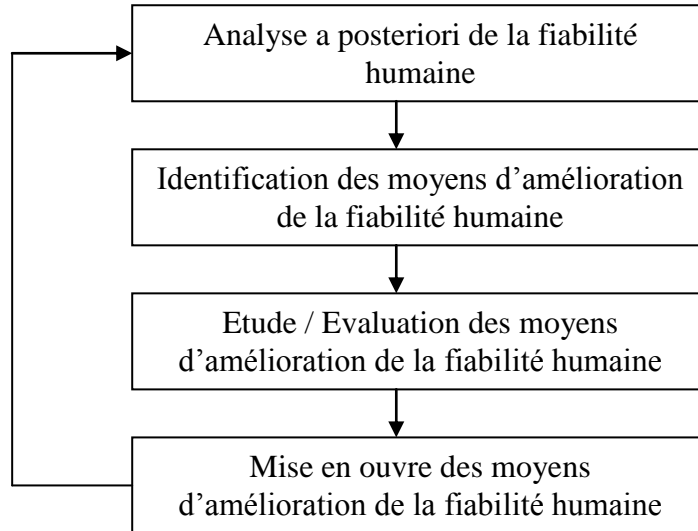


Fig. I.8.1. Gestion de la fiabilité humaine basée sur le retour d'expérience. [7]

III.1.5.2. Gestion prévisionnelle de la fiabilité humaine :

Il est possible aussi d'envisager une approche a priori de la gestion au lieu d'attendre la survenue des dysfonctionnements pour en tirer des enseignements, on analyse les conditions normales d'exploitation, on interroge les spécialistes du fonctionnement, ou encore on utilise des simulateurs pour identifier les sources potentielles d'erreurs et ensuite, trouver ou élaborer les moyens de prévenir ces erreurs. On évoquera ici trois études : l'évaluation d'une salle de conduite informatisée, la validation des consignes de conduite post-accidentelle et l'évaluation probabiliste de la fiabilité humaine.

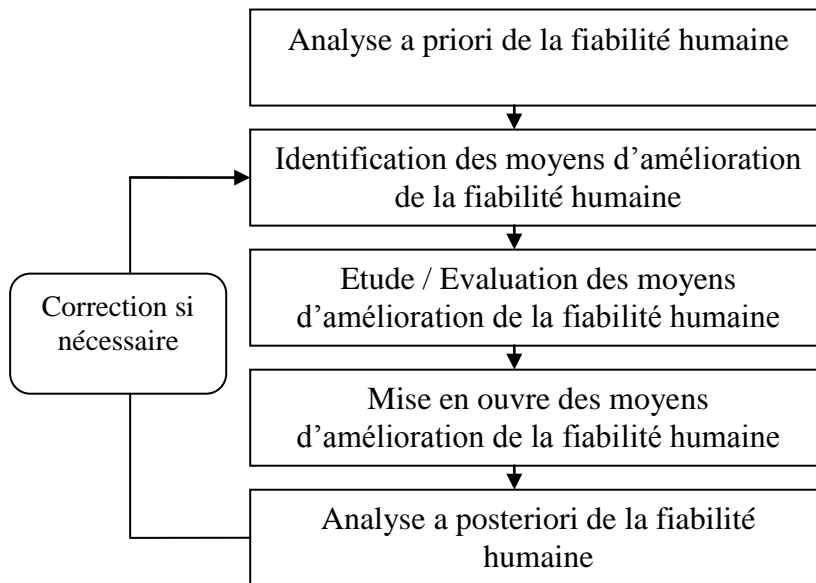


Fig. I.8.2. Gestion prévisionnelle de la fiabilité humaine [7]

III.2. Erreur humaine :

III.2.2. Erreur humaine :

III.2.2.1. Définition :

Une erreur est généralement définie comme une action inappropriée ayant des conséquences inacceptables, ou comme une incompatibilité entre le modèle d'action utilisé par l'opérateur, et l'état réel du système.

« Un comportement ou ses effets sur un système qui dépasse des limites d'acceptabilité ». Elle se traduit alors par l'écart entre l'action effectivement réalisée et l'action idéale. C'est donc une déviation par rapport à une action, à une séquence d'action ou à une stratégie supposée optimale et servant de référence (norme). [3]

III.2.2.2. Caractère de l'erreur humaine :

L'attitude des analyses de fiabilité humaines est de s'intéresser de plus à rechercher le caractère des erreurs humaines : aléatoire, systémique, ou sporadique. La raison est que l'approche pour évaluer, contrôler ou réduire chaque type d'erreurs est différent tel est le cas des lois de probabilité qui s'appliquent pas aux erreurs systémiques. En réalité, une erreur observée est souvent la résultante de trois composantes : une composante aléatoire, systématique, et sporadique. Ces composantes varient en amplitude. [1]

III.2.2.3. Modes des erreurs humaines :

En supposant que l'opérateur réalise une activité sur la base de règles (rule-based) on peut distinguer les erreurs par leurs effets observables en trois modes principaux :

Erreur d'omission : L'opérateur omet d'exécuter la tâche entière ou une partie de la tâche ; exp: omission d'observer le signal d'arrêt.

Exécution incorrecte (error of commission): L'opérateur exécute une tâche ou une action sans respecter les exigences de la tâche. Ce mode est subdivisé en 04 sous modes d'erreurs par rapport aux critères de délai d'exécution, séquençage et précision :

a- Exécution imprécise : L'opérateur exécute la tâche ou action avec une précision jugée insuffisante. Exp.: le conducteur du train roule à une vitesse différente de la vitesse désirée.

b- Erreur d'interférence ou erreur due à l'introduction d'une tâche non prescrite : Exp.: lecteur d'un document pendant la conduite du train.

c- Erreur de séquence : l'opérateur exécute les actions d'une séquences dans le mauvaise ordre. Exp. : le conducteur applique l'effort de traction le train sans desserrer les freins.

d- Erreur de délai : l'opérateur échoue en exécutant une tâche ou une action dans le temps requis, soit trop tôt ou trop tard. Exp. : le conducteur de train commence à freiner trop tard pour s'arrêter devant le signale d'arrêt.

Erreur de récupération : L'opérateur omet ou exécute incorrectement la tâche ou partie de la tâche de récupération. Les tâches ou les actions de récupération bien qu'elles font partie de la tâche principale, sont souvent omises dans les listes des modes d'erreurs dans la littérature. Et ce parce qu'elles sont considérées comme des taches auxiliaires.

En réalité, plus la tâche principale est mal définie, c'est-à-dire qu'elle utilise la subjectivité de l'opérateur, plus la tache de récupération est importante pour le succès de la mission.

D'autre part, en situation dégradée l'échec des tâches de récupérations peut aggraver la situation. L'erreur de récupération a aussi au caractère général et donc mérite d'être ajoutée à la liste des modes d'erreur humaine :

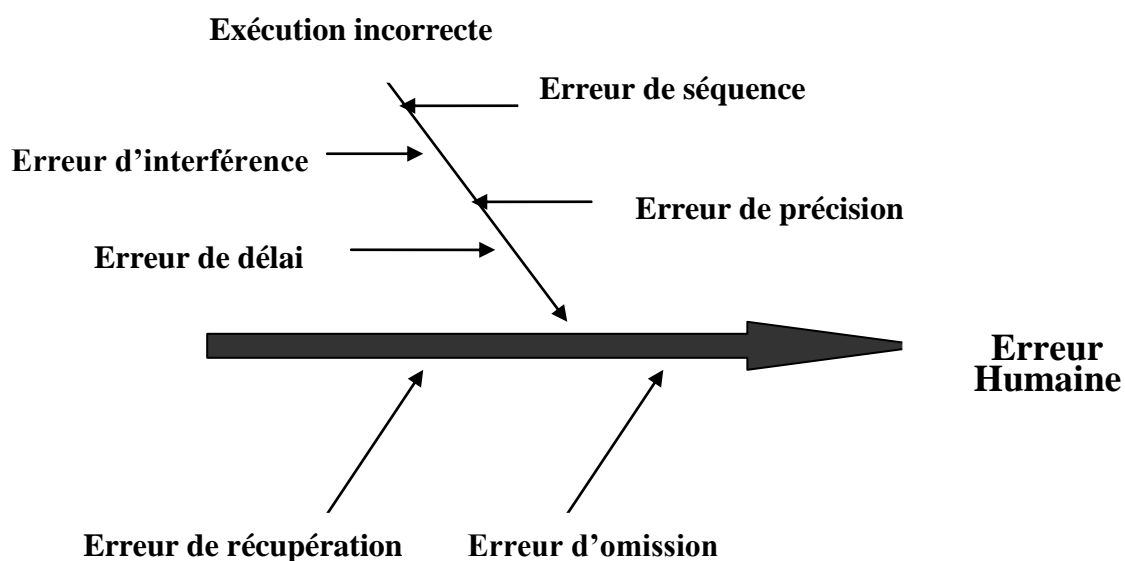


Fig. I.9. Modes d'erreurs humaines. [1]

III.2.2.4. Facteurs d'erreurs humaines :

Il y a des nombreux facteurs d'erreurs humaines, en citer les comme suite :

1. Les facteurs externes de l'erreur humaine :

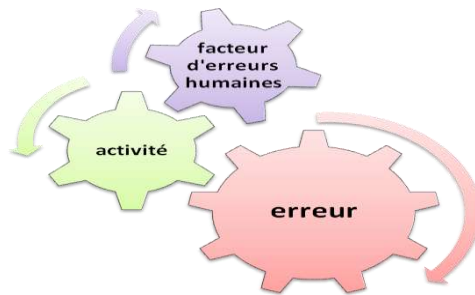
L'organisation de travail. Espace de travail. Ambiance du travail.

La charge du travail. Le travail de nuit. L'influence de l'âge.

2. Les facteurs internes de l'erreur humaine :

Le Sexe. L'âge. L'état physique. L'état intellectuel. La compétence.

L'état psychique. Formation et expérience.



Facteurs internes

Sex - Age - Etat physique - Etat intellectuel - Formation et expérience - Etat psychique

facteurs externe

organisation de travaial - espace de travail - technologie - relation "contact sociaux" - ambiance du travail

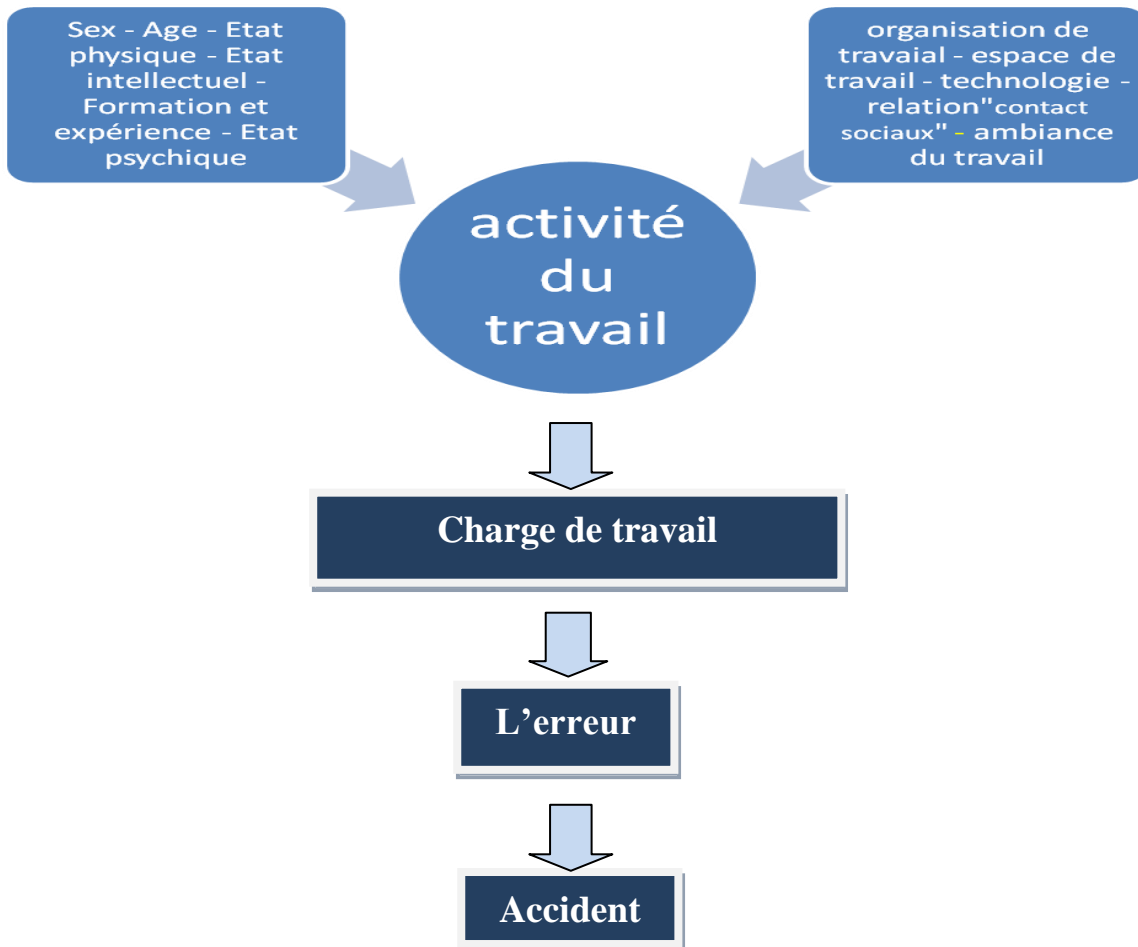


Fig. I.10. Facteurs d'erreurs humaines. [20]

III.2.2.5. Analyse de risque des erreurs humaines :

L'analyse de risque des erreurs humaines, est une étape indispensable pour assurer la sécurité et la fiabilité globale du système. Le schéma suivant consiste à expliquer l'analyse de risque des erreurs humaines.

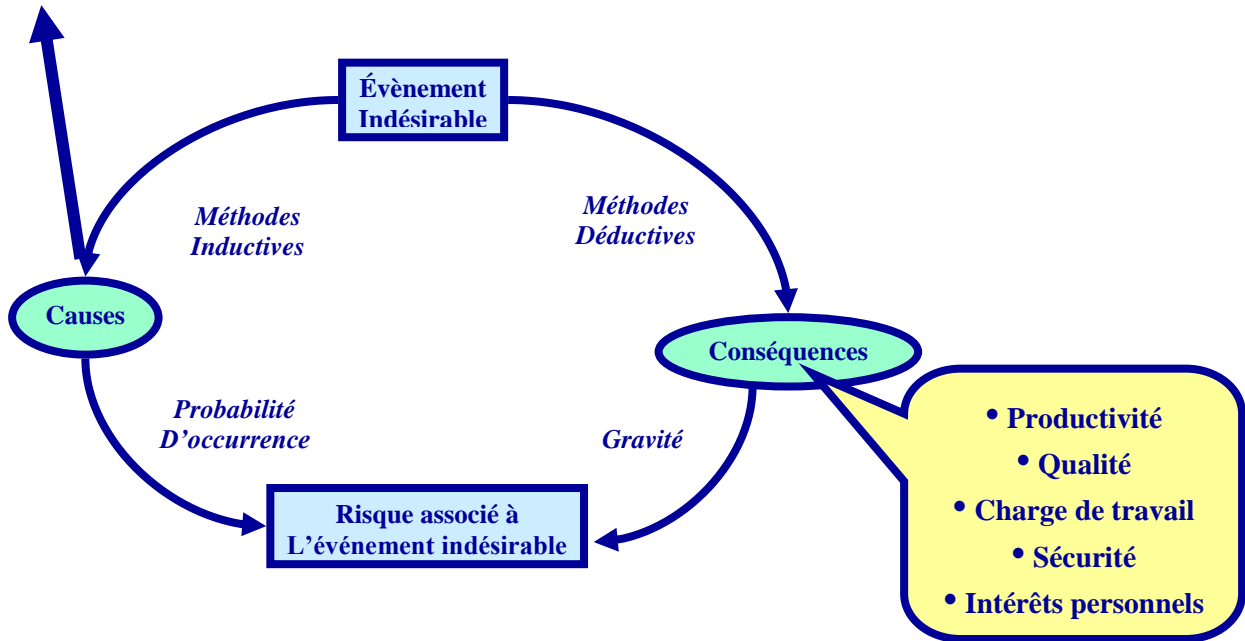


Fig. I.11. Schéma explicative de l'analyse de risque des erreurs humaines. [20]

- Pour éviter ces erreurs dues au facteur humain, il faut l'intégration de l'analyse des risques dès la phase de conception des systèmes. Le model suivant de la Fig.I.12. explique l'intégration d'analyse des risques d'erreurs en phase de conception.

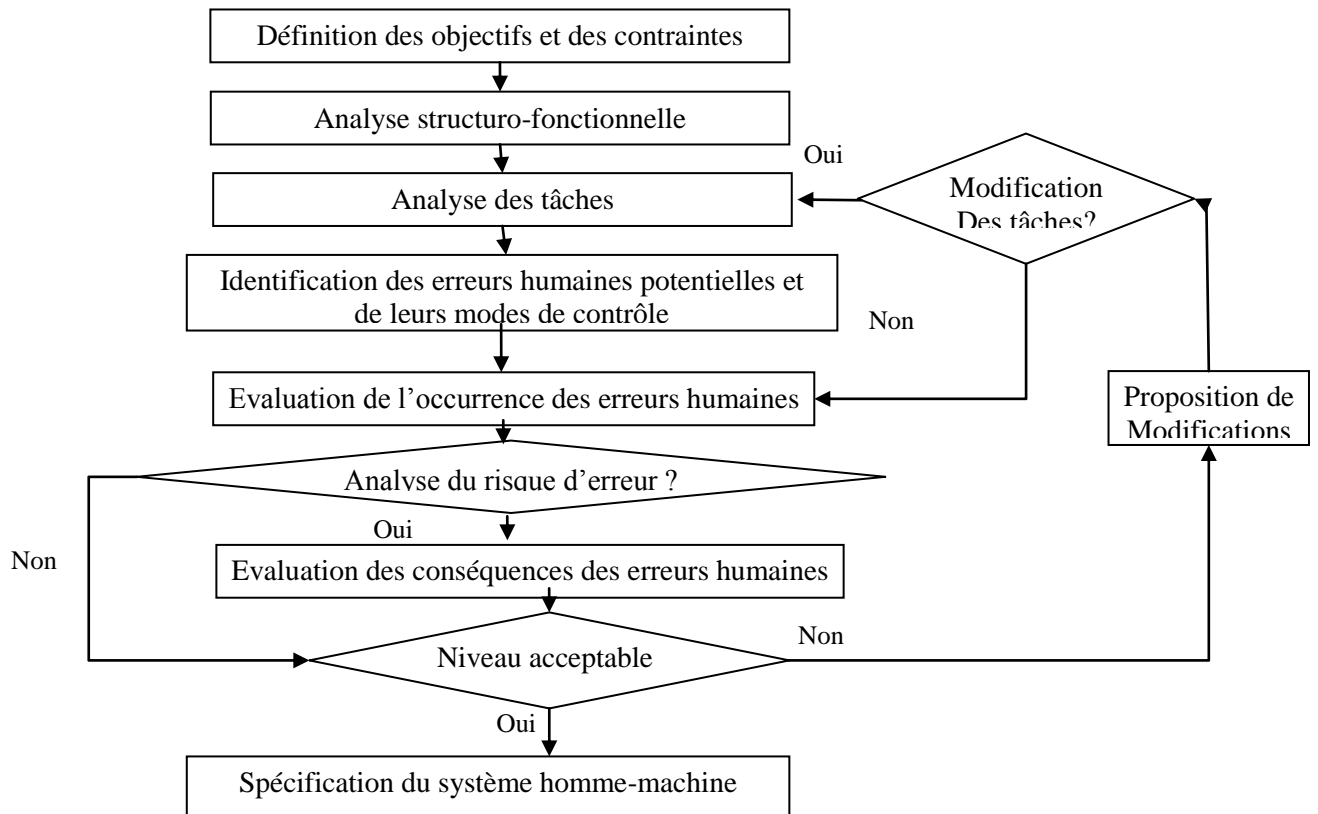


Fig. I.12. Model d'intégration d'analyse d'erreurs en phase de conception [20]

III.2.2.6. l'évaluation de l'erreur humaine :

1- Mesure d'une situation de travail associant

2- Une mesure de l'occurrence d'une erreur humaine (Événement Indésirable)

- Nature : probabilité, fréquence, pourcentage, ratio, etc.
- Evaluation : par action, par sollicitation, par unité de temps, sur la durée de vie, sur un intervalle de temps, sur une distance donnée, etc.

3- Et une mesure de ses effets ou conséquences

- Nature : physique, physiologique, psychologique, financière, politique, temporelle
- Evaluation : durée d'indisponibilité, nombre d'objets ou d'individus touchés, amplitude

III.2.2.7. Exemple d'évaluation de l'erreur humaine :

$$EH = 1 - FH$$

$$EH = \frac{\text{nombre d'erreurs}}{\text{temps}}$$

$$EH = \frac{\text{nombre d'erreurs}}{\text{nombre d'opportunités d'erreur}}$$

Exemple : Critère d'opportunité = succès d'une même tâche

$$EH = \frac{\text{nombre d'échecs}}{\text{nombre de sollicitations}}$$

$$FH = \frac{\text{nombre de succès}}{\text{nombre de sollicitations}}$$

III.2.2.8. L'occurrence de l'erreur : Les étapes d'apparition de l'erreur, sont expliquées dans le schéma suivant :

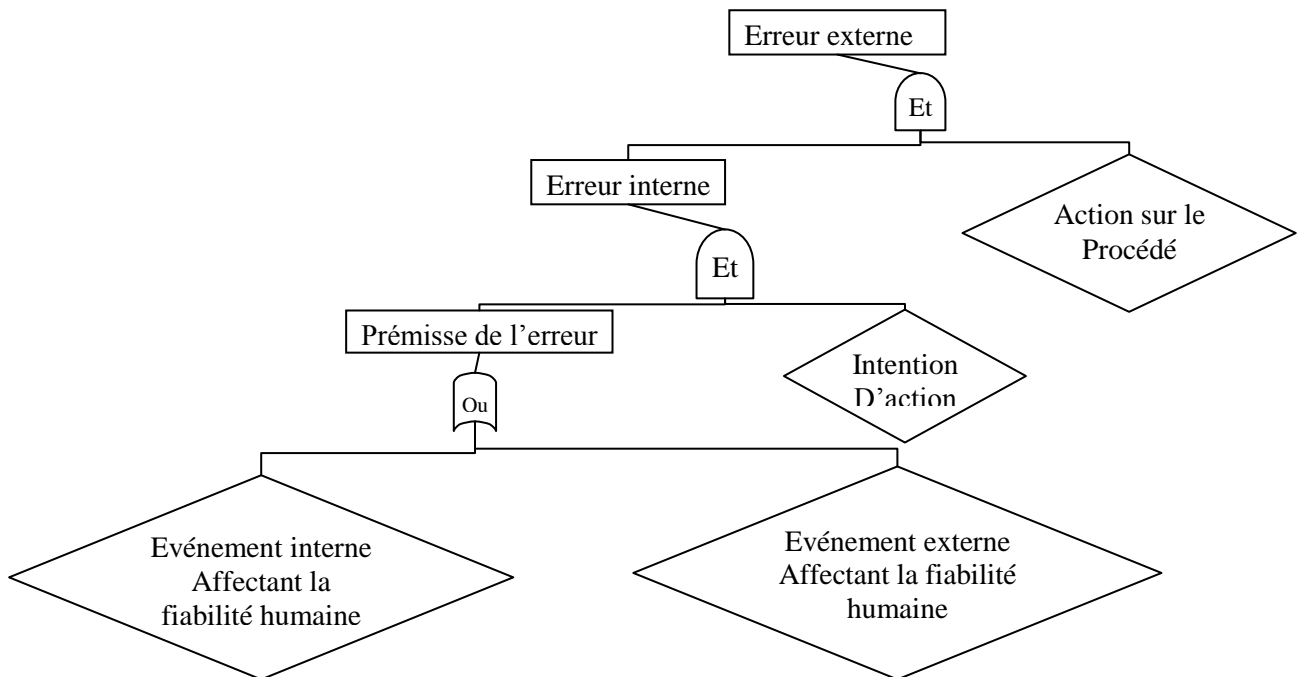


Fig. I.13. Schéma représentative de l'occurrence de l'erreur. [20]

III.2.2.9. Conséquence d'erreurs : pour mieux comprendre comment les erreurs pendant le travail engendrent des situations accidentelles, le schéma suivant explique l'enchaînement entre l'erreur et la situation accidentelle :

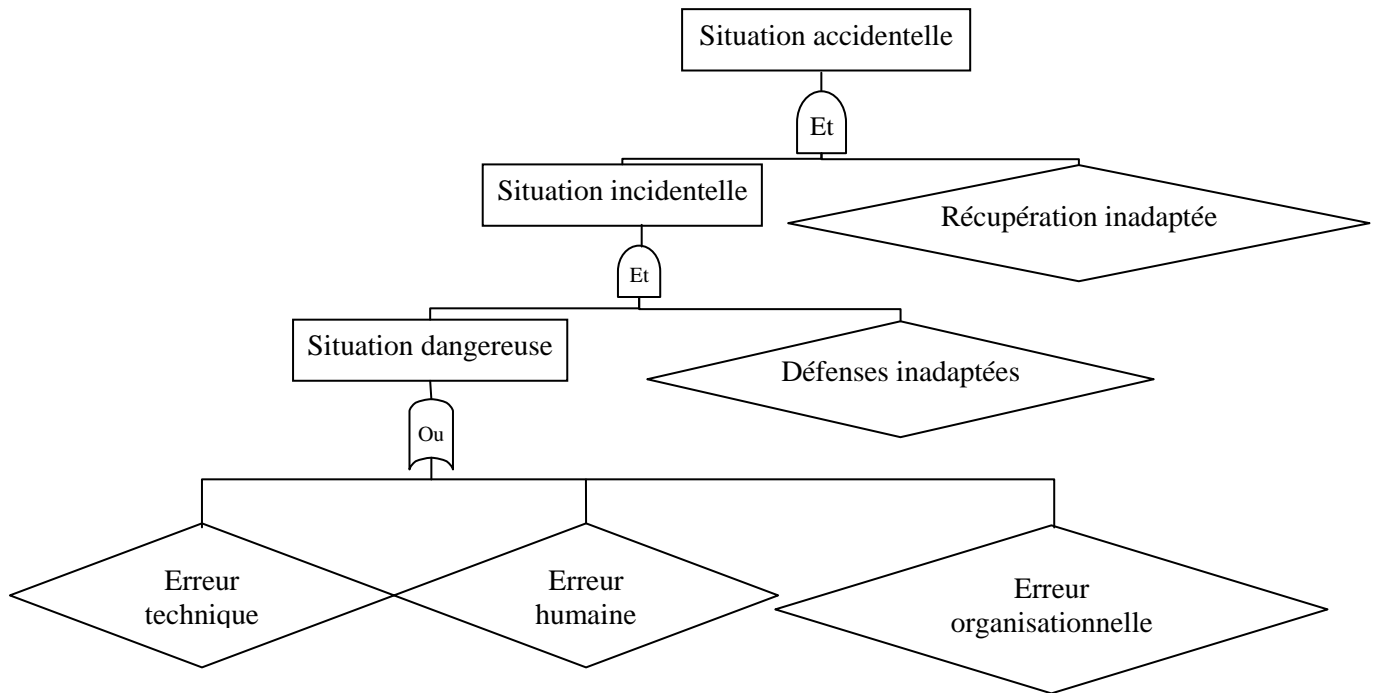


Fig. I.14. Schéma représente la conséquence de l'erreur. [20]

CHAPITRE II

LES DEMARCHEES DE L'ANALYSE

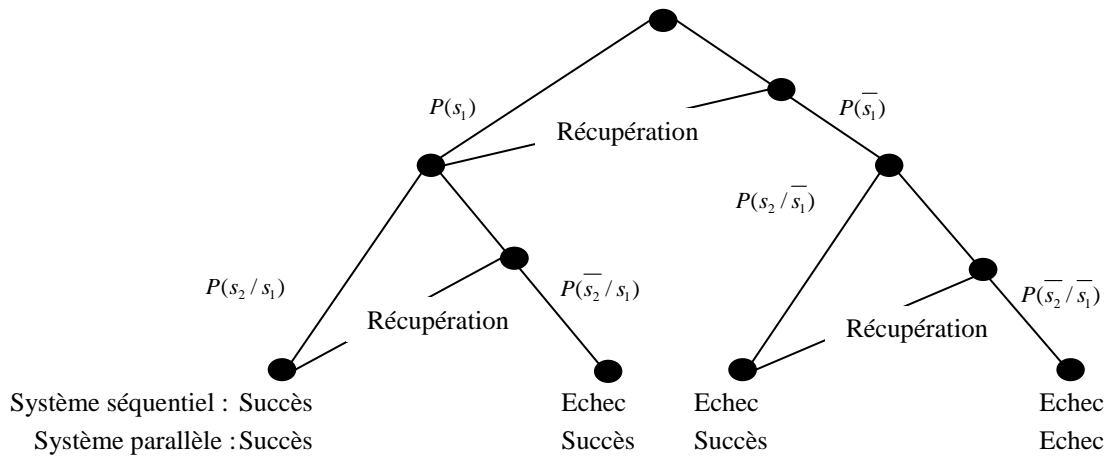
I. Introduction :

Les techniques d'analyse de la fiabilité humaine, ont pour but d'identifier les erreurs humaines, donnant ainsi une analyse de la fiabilité globale du système. Il existe de nombreuses méthodes d'analyse, ce chapitre contient les principales méthodes d'analyse des risques du point de vue la source, l'objective, formalisme utilisé, et leurs domaines d'application.

II. Les méthodes de la fiabilité humaine :

II.1. La méthode THERP : [7]

Proposée par (SWIN), cette méthode à pour but d'appliquer les techniques d'évaluation de la fiabilité des matériels à l'opérateur humain (vu comme un des composants du système) et afin des évaluations de la fiabilité globale du système.



Type	Séquentiel	Parallèle
Fiabilité générale	$P(\text{Succès}) = P(s_1 \cap s_2)$	$P(\text{Succès}) = 1 - P(\bar{s}_1 \cap \bar{s}_2)$
s_1 et s_2 dépendants	$P(\text{Succès}) = P(s_1) \cdot P(s_2/s_1)$	$P(\text{Succès}) = 1 - P(\bar{s}_1) \cdot P(\bar{s}_2/\bar{s}_1)$
s_1 et s_2 indépendants	$P(\text{Succès}) = P(s_1) \cdot P(s_2)$	$P(\text{Succès}) = 1 - P(\bar{s}_1) \cdot P(\bar{s}_2)$

II.1.1. L'objectif de la méthode :

Les objectives généraux de cette méthode : analyser le rôle de l'erreur humaine sur le système, de quantifier les probabilités d'erreur, de proposer des solutions qui augmente la probabilité de succès de l'action humaine, et de vérifier la validité de ces solutions en terme d'augmentation de la fiabilité globale du système. Pour ce faire SWIN proposé une méthode pratique de résolution des problèmes de fiabilité humaine THERP (Technique for Human

Error Rates Prediction), qui est une extension de la fiabilité technique de la composant humaine, et qui se déroule en cinq phase principale :

1^{er} phase : Description des défaillances du système (et / ou de sous –système) :

Dans cette phase soit identifiées, à l'aide des méthodes d'analyse de la sûreté, les défaillances générées par des erreurs humaines .cette phase préliminaire, nécessaire la compréhension du système et elle comporte deux types d'analyses :

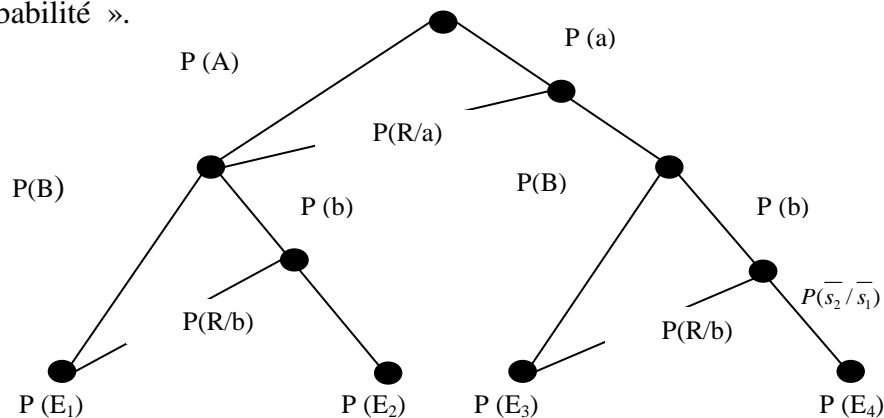
- Analyse systématique des défaillances (par AMDEC),
- Analyse descriptive et causale de leur enchaînement (par AdD).

2^{eme} phase : Description et analyse des tâches réalisées par les opérateurs :

Par analogie à l'analyse de fiabilité, qui consiste à décomposer le système en ses composants élémentaires afin d'effectuer ultérieurement une évaluation quantitative, l'analyse des tâches dans cette phase se fait par la décomposition de celles-ci en opérations principales dont chacune est elle-même décomposition en actions élémentaires .une liste d'actions élémentaires sont ainsi obtenues.

3^{eme} phase : Evaluation des probabilités d'insuccès des différentes tâches :

Cette évaluation est faite en deux étapes : la première consiste à articuler, chronologiquement et fonctionnellement, les différentes actions élémentaires entre elles par un « arbre de probabilité ».



Cette figure représenter l'arbre de probabilité d'une tâche composée de deux actions élémentaires dépendantes successivement, a et b.

Avec :

$P(A), P(B)$ = la probabilité de succès de l'action élémentaire A ou B

$P(a), P(b)$ = la probabilité d'échec de l'action élémentaire a ou b

$P(R/a), P(R/b)$ = la probabilité de succès de la récupération de l'action élémentaire (a) ou (b).

$P(s)$ = la probabilité de succès de la tâche

$P(E1), P(E2), P(E3)$ = la probabilité d'échec de la tâche.

La seconde étape consiste à estimer les probabilités d'échec des tâches, dès même que la fiabilité d'un système technique est la résultante de la fiabilité de ses composants (pages et Gondran, 1980). La fiabilité de la tâche est considérée comme la résultante des probabilités de succès des actions élémentaires. Cette dernière est estimée à partir de banques de données répertoriant les probabilités d'échec.

4^{ème} phase : Estimation de l'effet des erreurs humaines sur le système :

Dans cette phase, la tâche dont la fiabilité été estimée précédemment, est resituée dans l'ensemble du système (à l'aide d'une méthode comme l'arbre de défaillance par exemple) afin d'estimer son poids dans la défaillance du système. Cette analyse, pour les différentes tâches, permet les choix prioritaires d'optimisation de la fiabilité humaine.

5^{ème} phase : Proposition d'amélioration en vue d'optimiser la fiabilité :

Ces améliorations sont généralement de deux sortes :

- Amélioration ergonomique des interfaces sensibles dans les phases 1 et 4 et /ou de l'environnement de réalisation des tâches (ce qui permet d'optimiser la probabilité de succès),
- Introduction de redondance, sous forme d'un deuxième poste de travail correspondant à un poste de contrôle de l'activité à réaliser .cette approche la principale possibilité d'amélioration de plus, ces différentes améliorations sont traduites en terme de probabilité, ce qui permet de simuler les nouvelles configurations proposées et d'en évaluer quantitativement l'impacte sur la fiabilité du système.

II.1.2. L'intérêt, limites et domaine d'application :

L'intérêt de cette approche réside, d'abord dans l'effet qu'elle a été appliqué dans plusieurs domaines appartenant généralement au (système à haute risque). Autre ses applications massives au domaine militaire, nucléaire. L'application la plus connue est celle liée à l'analyse de l'incident. L'utilisation des méthodes d'analyses systémique (phase 1,4 et 5 de la méthode) THERP. Permet de décrire de façon claire les défaillances de système et de situer de façon précise les sous systèmes (ou les points sensibles) dont la défaillance aura une importante répercussion sur la fiabilité du système globale. En résumé, la méthode THERP présente donc la limite majeur d'être fondée sur une conception réductrice du fonctionnement de l'opérateur qui se traduit par une analyse de la tâche ne prenant pas en compte les fonctionnements réel du système opérateur*tâche.

II.2. La méthode de description des tâches "MAD" :

MAD est une méthode analytique de description des tâches [18]. Elle repose sur une décomposition hiérarchique des tâches. Elle représente en effet une tâche sous forme d'un arbre hiérarchique constitué d'un ensemble d'entités. Une entité peut prendre deux formes : une action élémentaire ou une sous-tâche. Une action élémentaire est indécomposable. Une sous-tâche est un enchaînement d'actions élémentaires ou d'entités de niveau inférieur. La structure d'une sous-tâche est définie par des constructeurs qui décrivent l'agencement des différentes tâches impliquées (parallèle PAR, séquentiel SEQ, alternatif ALT, simultané SIM etc.). Ainsi la tâche est la racine de l'arbre hiérarchique et les actions élémentaires sont des feuilles [17]. Le choix d'un formalisme dépend généralement de l'objectif de l'étude et du domaine d'application. Le formalisme MAD défini par Scapin et Pierret-Golbreich répond à un souci de prendre en compte l'ergonomie dans la conception des interfaces homme machine. Il est utilisé comme un outil d'aide à l'analyse du travail, et contribue à l'analyse de l'ergonomie des tâches [19].

II.2.1. Structure générale :

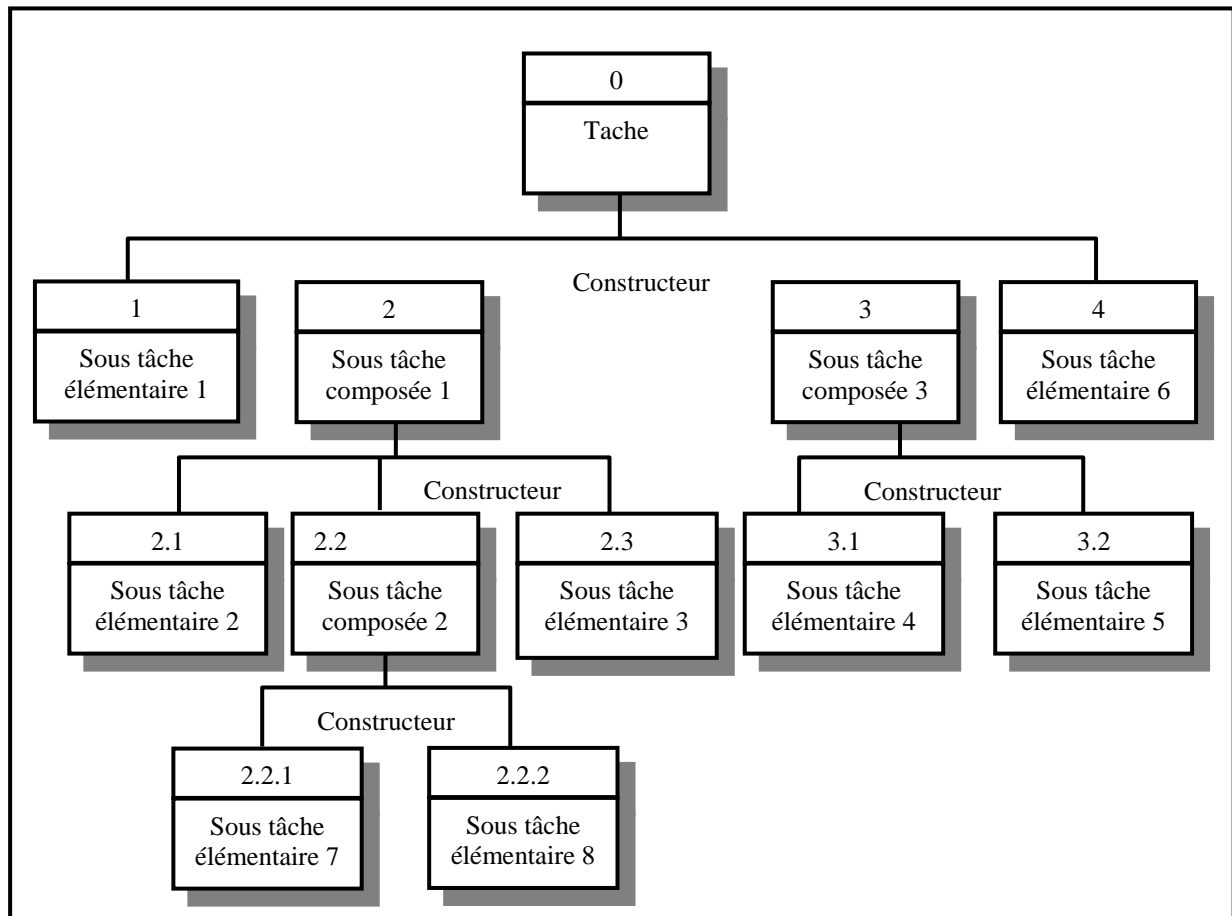


Fig. II.1. Description hiérarchique de tâches par MAD

d'une tâche ou d'une action composée, MAD utilise plusieurs constructeurs qui permettent de préciser les liens entre les entités de niveau inférieur.

II.2.2. Les principaux concepts du formalisme MAD:

Dans le formalisme MAD, les principaux concepts sont ceux d'**objet-tâche**, d'**action**, de **structure** : Le concept de tâche est représenté par un objet générique (au sens de frame, catégorie, prototype, etc.) appelé **objet-tâche (O.T.)**. Cet objet comporte les éléments suivants :

- un **état-initial (I)** : sous ensemble de l'état du monde constitué de la liste des objets, arguments d'entrée de la tâche.
- un **état-final (F)** : sous ensemble de l'état du monde constitué de la liste des objets, arguments de sortie de la tâche. Il s'agit des objets directement créés ou modifiés suite à l'exécution de la tâche. Certains objets peuvent naturellement apparaître à la fois en entrée et en sortie.
- un **but (B)** : sous-ensemble de l'état-final (B est inclus dans F), indiquant explicitement le but recherché dans l'exécution de la tâche.
- des **préconditions (C.N.)** : ensemble des prédicats exprimant des contraintes sur l'état initial et qui doivent nécessairement être satisfaites pour pouvoir déclencher l'exécution de la tâche. On distingue un type particulier de préconditions, les **conditions-nécessaires déclenchantes (C.N.D.)** qui décrivent des états particuliers qui non seulement doivent être satisfaits pour permettre l'exécution de la tâche mais qui de plus ont un rôle dynamique de déclenchement de la tâche. (Condition nécessaire et suffisante à son déclenchement).
- des **postconditions (P.C.)** : ensemble des prédicats exprimant des contraintes sur l'état final et qui doivent nécessairement être satisfaites après l'exécution de la tâche. Les postconditions sont des contraintes qui portent sur l'état final.

II.2.3. Les constructeurs:

Le concept de structure est défini par un constructeur décrivant l'agencement des différentes tâches impliquées. Ainsi, plusieurs constructeurs ont été définis, tels que : SEQ : tâche séquentielle, PAR : tâches parallèles, ALT : tâches alternatives, SIM : tâches simultanées.

- **Constructeur SEQ** : Les entités sont exécutées en séquences l'une après l'autre dans un ordre donné.

- **Constructeur ALT** : Ce constructeur permet d'indiquer une tâche ou une action composée pouvant s'exécuter de plusieurs manières, mais une seule des sous actions peut seulement être effectuée.
- **Constructeur PAR** : L'utilisation de ce constructeur signifie que l'ordre d'exécution des sous actions n'est pas important.
- **Constructeur BOUCLE** : tâches itératives (par exemple dans le scénario suivant : effectuer des opérations d'insertion de fichier d'un collègue, puis recommencer pour un autre membre de l'équipe).
- **Constructeur FAC**: tâches facultatives (pour les opérations non requises, par exemple ajouter un sigle au rapport d'activité de son équipe).

II.2.4. Exploitation de MAD pour élaborer AMDE opératoire :

Les tâches de l'opérateur, une fois analysées et formalisées, on obtient un modèle des tâches prescrites (théoriques) et un modèle des activités réelles. Par comparaison et confrontation des deux modèles, l'objectif est ensuite d'identifier des problèmes, oublis, erreurs et lacunes au niveau du système homme-système.

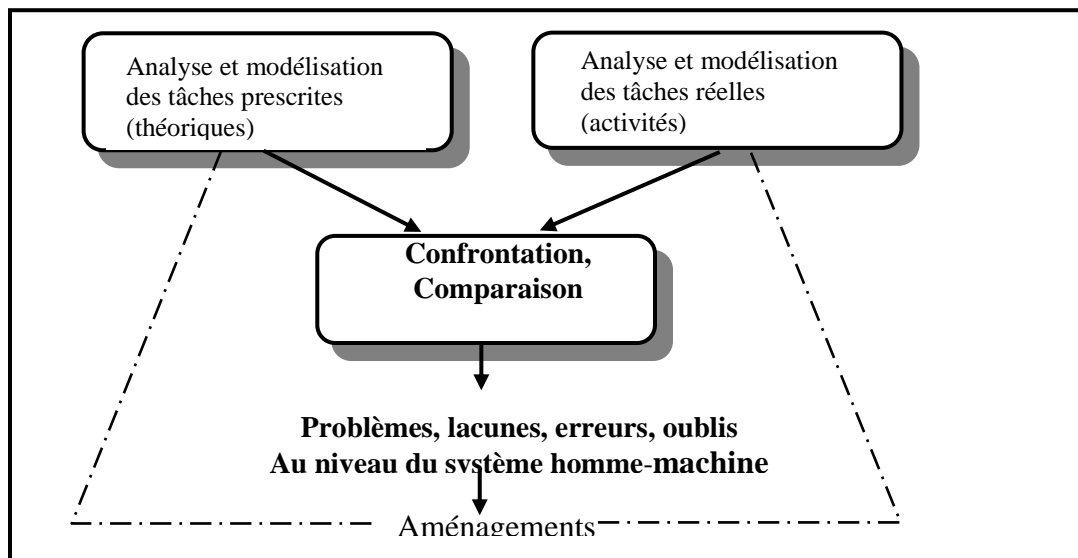


Fig. II.2. Principe d'identification des erreurs

II.2.5. Les avantages de la méthode MAD:

Par rapport à d'autres formalismes de description de tâches, le formalisme MAD présente plusieurs avantages pour notre étude, que nous pouvons résumer comme suit :

- Il est d'une lecture aisée et facile à interpréter ;
- Sa méthode de décomposition hiérarchique de tâches permet l'identification des différentes actions nécessaires pour réaliser une tâche donnée ;

- Il peut être utilisé comme un point de départ pour des méthodes d'analyse des erreurs qui examinent les erreurs potentielles de l'opérateur lors de la réalisation des tâches.

Ces avantages nous ont conduits à choisir le formalisme MAD pour la description des tâches de l'opérateur humain.

II.3. AMDE facteur humain :

II.3.1. Définition et objectifs :

L'AMDE facteur humain est une méthode d'analyse des modes de défaillances, et leurs effets pour un processus humain. [21]. Elle consiste à vérifier que l'on fait (activité potentielle) ce qui est écrit (tâche prescrite) en identifiant les écarts et leurs conséquences et mettant en œuvre des solutions pour éliminer ces écarts ou bien d'en réduire leurs impacts. L'AMDE facteur humain est l'un des méthodes intéressant de la fiabilité humaine ; leur choix se fait pour les avantages qu'elle représente tels que :

- ✓ Est une méthode « à priori »
- ✓ Est une méthode permettant de faire émerger au plus tôt les dysfonctionnements potentiels et d'identifier leurs origines.
- ✓ Est une méthode qui permet d'étudier conjointement des composants de nature différente- humain, organisationnel, mais aussi matériel, informationnel pour une analyse globale et intégrée.

II.3.2. Structure de l'AMDE facteur humain :

La grille AMDE de la norme NFX 60-510 a été utilisée comme base de travail. L'intitulé des informations recueillies dans chaque colonne a seulement été redéfini pour une meilleure adéquation à un processus de travail humain. [21].

Tache prescrite	Activité potentielle	Causes de l'écart						Conséquences de l'écart	Actions de récupération	
Définie par celui qui commande, par une procédure, par une règle de l'art d'un métier.	Ce que le sujet peut faire effectivement : tâche non réalisée, partiellement réalisée, dégradée, optimisée, hors domaine de référence (trop/pas assez...)	Causes directes et indirectes d'écart entre le prescrit et le réalisé, déterminer l'origine : H, O, I, M. NB : l'écart peut être négatif =défaillance opérateur ; ou positif = optimisation ou expertise opérateurs.	M	I	H	O	Conséquences sur le système et le niveau de gravité estimé.	prévention	correction	
			M	In	h	or				
			at	fo	o	g		Eviter par des moyens de prévention l'occurrence de l'écart (surveillance, redondance, test...)	Corriger l'écart par une action qui limite ou annule les conséquences sur le système.	

Tableau .II.1: La grille AMDE selon la norme NFX60-510. [20].

II.3.3. Etape de l'analyse :

Etape 1 : Choix des acteurs : L'élaboration d'une AMDE n'est pas le fait d'une seule personne. Pour être globale, cette analyse doit être effectuée avec les acteurs concernés (les experts, le chargé de sécurité et notamment les ouvriers). Chacun a été informé au préalable des caractéristiques méthodologiques d'une AMDE et des particularités de l'AMDE adaptée au facteur humain.

Etape 2 : Choix des scénarios à étudier : L'application de l'AMDE n'a pas été systématique pour toutes les procédures car la démarche serait coûteuse et parfois peu pertinente. Un travail de sélection d'une telle procédure mettra l'étude précise et plus efficace.

Etape 3 : Déroulement de l'AMDE facteur humain : Après avoir choisir les acteurs concernés pouvant contribuer à l'élaboration de l'AMDE facteur humain et choisir la procédure objet de l'étude. On va maintenant élaborer l'AMDE facteur humain qui consiste à:
1- Définir précisément les fonctions sur les quelles porte l'analyse afin de constituer la situation de référence.

N.B. On verra dans ce qui suit comment la tâche prescrite sera définie par la méthode MAD.

2- Appliquer la grille AMDE aux tâches prescrites en associant à chacune d'elles les différents écarts potentiels possibles produits par les opérateurs. On rappelle qu'on ne s'intéresse qu'aux écarts négatifs qui pénalisent la procédure (l'écart positif présente : optimisation, expertise opérateur permettant d'adapter la procédure pour une application plus efficace).

3- Identifier les grands types de défaillance par la recherche des causes d'écart, la grille propose quatre (04) catégories essentielles qui sont : problème matériels (M), problème d'information (I), défaillance humaine (H), et défaillance organisationnelle (O).

4- Identifier les conséquences de l'écart qui va permettre par la suite d'évaluer l'impact de chaque défaillance en termes de fiabilité, de disponibilité et de sécurité.

5- Associer à chaque type de défaillance des actions de récupération pertinentes permettant ainsi de réduire les risques de défaillances potentielles.

Ces actions doivent être adéquates à chaque type de défaillance :

- Défaillances organisationnelles → Actions culturelles.
- Défaillances humaines → Actions individuelles.
- Défaillances informationnelles et matérielles → Actions techniques.

Ces actions seront également déférentes selon qu'il s'agit de prévenir (empêcher l'occurrence de l'écart) ou de corriger (récupérer l'écart ou en limiter les conséquences). [21].

III. Méthodes d'analyses de la sûreté de fonctionnement :

A. Analyse fonctionnelle :

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions. Ces fonctions sont celles du produit: matériel, logiciel, processus, service ... attendues par l'utilisateur. [8]

A.1. Les méthodes d'analyse fonctionnelle : Les méthodes d'analyse fonctionnelle sont indispensables pour réaliser une décomposition fonctionnelle et matérielle d'une installation industrielle en cours de conception ou en fonctionnement. L'utilisation de ces méthodes par leurs caractères systématiques et exhaustifs, représente une garantie formelle pour décomposer une installation industrielle aux niveaux fonctionnels et matériels nécessaires pour identifier les modes de défaillances et leurs conséquences sur les objectifs opérationnels retenus pour l'installation ou l'équipement concerné. La démarche d'analyse fonctionnelle est menée de manière participative sous la forme d'un groupe de travail qui regroupe l'ensemble des compétences nécessaires. [8].

III.1. Méthode retenue pour cette étude (SADT) :

Pour notre étude nous avons retenu la méthode SADT (Technique structurée d'analyse et de modélisation) car elle attaque le problème en construisant un modèle, de celui-ci dont le but d'exprimer une compréhension en profondeur.

III.1.1. l'objectif de SADT :

Avant d'entamer l'étude de dysfonctionnement d'un système, il faut recenser le maximum d'information relative à ce système, ces caractéristiques techniques et fonctionnelles, donc définir et identifier ces fonctions principales. Pour cette raison nous allons proposer dans cette première partie du présent chapitre d'appliquer la méthode SADT pour mieux comprendre le principe de fonctionnement de notre système (exemple : système anti-éruption) et les principales fonctions pour réaliser le produit fini.

III.1.2. Définition de la SADT :

La méthode SADT est une méthode d'analyse et de conception des systèmes importants et complexes en facilitant la communication entre spécialistes de disciplines différentes. Elle fournit des outils notamment pour :

- Concevoir d'une façon structurée des systèmes vastes ou complexes.
- Communiquer des résultats de l'analyse et de la conception dans une notation claire et précise.
- Contrôler l'exactitude, la cohérence et de façon générale la qualité de manière continue et systématique par des procédures particulières de critiques et d'approbations.
- La méthode introduit les concepts suivants :
 - Les fonctions qui échangent et transforment les données.
 - Les données manipulées par les fonctions. [8]

III.1.3. Le formalisme de SADT :

SADT utilise un seul type de boîte dont chacun des côtés a une signification particulière, un diagramme comporte de 03 à 06 boîtes.

Toutes les relations s'expriment par des flèches [8]

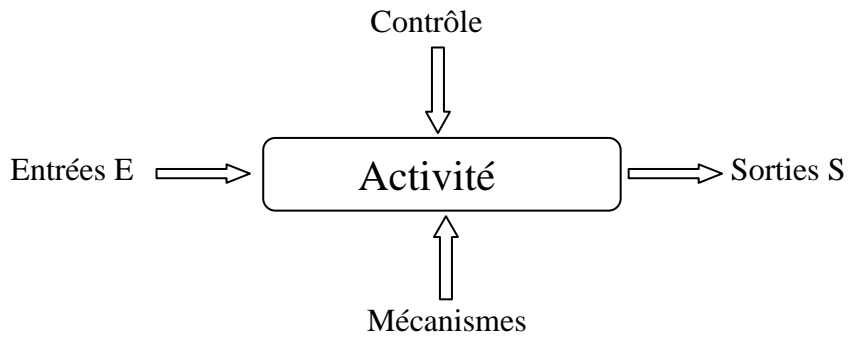


Fig. II.3. Le formalisme de SADT

III.1.4. Syntaxe de pages SADT :

On place les boîtes et on choisit les verbes adéquats, on trace les flèches contraintes principales et on choisit ses noms, on trace les flèches externes et ses noms et on trace les flèches des autres contraintes et ses noms. [8]

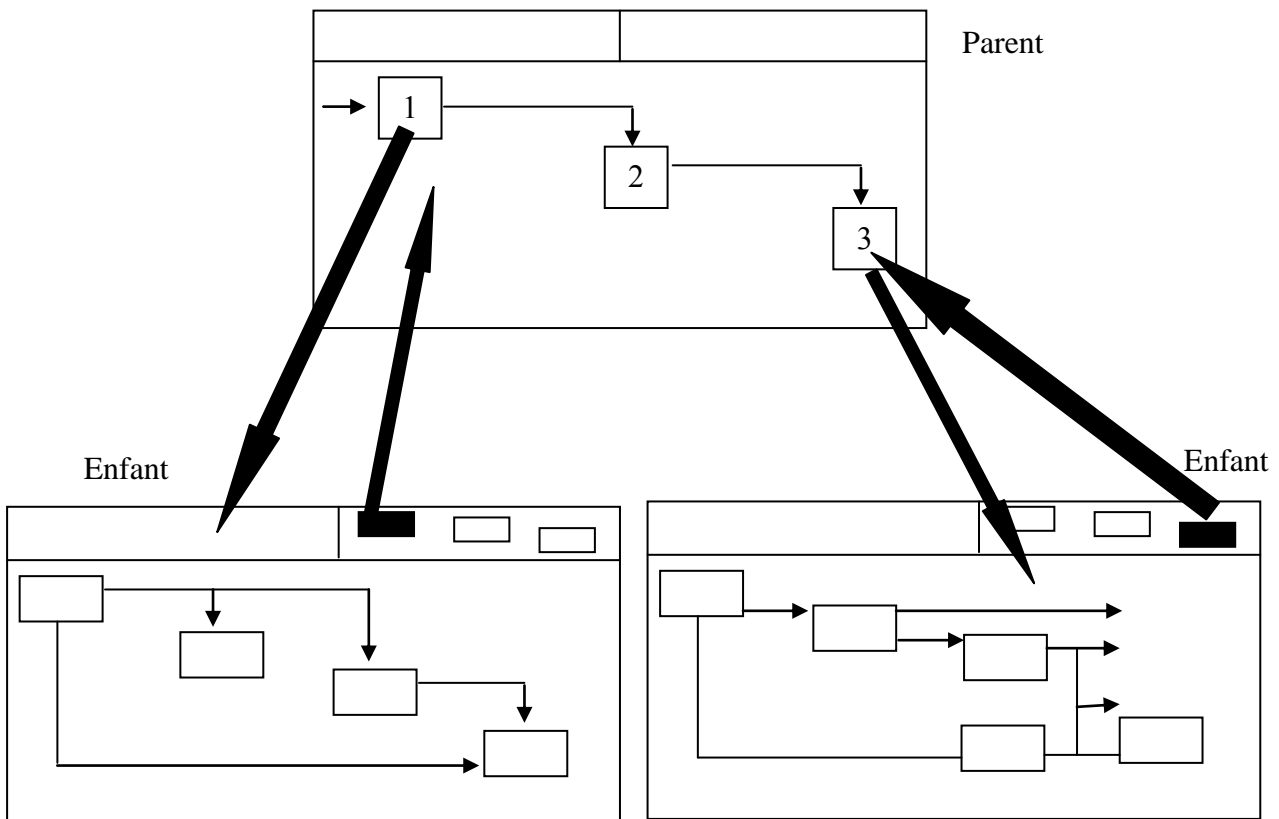


Fig. II.4. Page SADT

III.1.5. Les objectifs de SADT :

- Obtention d'un modèle du système "descendant, Modulaire, Hiérarchise, structure".
- Planification ou de compréhension d'étude du mode de fonctionnement d'une structure d'organisation.

- Formaliser l'état du système étude et en faire ressortir les points critiques, notamment la complexité de sa structure.
- Analyse de cohérence entre le modèle fonctionnel et le modèle de conception.
- Documenter l'analyse de système : la chronologie de son étude, les décisions, et les résultats.
- Travailler en équipe disciplinée et coordonnée.
- Contrôler la qualité des projets.

III.1.6. Les concepts fondamentaux de SADT :

III.1.6.1. Modéliser pour comprendre :

SADT aborde un système en le modélisant, afin d'obtenir un enchaînement d'action et de données moins complexes que celle de départ c'est en quelque sorte la vue éclatée du système plusieurs modèles SADT peuvent s'avérer nécessaires surtout s'ils expriment des points de vue différents.

A. Discipliner la démarche d'analyse : Le principe d'une décomposition descendant est à la plupart des méthodes structurées. SADT est une méthode qui analyse le système de manière imposée : descendante – modulaire hiérarchique.

- Les boîtes numérotées représentent la décomposition en modules (sous systèmes).
- Les flèches représentent les relations entre module.
- Le système peut être décomposé et étudié à tout niveau, de détail.

B. séparer le quoi du comment : Spécifier un système consiste à séparer les trois niveaux d'abstractions que sont:

- Niveau conceptuel (le quoi et le comment).
- Niveau organisationnel (le qui, le ou et le quand).
- Niveau opérationnel (le comment).

C. Modéliser la réalité : Le mode qui nous entoure, ou de moins le modèle que nous en avons, est composé d'objets (données) et d'actions (activités) : c'est d'ailleurs pour cette raison que les langages naturels sont formés de noms et de verbe une technique qui ne mettrait l'accent que sur des deux aspects ne représenterait que partiellement la réalité.

Avec SADT, les aspects "données" et "activités" d'un projet sont toujours examinés ensemble ainsi, SADT demande la création de deux diagrammes.

- Celui des activités représenté par des boîtes manipulant des données véhiculées sur des flèches (ACTIGRAME) (**Figure .II.5**).

- Celui des données, également représenté par des boites ou les flèches montent, cette fois, les ACTIVITES qui créent et utilisent les données (DATAGRAME) (Fig.II.6)

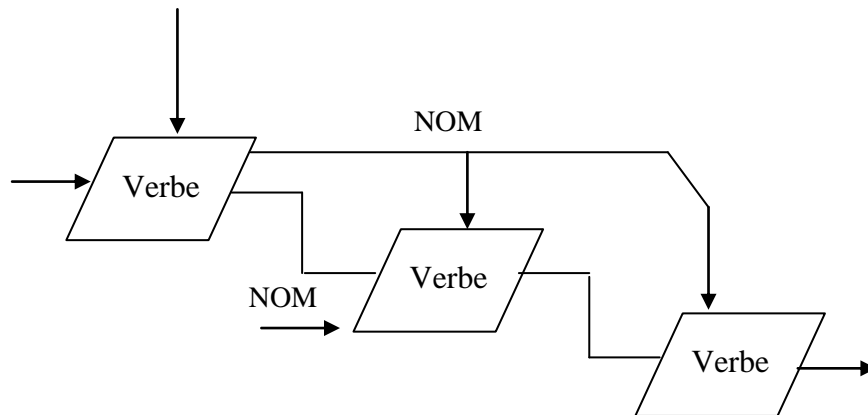


Fig. II.5. Actigramme (Décomposition des activités).

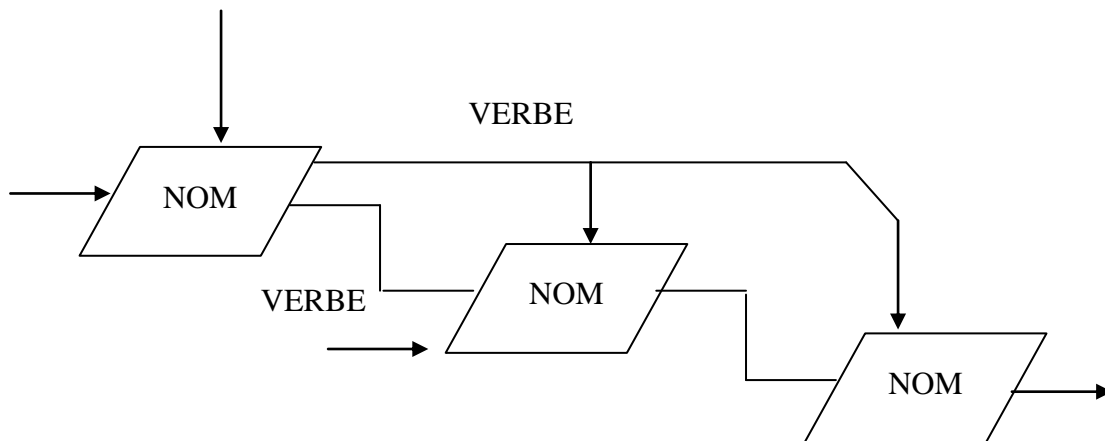


Fig. II.6. Datagramme (Décomposition des données).

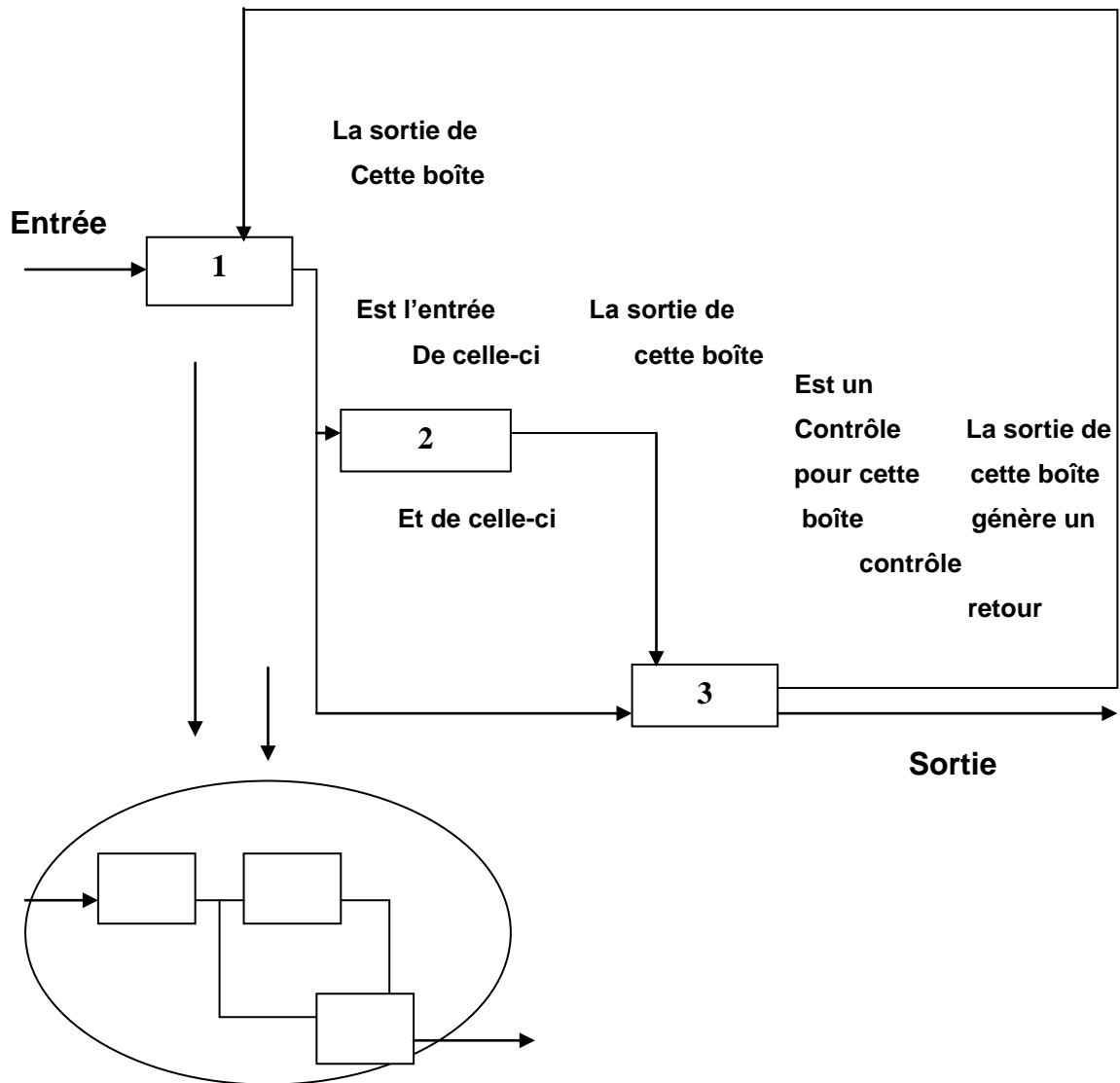
D. Formaliser de manière graphique : Pour tirer profit des avantages d'une analyse structurées il est impératif d'employer une représentation graphique, les modèles SADT sont basés sur des principes de représentation graphique d'estimés à :

- Exposer les détails de façon progressive et contrôlée.
- Encourager la concision et la précision
- An centrer l'attention sur les interfaces des modules.
- Fournir un vocabulaire (SADT) un langage pour communiquer des idées "puissant d'analyse".

E. travailler en équipe : Le modèle SADT est produit pour communiquer mais également pour être diffusé, il n'a d'ailleurs de sens et d'existence que parce qu'il est mis en jeu par l'équipe SADT (cycle auteur- lecteur).

Un diagramme SADT, pour chaque niveau hiérarchique est constitué de 3 à 6 boîtes pour que la représentation soit suffisamment détaillée sans être trop complexe.

La figure (II.7.) représente l'enchaînement des boîtes avec leurs relations entre les entrées, les sorties et les contrôles. Elle donne également un aperçu de la décomposition du bloc 1 à l'aide d'un diagramme de niveau hiérarchique inférieur.



Détail du bloc1

Fig. II.7. Diagramme type SADT avec détail sur le niveau inférieur. [8]

III.1.7. Particularités de la méthode :**III.1.7.1. Avantages :**

- Obtention d'un modèle du système : descendant - hiérarchie - structuré.
- Description sans ambiguïté.
- Validation du modèle par des règles :
 - Cohérente entrée/sortie (e/s) d'un niveau "n" avec (e/s) d'un niveau (n+1).
 - Cohérente des contrôles et mécanismes d'un niveau "n" avec celui de (n+1).

III.1.7.2. Inconvénients :

- Méthode lourde dans sa réalisation.
- Méthode coûteuse pour la formulation.
- Rigidité du formalisme.
- Rigueur de l'application du cycle auteur- lecteur.
- Absence des règles pour la décomposition des processus.

B. Analyse dysfonctionnelle :

L'analyse dysfonctionnelle des systèmes consiste à identifier les conditions qui peuvent conduire à des défaillances et de savoir leurs conséquences sur la sûreté de fonctionnement des systèmes en cours de conception ou déjà opérationnels. [8]

III.2. Analyse des modes de défaillances et leurs effets AMDE: [9]**III.2.1. Principe :**

L'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets repose notamment sur les concepts de :

- **Défaillance**, soit la cessation de l'aptitude d'un élément ou d'un système à accomplir une fonction requise,
- **Mode de défaillance**, soit l'effet par lequel une défaillance est observée sur un élément du système,
- **Cause de défaillance**, soit les événements qui conduisent aux modes de défaillances,
- **Effet d'un mode de défaillance**, soit les conséquences associées à la perte de l'aptitude d'un élément à remplir une fonction requise.

En pratique, il est souvent difficile de bien distinguer ces différentes notions. La maîtrise de ce vocabulaire est néanmoins primordiale pour une bonne utilisation de cet outil. Pour illustrer ces différents concepts, prenons l'exemple d'une pompe. Dans des conditions

normales d'exploitation, la fonction de cette pompe est sera définie comme son aptitude à fournir un débit donné à sa sortie. Si le débit en sortie de pompe est nul, nettement inférieur ou supérieur à ce débit défini, la pompe sera dite « défailante ».

Si, en cours d'exploitation, la pompe s'arrête de façon non désirée, on assistera bien à une défaillance de la pompe. Le fait que la pompe s'arrête constitue donc un effet par lequel une défaillance est observée ; il s'agit d'un mode de défaillance.

L'AMDE est une méthode inductive d'analyse qui permet :

- D'évaluer les effets et la séquence d'évènements provoqués par chaque mode de défaillance des composants d'un système sur les diverses fonctions de ce système,
- déterminer l'importance de chaque mode de défaillance sur le fonctionnement normal du système et en évaluer l'impact sur la fiabilité, la sécurité du système considéré,
- hiérarchiser les modes de défaillances connus suivant la facilité que l'on a à les détecter et les traiter.

Lorsqu'il est nécessaire d'évaluer la criticité d'une défaillance (probabilité et gravité), l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) apparaît comme une suite logique à l'AMDE. L'AMDEC reprend en effet les principales étapes de l'AMDE et y ajoute une évaluation semi-quantitative de la criticité. [9]

III.2.2. Déroulement :

De manière très schématique, une AMDEC se déroule sous la forme suivante :

- 1) Dans un premier temps, **choisir un élément ou composant** du système.
- 2) **Retenir un état de fonctionnement** (fonctionnement normal, arrêt...)
- 3) Pour cet élément ou composant et pour cet état, **retenir un premier mode de défaillance**.
- 4) Identifier les **causes** de ce mode de défaillance ainsi que ces **conséquences** tant au niveau du voisinage du composant que sur tout le système.
- 5) Examiner les **moyens** permettant de **détecter** le mode de défaillance d'une part, et ceux prévus pour en **prévenir l'occurrence** ou en **limiter les effets**.
- 6) Procéder à **l'évaluation de la criticité** de ce mode de défaillance en termes de **probabilité et de gravité**.
- 7) Prévoir des **mesures ou moyens supplémentaires** si l'évaluation du risque en montre la nécessité.
- 8) Vérifier que le couple (P,G) peut être jugé comme acceptable.
- 9) Envisager un **nouveau mode de défaillance** et reprendre l'analyse au point (4).

10) Lorsque tous les modes de défaillances ont été examinés, **envisager un nouvel état de fonctionnement** et reprendre l'analyse au point (3)

11) Lorsque tous les états de fonctionnement ont été considérés, choisir **un nouvel élément ou composant** du système et reprendre l'analyse au point (2).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Equipement Repère	Fonctions, états	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effet local	Effet final	Moyen de détection	Dispositifs de remplacement	P	G	remarques

Tableau .II.2. : Exemple d'un tableau de type AMDEC. [9]

III.2.2.1. Equipement (Colonne 1) :

Concrètement, il s'agit de passer en revue chaque équipement ou composant identifié lors de la description fonctionnelle. Il est généralement utile de repérer l'équipement considéré à partir des données fournies dans des diagrammes ou autres plans.

III.2.2.2. Fonctions et états (Colonne 2) :

Pour chacun des équipements, il s'agit de lister ses fonctions et états de fonctionnements. Ces fonctions et états sont normalement identifiés au cours de la description fonctionnelle. Afin de mener l'analyse de la manière la plus complète possible, il est indispensable de considérer l'ensemble des états susceptibles de survenir au cours de l'exploitation (ex. fonctionnement normal, arrêt, démarrage, stand-by...)

III.2.2.3. Modes de défaillance (Colonne 3)

Pour chaque équipement et en fonction de l'état de fonctionnement, le groupe de travail doit envisager de manière systématique les modes de défaillances possibles (Colonne 3).

La définition des modes possibles de défaillance pour un équipement peut être réalisée à partir du retour d'expérience associé à l'exploitation d'équipements similaires, de tests ou essais...

Par ailleurs, les modes de défaillance considérés devront tenir compte :

- Des utilisations du système,
- Des caractéristiques de l'équipement considéré,
- Du mode de fonctionnement,
- Des spécifications relatives au fonctionnement,

3 Ce tableau est globalement cohérent avec celui proposée dans la norme CEI-60812. La colonne grisée constitue un ajout visant à caractériser la gravité a priori du mode de défaillance considérée.

- Des délais fixés,
- De l'environnement.

1	Fonction prématurée
2	Ne fonction pas au moment prévu
3	Ne s'arrête pas au moment prévu
4	Défaillance en fonctionnement

Tableau II.3. : Modes de défaillance généraux. [9]

De plus, cette même norme propose une liste-guide de modes de défaillance génériques, qui permet d'aider le groupe de travail dans l'analyse. Cette liste est reprise ci-après. Elle présente une série de modes de défaillance génériques pouvant s'appliquer en théorie à tous les cas de figure envisageables. Néanmoins, elle pourra être utilement complétée en vue de tenir compte des spécificités du système étudié.

1	Défaillance structurelle (rupture)	18	Mise en marche erronée
2	Blocage physique ou coincement	19	Ne s'arrête pas
3	Vibrations	20	Ne démarre pas
4	Ne reste pas en position	21	Ne commute pas
5	Ne s'ouvre pas	22	Fonctionnement prématuré
6	Ne se ferme pas	23	Fonctionnement après le délai prévu (retard)
7	Défaillance en position ouverte	24	Entrée erronée (augmentation)
8	Défaillance en position fermée	25	Entrée erronée (diminution)
9	Fuite interne	26	Sortie erronée (augmentation)
10	Fuite externe	27	Sortie erronée (diminution)
11	Dépasse la limite supérieure tolérée	28	Perte de l'entrée
12	Est en dessous de la limite inférieure tolérée	29	Perte de la sortie
13	Fonctionnement intempestif	30	Court-circuit (électrique)
14	Fonctionnement intermittent	31	Circuit ouvert (électrique)
15	Fonctionnement irrégulier	32	Fuite (électrique)
16	Indication erronée	33	Autres conditions de défaillance exceptionnelles suivant les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnements et les contraintes opérationnelles
17	Ecoulement réduit		

Tableau II.4. : Modes de défaillance génériques. [9]

III.2.2.4. Causes de défaillance (Colonne 4) :

Pour chaque mode de défaillance, le groupe de travail doit ensuite identifier les causes potentielles conduisant à ce mode de défaillance. Un mode de défaillance peut résulter de plusieurs causes, qu'il convient donc d'inventorier et de numéroter pour plus de facilité. La liste présentée dans le Tableau 3 précédent permet également de préciser des causes de défaillance dans la mesure où ces causes peuvent parfois s'apparenter à des modes de défaillance.

III.2.2.5. Effets de la défaillance (Colonnes 5 et 6)

De la même façon que le groupe de travail s'est attaché à identifier les causes potentielles de défaillance, il doit examiner les conséquences de cette défaillance, au niveau du composant lui-même tout d'abord (colonne 5) puis au niveau du système global (colonne 6).

III.2.2.6. Moyens de détection (Colonne 7)

Pour le mode de défaillance envisagé, le groupe de travail examine et consigne ensuite les moyens prévus pour détecter ce mode de défaillance.

III.2.2.7. Dispositifs de remplacement (Colonne 8)

Toutes les dispositions prises, par exemple au niveau de la conception de l'installation, en vue de prévenir ou atténuer l'effet du mode de défaillance doivent alors être examinées. Cette étape, dont les résultats sont consignés en colonne 8, vise d'une certaine façon à caractériser le comportement du système lorsqu'un de ces composants est affecté par un mode de défaillance.

III.2.2.8. Evaluation de la criticité (Colonnes 9 et 10)

Les colonnes 9 et 10 permettent de consigner les évaluations réalisées par le groupe de travail de la probabilité du mode de défaillance (P) et de la gravité associée à ses conséquences (G). Cette approche permet de mesurer l'influence des barrières de sécurité mises en place et de juger de la pertinence d'envisager de nouvelles barrières au regard du risque présenté.

En pratique, il est parfois difficile de disposer de données précises et fiables pour procéder de manière fine à cette évaluation. Rappelons que les échelles de gravité et probabilité quels que soient les formats finalement retenus, doivent être présentées et acceptées en début d'analyse.

III.2.3. Limites et avantages :

L'AMDEC s'avère très efficace lorsqu'elle est mise en oeuvre pour l'analyse de défaillances simples d'éléments conduisant à la défaillance globale du système. De par son caractère systématique et sa maille d'étude généralement fine, elle constitue un outil précieux pour l'identification de défaillances potentielles et les moyens d'en limiter les effets ou d'en prévenir l'occurrence. Comme elle consiste à examiner chaque mode de défaillance, ses causes et ses effets pour les différents états de fonctionnement du système, l'AMDEC permettent d'identifier les modes communs de défaillances pouvant affecter le système étudié. Les modes communs de défaillances correspondent à des événements qui de par leur nature ou la dépendance de certains composants, provoquent simultanément des états de panne sur plusieurs composants du système. Les pertes d'utilités ou des agressions externes majeurs constituent généralement des modes communs de défaillance.

III.3. Arbre des défaillances (ou des causes) "AdD" :

Elle offre un cadre privilégié à l'analyse déductive qui consiste à rechercher les diverses combinaisons possibles d'événements conduisant à la réalisation d'un événement indésirable, et permet de représenter simplement ces combinaisons sous forme graphique au moyen d'une structure arborescente de portes logiques. [10]

III.3.1. Elaboration de l'arbre :

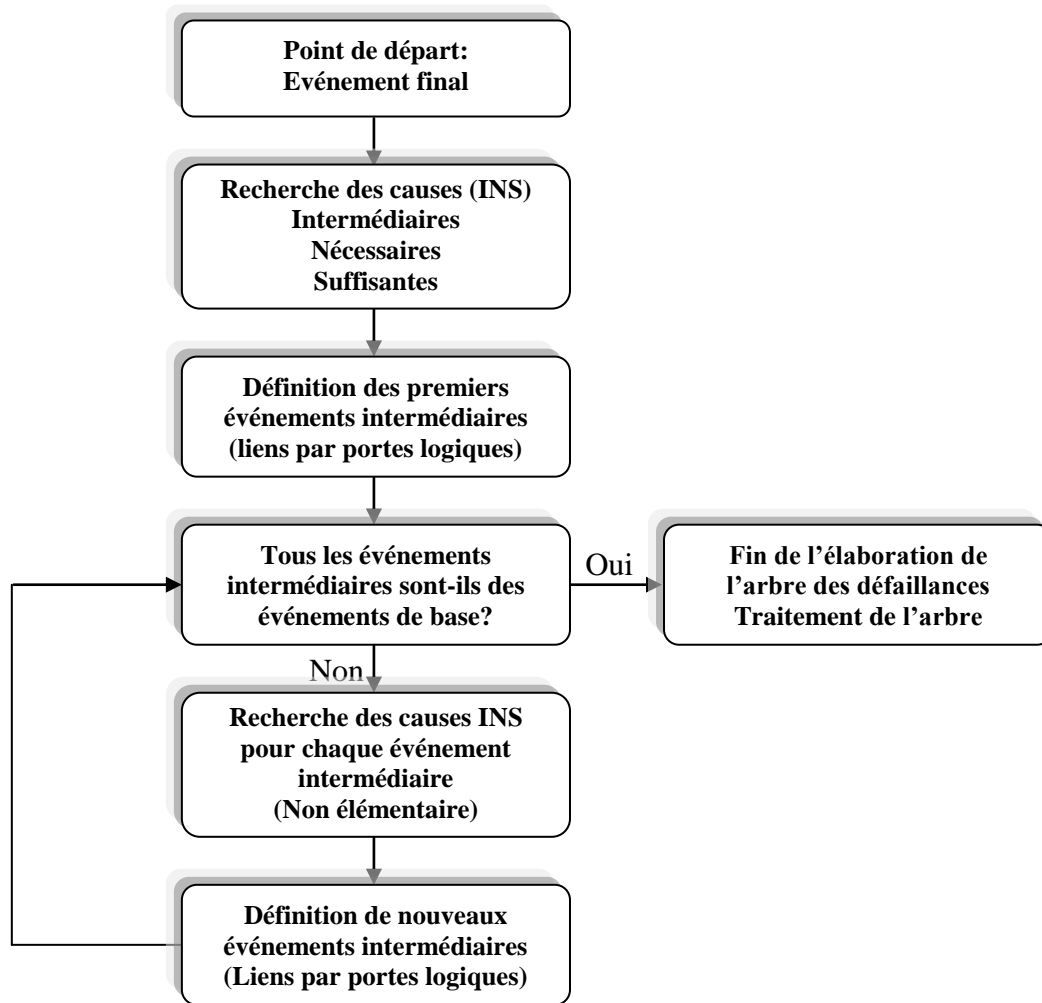


Fig. II.8. Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances.[10]

La construction de l'arbre des défaillances vise à déterminer les enchaînements d'évènements pouvant conduire à l'évènement final retenu. Cette analyse se termine lorsque toutes les causes potentielles correspondent à des évènements élémentaires. L'élaboration de l'arbre des défaillances suit le déroulement suivant : La recherche systématique des causes immédiates, nécessaires et suffisantes est donc à la base de la construction de l'arbre. Il s'agit probablement de l'étape la plus délicate et il est souvent utile de procéder à cette construction au sein d'un groupe de travail pluridisciplinaire. De plus, la mise en œuvre préalable d'autres méthodes d'analyse des risques de type inductif facilite grandement la recherche des

défaillances pour l'élaboration de l'arbre. Afin de sélectionner les événements intermédiaires, il est indispensable de procéder pas à pas en prenant garde à bien identifier les causes directes et immédiates de l'événement considéré et se poser la question de savoir si ces causes sont bien nécessaires et suffisantes. Faute de quoi, l'arbre obtenu pourra être partiellement incomplet voire erroné. Enfin, il est nécessaire de respecter certaines règles supplémentaires à observer durant la construction de l'arbre à savoir:

Vérifier que le système est cohérent, c'est-à-dire que :

- La défaillance de tous ses composants entraîne la défaillance du système,
- Le bon fonctionnement de tous ses composants entraîne le bon fonctionnement du système.
- Lorsque le système est en panne, le fait de considérer une nouvelle défaillance ne rétablit pas le fonctionnement du système.
- Lorsque le système fonctionne correctement, la suppression d'une défaillance ne provoque pas la défaillance du système.

Il peut en effet arriver qu'une défaillance survenant sur un composant annule les effets d'une défaillance antérieure et permet ainsi le fonctionnement du système. Dans un tel cas de figure (système non cohérent), le deuxième composant doit être supposé, dans l'analyse, en fonctionnement lorsque la première défaillance survient.

- S'assurer que tous les événements d'entrée d'une porte logique ont bien été identifiés avant d'analyser leurs causes respectives,
- Éviter de connecter directement deux portes logiques,
- Ne sélectionner que les causes antérieures à l'existence de l'événement considéré.

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

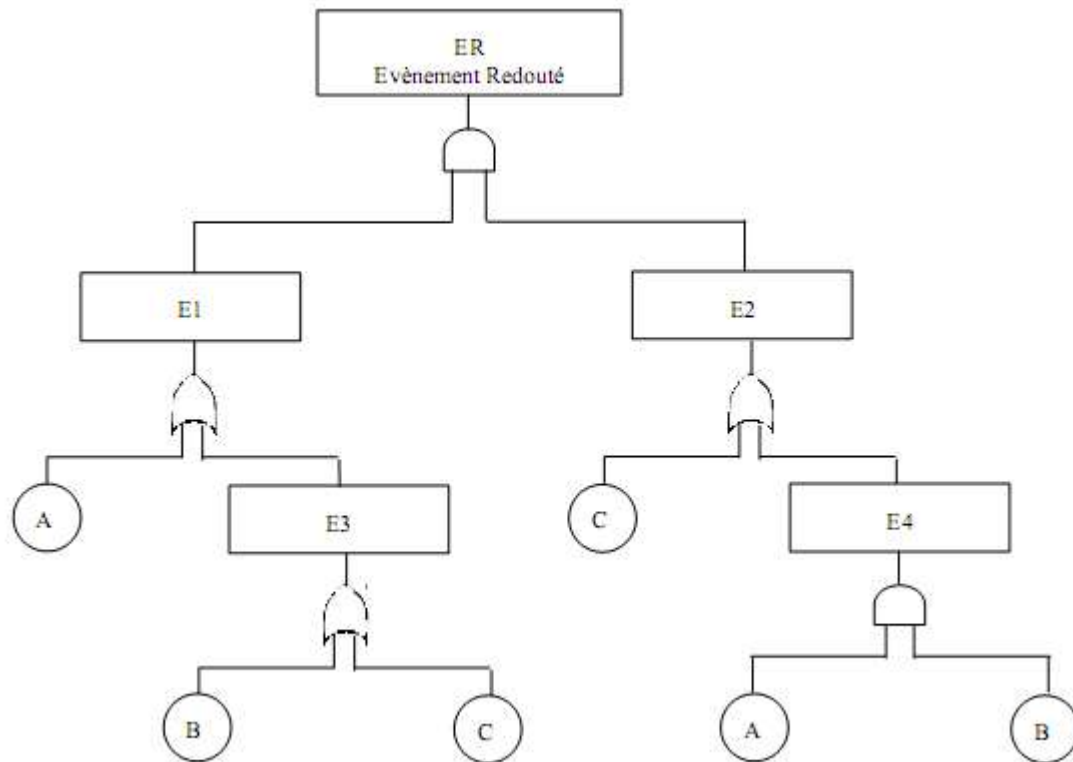


Fig. II.9. Exemple d'arbre des défaillances (VILLEMEUR, 1988) [10]

III.3.2. Exploitation de l'arbre :

Il suivre les trois étapes suivantes:

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

Propriétés	produit	somme
commutativité	$A.B = B.A$	$A+B = B+A$
Idempotence	$A.A = A$	$A+A = A$
adsorption	$A. (A+B)=A$	$A+A.B =A$
associativité	$A. (B+C) = (A.B). C$	$A+ (B+C) = (A+B) + C$
distributivité	$A. (B+C) = A.B+A.C$	$A+B.C = (A+B). (A+C)$

Tableau II.5. : Coupes minimales, réduction de l'arbre

Ainsi, dans l'exemple précédent, la recherche des coupes minimales peut s'effectuer comme suit : $ER = E1. E2. E1 = A +E3$ avec $E3 = B + C$ $E2 = C + E4$ avec $E4 = A . B$ Au total, nous avons donc : $ER = (A+B+C). (C+A.B) = A.C + A.B + B.C + A.B + C +C.A.B$ Or, $A.C + C =C$ et $A.B+A.B.C = A.B$ (par absorption) $ER = C + A.B + B.C + A.B$ De plus, $A.B + A.B = AB$ (Idempotence) et $C + B.C = C$ (Absorption) D'où $ER = C + A.B$ Ainsi, l'évènement C seul ou la combinaison des évènements A.B conduisent à l'évènement redouté. Il n'existe pas de combinaison plus petite conduisant à cet évènement. 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'évènements 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.

L'arbre représentant ces coupes minimales est appelé « arbre réduit ». Pour l'exemple considéré dans la Figure 7, l'arbre réduit est le suivant :

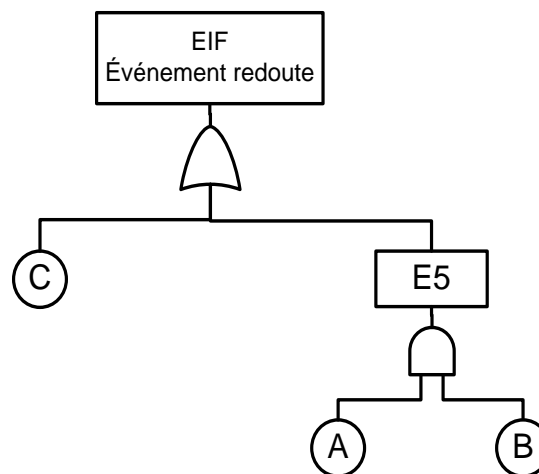


Fig. II.10. Réduction de l'arbre des défaillances pris en exemple

La recherche des coupes minimales peut s'avérer fastidieuse pour des arbres de taille importante. Certains outils informatiques permettent heureusement d'automatiser cette démarche. Ces outils démontrent toute leur utilité pour la réduction d'arbres complexes. Leur utilisation ne doit cependant pas faire oublier que la définition précise de l'événement final constitue la première étape en vue de limiter la complexité de l'arbre des défaillances.

B. Exploitation qualitative de l'arbre des défaillances :

L'exploitation qualitative de l'arbre vise à examiner dans quelle proportion une défaillance correspondant à un événement de base peut se propager dans l'enchaînement des causes jusqu'à l'événement final. Pour cela, tous les événements de base sont supposés équiprobables et on étudie le cheminement à travers les portes logiques d'événement ou de combinaisons d'événements jusqu'à l'événement final.

C. Exploitation quantitative de l'arbre de défaillances :

L'exploitation quantitative de l'arbre des défaillances vise à estimer, à partir des probabilités d'occurrence des événements de base, la probabilité d'occurrence de l'événement final ainsi que des événements intermédiaires. Il ne s'agit pas d'une démarche qui permet d'accéder avec exactitude à la probabilité de chaque événement. Elle doit être mise en œuvre dans l'optique de hiérarchiser les différentes causes possibles et de concentrer les efforts en matière de prévention sur les causes les plus vraisemblables. En pratique, il est souvent difficile d'obtenir des valeurs précises de probabilités des événements de base. En vue de les estimer, il est possible de faire appel à :

- Des bases de données.
- Des jugements d'experts.
- Des essais lorsque cela est possible.
- Au retour d'expérience sur l'installation ou des installations analogues.

À partir des probabilités des événements de base, il s'agit de remonter dans l'arbre des défaillances en appliquant les règles suivantes.

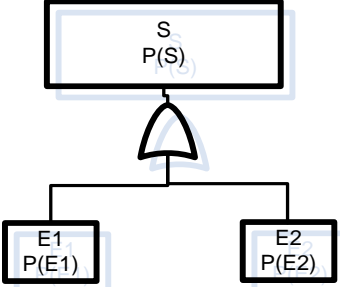
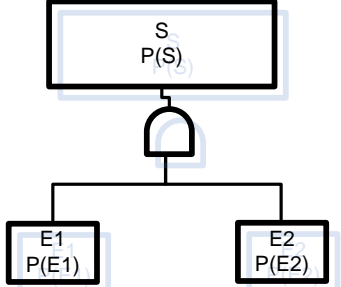
Porte « OU »	Porte « ET »
	
<p>$P(s) = P(E1) + P(E2) - P(E1).P(E2).$ (THÉOREME DE POINCARRE)</p> <p>Lorsque la probabilité des événements de base est faible, il est possible de négliger le double produit $P(E1).P(E2)$ et de considérer :</p> <p>$P(s) = P(E1) + P(E2).$</p>	<p>$P(s) = P(E1).P(E2).$</p>

Tableau II.6. : Exploitation quantitative de l'arbre de défaillances

Cette exploitation quantitative de l'arbre, au même titre que son exploitation qualitative, ne peut être effectuée qu'à partir d'un arbre réduit. Par ailleurs, notons, que pour des éléments de base de faible probabilité, la probabilité de l'événement final est sensiblement égale à la somme des probabilités affectées aux coupes minimales. Dans l'exemple précédent, nous avons donc : $P(EF) = P(C + A.B) = P(C) + P(A).P(B) - P(A).P(B).P(C)$ (théorème de POINCARRE) d'où $P(EF) = P(C) + P(A).P(B)$ Les logiciels informatiques développés depuis une dizaine d'années permettent de déterminer automatiquement les probabilités tout au long de l'arbre.

III.4. Arbre des événements :

III.4.1. Principe:

L'analyse par arbre des défaillances, comme nous l'avons vu précédemment, vise à déterminer, dans une démarche déductive, les causes d'un événement indésirable ou redouté retenu a priori. A l'inverse, l'analyse par arbre d'évènements suppose la défaillance d'un composant ou d'une partie du système et s'attache à déterminer les évènements qui en découlent. A partir d'un événement initiateur ou d'une défaillance d'origine, l'analyse par

arbre d'évènements permet donc d'estimer la dérive du système en envisageant **de manière systématique** le fonctionnement ou la défaillance des dispositifs de détection, d'alarme, de prévention, de protection ou d'intervention. Ces dispositifs peuvent concerner aussi bien des moyens automatiques qu'humains (intervention des opérateurs) ou organisationnels (application de procédures).

III.4.2. Déroulement de la méthode:

La démarche généralement retenue pour réaliser une analyse par arbre d'évènements est la suivante :

- Définir l'évènement initiateur à considérer,
- Identifier les fonctions de sécurité prévues pour y faire face,
- Construire l'arbre,
- Décrire et exploiter les séquences d'évènements identifiées.

Les paragraphes suivants décrivent ces différentes étapes en suivant un exemple inspiré de l'ouvrage « Guidelines for Hazard Evaluation Procedures », cité en références.

III.4.2.1 Identification des fonctions de sécurité:

Les fonctions de sécurité doivent être assurées par des barrières en réponse à l'évènement initiateur. Elles ont en général pour objectif d'empêcher, dans la mesure du possible, que l'évènement initiateur soit à l'origine d'un accident majeur. Elles se déclinent le plus souvent en :

- Fonctions de détection de l'évènement initiateur,
- Fonctions d'alarme signifiant l'occurrence de l'évènement initiateur,
- Fonctions de limitation visant à empêcher que l'évènement initiateur ne perdure dans le temps,
- Fonction d'atténuation s'attachant à réduire les effets de l'évènement initiateur.

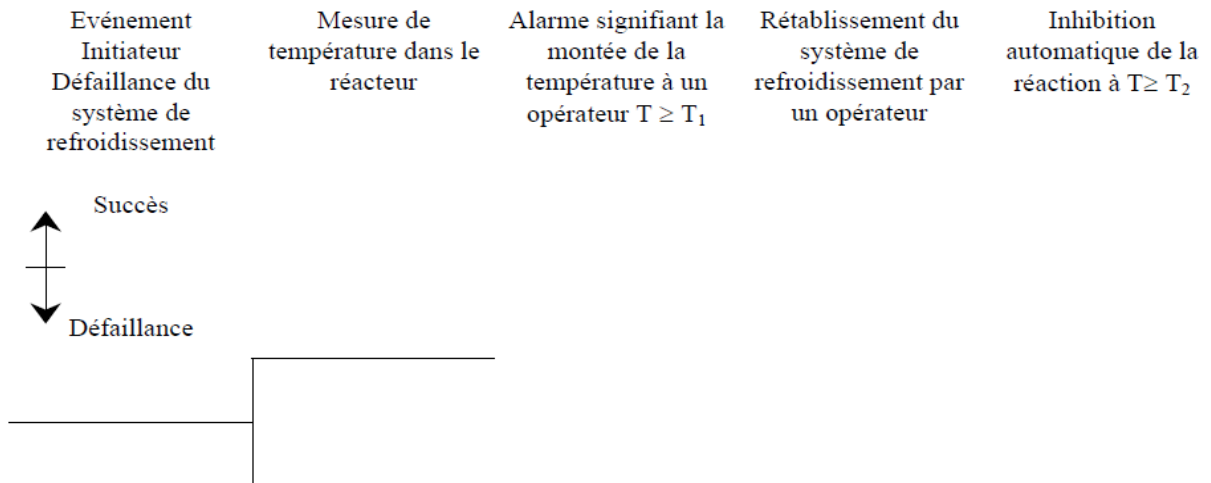
En conclusion de cette seconde étape, il est judicieux de dresser un tableau chronologique des fonctions de sécurité faisant figurer entre autres les systèmes ou équipements prévus pour assurer ces fonctions.

<i>Fonctions</i>	<i>Mesure de la température dans le réacteur</i>	<i>Alarme</i>	<i>Rétablissement du système de réfrigération par un opérateur</i>	<i>Arrêt de la réaction</i>
Dispositifs assurant la fonction	Sonde de température dans le réacteur	Signaux sonores et lumineux aux postes de travail	Opérateur selon une procédure	Introduction automatique d'un inhibiteur de la réaction
Paramètre ou Information déclenchant la fonction	Permanent	$T \geq T_1$	Alarme	$T \geq T_2$
Délai	Continu	1 mn	Si possible, estimé à 5 mn	Estimé à 10 mn (De T_1 à T_2)

Nota : Dans cet exemple, il sera supposé que la même sonde fournit les informations de température pour l'alarme et le déclenchement automatique de l'inhibition de la réaction.

III.4.2.2. Construction de l'arbre:

La construction de l'arbre consiste alors à partir de l'événement indésirable à envisager soit le bon fonctionnement soit la défaillance de la première fonction de sécurité. L'événement initiateur est représenté schématiquement par un trait horizontal. Le moment où doit survenir la première fonction de sécurité est représentée par un nœud. La branche supérieure correspond généralement au succès de la fonction de sécurité, la branche inférieure à la défaillance de cette fonction.



La suite de la méthode consiste alors à examiner le développement de chaque branche de manière itérative en considérant systématiquement le fonctionnement ou la défaillance de la fonction de sécurité suivante. Cette démarche temporelle permet d'identifier des séquences d'évènements susceptibles de conduire ou non à un accident potentiel. Elle n'est cependant

généralement pas suffisante en vue de construire un arbre. Il est ainsi indispensable durant la construction de l'arbre d'observer les points suivants :

- Si une fonction dépend d'autres fonctions, elle doit être considérée après ces fonctions,
- Dans le même ordre d'idée, si l'échec d'une fonction implique automatiquement l'échec d'autres fonctions, le succès de ces dernières n'est pas à considérer. Ainsi, dans notre exemple, si la sonde de température est défaillante, il n'y a pas lieu d'étudier le fonctionnement de l'alarme ou le déclenchement automatique de l'inhibition de la réaction,
- Si le succès d'une fonction agit sur le paramètre déclenchant d'autres fonctions ultérieures, le succès ou la défaillance de cette fonction ne doivent pas être envisagés dans le développement de cette branche. Ainsi, si l'opérateur parvient à rétablir le système de refroidissement avant que la température dans le réacteur ne dépasse T_2 , il n'y a pas lieu de considérer l'inhibition automatique de la réaction,
- Si la défaillance d'un sous-système entraîne la défaillance commune de plusieurs systèmes assurant des fonctions de sécurité, Ce sous-système doit être considéré avant ces systèmes. Ce cas de figure envisage ainsi **les modes communs de défaillances**.

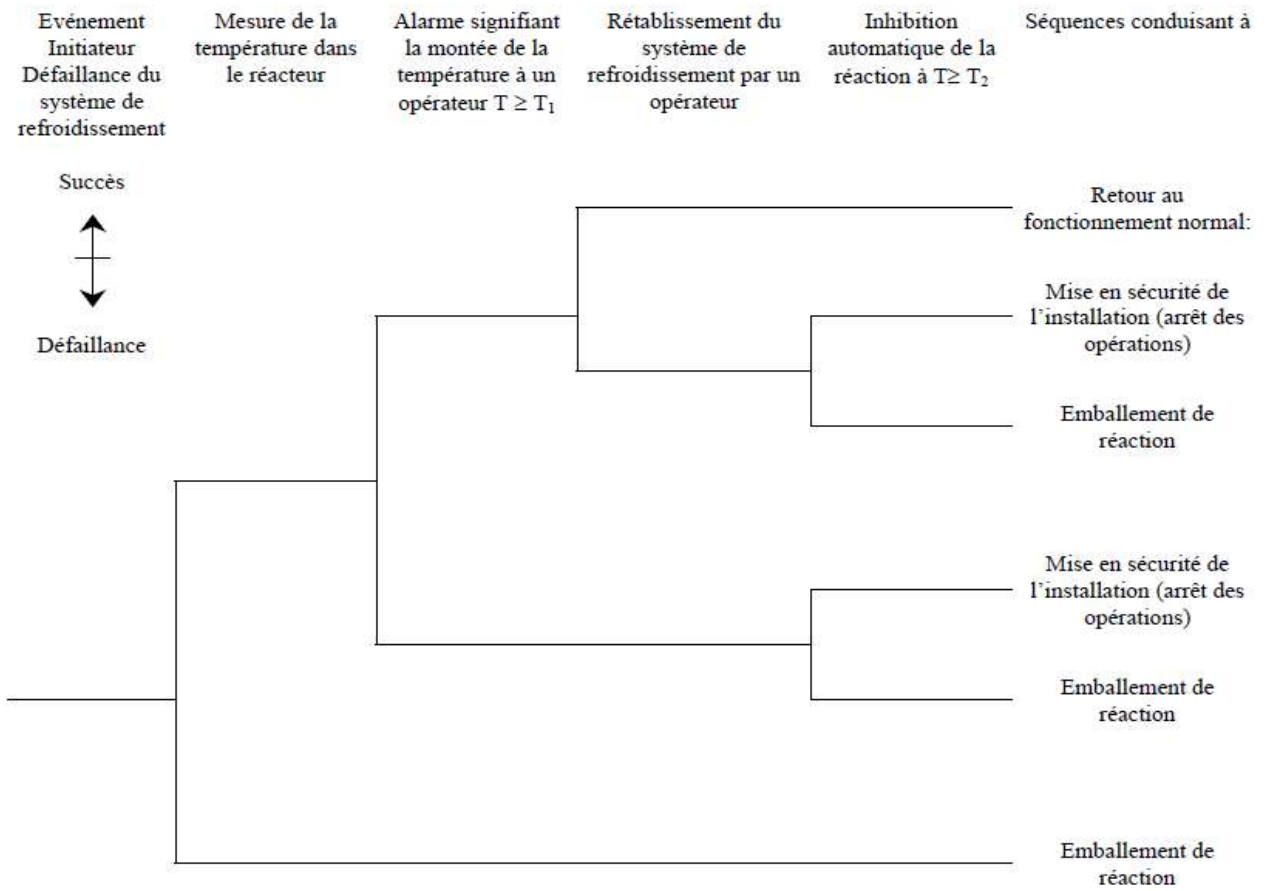


Fig. II.11. Exemple d'arbre d'évènements réduit. [9]

IV. Conclusion :

Cette partie a été consacrée à la présentation des méthodes d'analyse choisies pour notre étude, et leurs mises en application au niveau d'un site industriel (système anti-éruption) se feront dans le chapitre qui va suivre.

CHAPITRE III

PRESENTATION DE L'UNITE ET
DESCRIPTION SUR LE FORAGE

I. Introduction :

Avant d'entamer notre étude, une présentation de l'entreprise et description générale concernant le forage est indispensable. L'objectif de ce chapitre est de donner le maximum d'informations sur l'entreprise dans une première partie, sur les différents types de forage (forage par battage, forage horizontal et forage rotary), ainsi que sur les différentes opérations, et dans une seconde partie donner une présentation du système anti-éruption.

II. Présentation de l'entreprise ENTP :

II.1. Historique :

En 1963 la première société nationale spécialisée dans les hydrocarbures a été créée. La SONATRACH était structurée en plusieurs filières : D.T.P.D.R.P ... etc.

L'année 1981, est l'année durant laquelle la SONATRACH fut restructurée pour la première fois cette restructuration a donné lieu à la création de plusieurs entreprises parmi les quelles figure l'entreprise nationale des travaux de puits ENTP.

II.2. Ressources humaines :

L'ENTP est classée comme une grande entreprise, plus de 50% de l'effectif du personnel de l'entreprise est affectée dans les travaux de forage et la work-over (nettoyage des puits).

II.3. Organisation de l'entreprise :

Pour mieux gérer les travaux du forage est assurer la logistique et la maintenance des outils de productions l'E.N.T.P est structurée selon plusieurs divisions (exp. Division forage, division de transports.) Et directions (exp. Direction engineering, direction ressources humaines etc...). (Voir annexe. I).

III. Les équipements de forage :

Un système de forage rotary classique se compose principalement de :

III.1. Un système de production d'énergie :

L'énergie est produite par des moteurs diesels, puis elle est acheminée sous forme électrique ou mécanique vers les différents systèmes de l'installation : pompe à boue, treuil et

table de rotation. Le coût énergétique est un facteur essentiel dans l'évaluation du coût globale de forage ; il s'avère donc impératif de bien l'estimer et de le réduire au maximum tout en garantissant le succès de l'opération de forage [12].

III.2. Un appareil de levage :

Cet appareil est constitué d'un derrick, d'un crochet, et d'un treuil. Elle permet d'effectuer les manœuvres de tiges (remonté du puits ou descente) et la complétion, mais aussi de contrôler le poids appliqué sur l'outil [1].

III.3. Système de rotation :

Il est constitué d'une table de rotation, d'une tige d'entraînement à section carré (Kelly) ainsi que d'une tête d'injection qui peut être motorisée (top drive) [12].

III.4. Un système hydraulique :

Ce système se compose d'un ensemble de bacs à boue, de pompes à boue ainsi que d'un système de traitement de la boue [12].

III.5. Une garniture de forage :

Le terme garniture de forage désigne toute la partie du système à l'intérieur du trou de forage. Se compose de bas en haut, les éléments suivants :

III.5.1. Un outil de forage :

Extrémité basse de la garniture, l'outil est entraîné en rotation et permet la progression de la garniture par son action directe sur le front de taille on distingue deux types d'outils, à molettes (tricônes) et monoblocs (diamant, PDC) [12].

Lorsqu'on dit le fluide de forage on parlera donc sur la boue cette dernière à des caractéristiques et un rôle très important pour le forage [12].

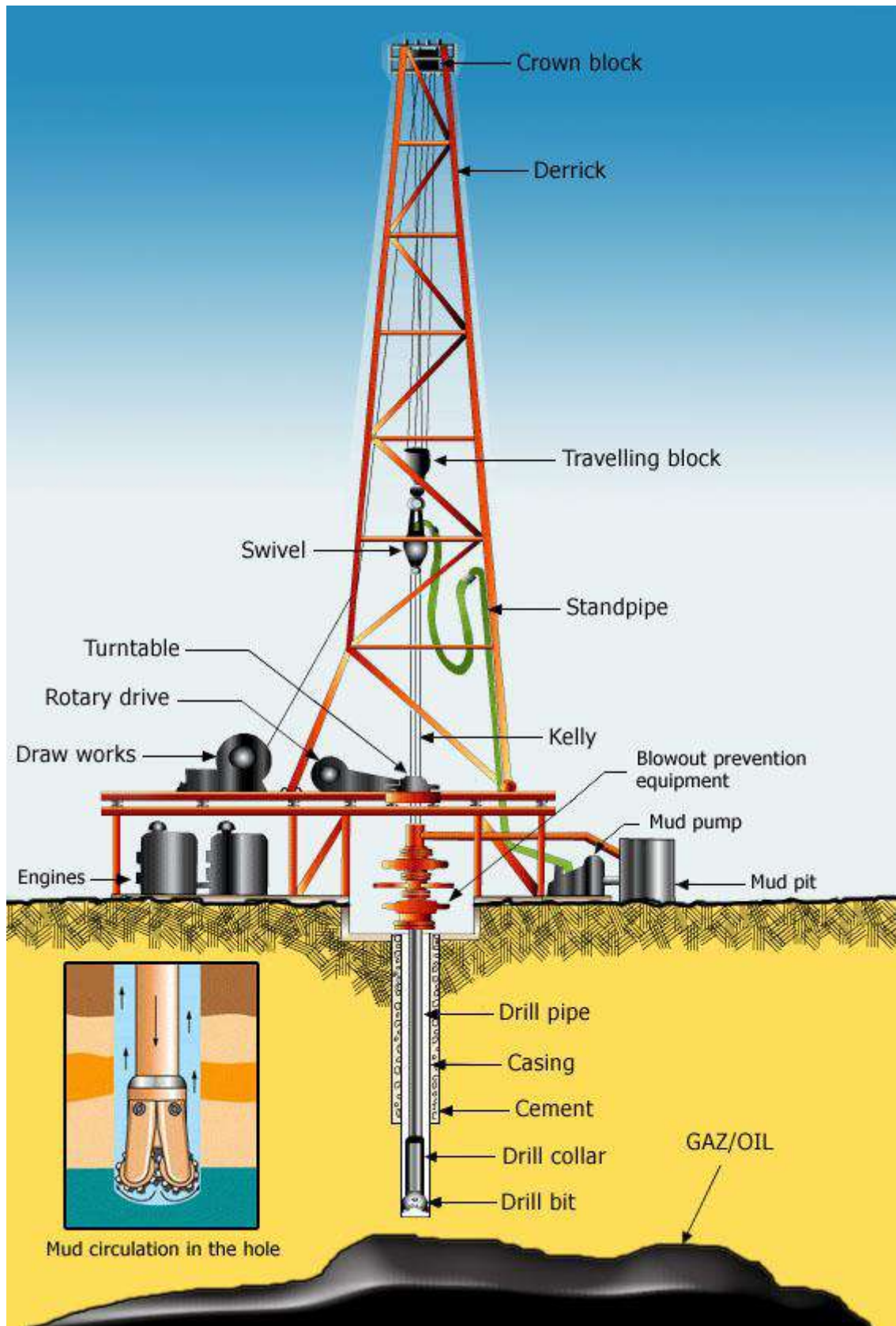


Fig.III.1. système de forage classique. [13].

IV. Définition de la boue de forage :

La boue que l'on appelle **mud-cake**. Ce mud-cake finit par empêcher toute circulation de fluide entre le trou de forage et la formation [14].

Une boue ne peut jouer convenablement tous les rôles que nous avons énumérés ci-dessous que si elle est bien conditionnée, c'est-à-dire que si ses principales caractéristiques physiques et chimiques sont maintenues à des valeurs appropriées.

- 1- la remontée des déblais.
- 2- Le maintien des déblais en suspension après arrêt de la circulation.
- 3- Refroidir l'outil et diminuer les frottements de la garniture de forage.
- 4- Le maintien des parois du trou foré.
- 5- Le contrôle des fluides des formations traversées.
- 6- L'intervention des fluides comme un paramètre de forage.
- 7- La transmission de la puissance au moteur de fond.
- 8- La remontée des informations géologiques.

V. Le contrôle d'une venue :

V.1. Signes avertisseurs :

La sécurité du puits dépend essentiellement de la détection rapide des signes précurseurs d'une venue, toute fois la détection d'un seul signe peut ne pas être un indicateur définitif d'une venue, c'est la raison pour laquelle il est très important d'observer les autres indicateurs ; donc les signes sont [15]:

- 1- augmentation de la vitesse d'avancement (drilling break) ; est en fonction des paramètres suivants (le poids, la vitesse de rotation, la nature de la formation, l'hydraulique, le type de l'outil, la pression différentielle, la porosité de la formation ;).
- 2- Anomalie de remplissage du puits.
- 3- Perte de circulation.
- 4- Boue gazée.
- 5- Augmentation du débit à la goulotte (augmentation du niveau de bacs).
- 6- Observation puits fermée.
- 7- La sécurité de puits.

V.2. Signes positifs d'une venue (en cours de forage) [14]. :

- L'augmentation du débit à la goulotte.
- L'augmentation du niveau de bacs.

- Le débit à la goulotte, pompes à l'arrêt.

V.3. Signes positifs d'une venue (en cours de manœuvre) [14]. :

- La différence entre le volume de boue remplie et le volume d'acier extrait à la remontée.
- La différence entre le volume d'acier introduit et le volume de boue récupérée à la descente.

V.4. Principe de contrôle d'une venue :

Le principe est de remplacer un ensemble de flotteurs (un par bac) permettent de mesurer le niveau dans les bassins, les dimensions du bac étant connues, une conversion niveau/volume est alors réalisée [14].

Cet équipement est accompagné par une alarme audiovisuelle pour une détection plus rapide d'une baisse ou augmentation du niveau le système est dénommée (pit volume totalizer).

Dans la goulotte, un débitmètre différentiel (système à palette) donne les variations du débit retour en pourcentage ; si les débits de l'entrée et de sortie ne sont pas exactement les mêmes, il y a immédiatement indication de gain ou de perte par une alarme audiovisuelle préalablement activée [14].

Les caractéristiques, le rôle de fluide de forage, et le principe de contrôle de venue tout ça présentent le contrôle primaire d'une venue de sorte que le contrôle secondaire est la fermeture du puits par les équipements de sécurité s'il y a t'il un non contrôle de venue [14].

VI. Description du système « anti-éruption » :

On considère le système anti-éruption comme une entité, un ensemble de sous systèmes, caractérisée et définissable à partir de plusieurs critères, dit « modèles ». On pourra représenter ce système suivant les critères de: finalité; structure; fonctionnement et organisation ; évolution et environnement.

Le système anti-éruption a pour but d'assurer la sécurité du puits, il se compose de deux sous système principales qui sont : l'unité de commande et le BOP, avec les autres organes auxiliaires qui sont : le panneau de commande, le circuit de contrôle de venue et les conduites.

Le fonctionnement du système est assuré par une équipe qualifiée lors de l'opération des tests et par le chef de poste dans les situations spécifiques (venue) de sorte que la commande de BOP se fait par l'unité de commande grâce à une commande à distance (panneau de commande) ou manuellement (au niveau de l'unité elle-même).

Le principe de fonctionnement du système repose sur la pression hydraulique pour la fermeture du BOP et la pression pneumatique pour la commande à distance de l'unité de commande, toutes les opérations ce fait dans un environnement de forage trop précis.

VI.1. Les obturateurs des têtes de puits :

Les BOP assurent le contrôle secondaire (deuxième barrière de sécurité) alors que la boue assure le contrôle primaire (première barrière).

VI.2. Unité d'accumulation et de commande du BOP :

VI.2.1. Unité de commande de BOP surface :

L'unité de commande fournit le fluide hydraulique sous pression pour opérer les différents obturateurs de surface et les vannes annexes. La pression de fonctionnement du système habituellement utilisé est de 3000 psi. Un poste de commande à distance permettant de réaliser toutes les fonctions sera installé sur le plancher de forage. Un ou plusieurs autres postes permettant de réaliser un nombre réduit de fonctions peut être installés sur le chantier [16].

L'unité de commande comprend :

- Un réservoir de stockage contenant le fluide hydraulique à pression atmosphérique,
Au moins deux systèmes de pompage qui aspirent le fluide hydraulique dans le réservoir pour le porter à la pression de fonctionnement de l'unité (en général 3 000 psi),
- Un ensemble de bouteilles (accumulateurs oléopneumatiques) pour stocker ce fluide à la pression de fonctionnement de l'unité,
- Des régulateurs pour régler la pression du fluide hydraulique dirigé vers les différents composants du stack BOP,
- Des distributeurs 4 voies – 3 positions pour opérer les différentes fonctions [16].

VI.2.1.1. Description d'une unité standard :

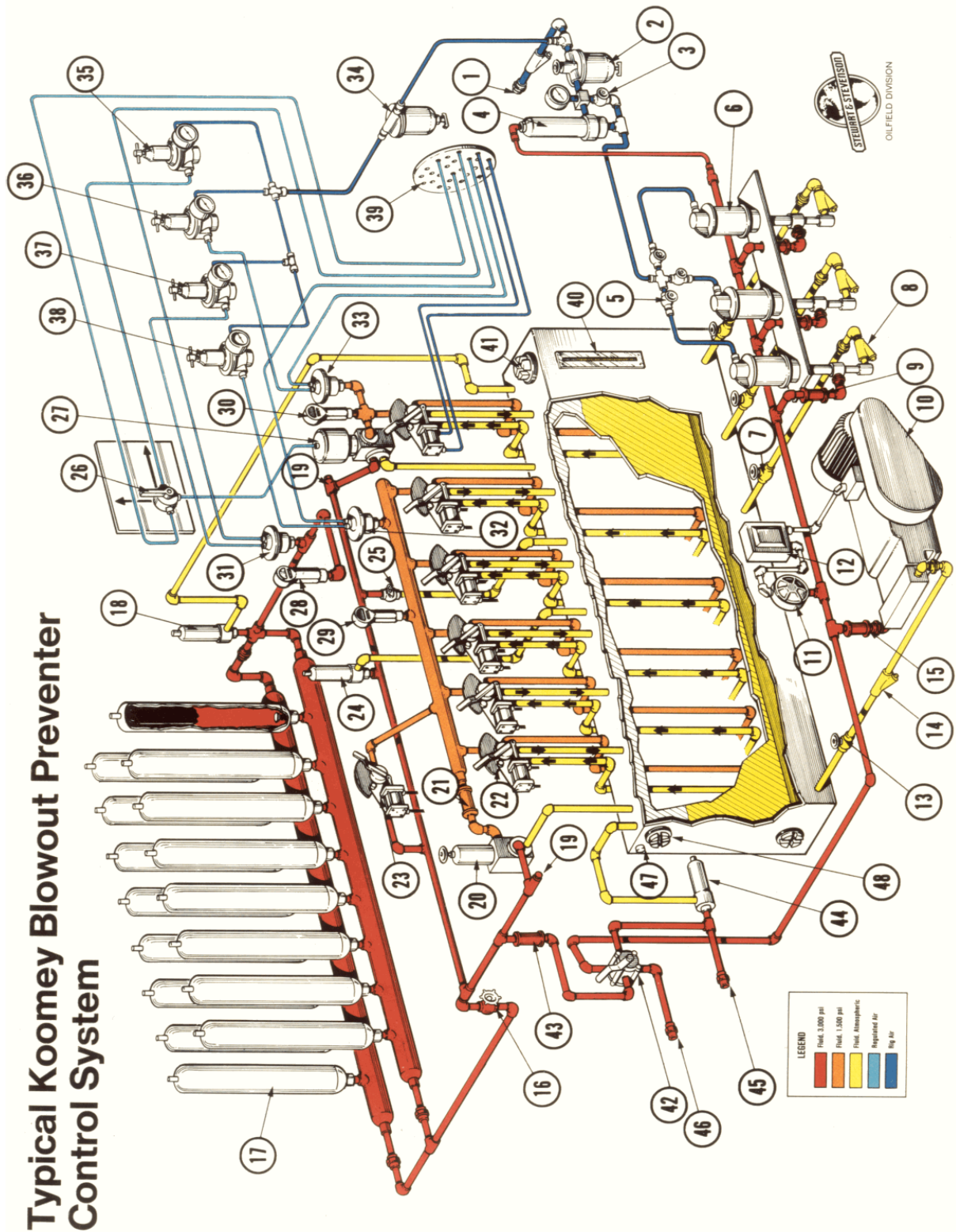
La figure .III.5 représente une unité standard avec ses différents composants :

- 1 Arrivée d'air (pression de l'ordre de 120 psi).
- 2 Hui leur.
- 3 Vanne qui permet de by passer la vanne d'admission automatique d'air n°4. En position ouverte, elle permet d'alimenter en continu les pompes à air. Elle doit être normalement en position fermée.
- 4 Vanne d'admission hydropneumatique automatique. Elle permet de régler la pression de démarrage et l'arrêt des pompes à air.
- 5 Vannes manuelles d'isolement des pompes pneumatiques. Normalement, elles doivent être en position ouverte.
- 6 Pompes à air.
- 7 Vannes manuelles d'isolement de l'aspiration des pompes à air. Normalement, elles doivent être en position ouvertes.
- 8 Filtre à huile équipé d'une crépine sur la ligne d'aspiration.
- 9 Clapet anti-retour.
- 10 Pompe triplex entraîné par moteur électrique.
- 11 Manocontact : permet de régler les pressions de démarrage et d'arrêt de la pompe électrique. Il est réglé de telle façon que le moteur électrique démarre lorsque la pression dans l'unité chute sous un certain seuil (en général, 2700 psi) et s'arrête lorsque la pression atteint un certain seuil (3 000 psi).
- 12 Coffret de démarrage contenant un commutateur à 3 positions (OFF, ON, AUTO). L'interrupteur doit être normalement sur la position AUTO.
- 13 Vanne manuelle d'isolement de l'aspiration de la pompe électrique. Normalement, elle doit être en position ouverte.
- 14 Filtre à huile équipé d'une crépine sur la ligne d'aspiration.
- 15 Clapet anti-retour.
- 16 Vanne manuelle d'isolement des bouteilles. En fonctionnement normal, cette vanne doit être ouverte.

- 17 Accumulateur. Le pré charge en azote doit être de 1000 psi \pm 10 %.
- 18 Soupape de sécurité, tarée entre 3300 et 3500 psi. Le retour est connecté au réservoir.
- 19 Filtre à huile sur le circuit haute pression.
- 20 Régulateur de pression : Il réduit la pression de 3000 psi à 1500 psi pour le circuit "manifold". Son réglage se fait manuellement.
- 21 Clapet anti-retour.
- 22 Distributeurs 4 voies - 3 positions. Ces distributeurs, équipés de vérins pneumatiques, peuvent être pilotés à distance.

Elles permettent l'envoi du fluide hydraulique sous pression vers les BOP ou les opérateurs de vannes, pour ouvrir ou fermer ceux-ci.
- 23 Vanne de by-pass : permet de by passer la régulation 3 000 - 1500 psi et d'envoyer directement dans le manifold le fluide hydraulique à la pression des accumulateurs (3 000 psi). Cette vanne doit être normalement en position fermée. Elle peut être commandée à distance.
- 24 Soupape de sécurité avec retour au réservoir de stockage du fluide hydraulique. Elle est réglée vers 5 500 psi.
- 25 Vanne de purge de la partie HP. Elle est normalement en position fermée
- 26 Sélecteur à 2 positions : Il permet de sélectionner le point de commande du régulateur de pression du BOP annulaire n° 27. Lorsqu'il est sur Remonte, 27 peut être réglé à partir du panel de commande à distance. Lorsque le sélecteur est sur Local, 27 ne peut pas être réglé à distance.
- 27 Régulateur de pression annulaire : Il permet de régler la pression du fluide hydraulique envoyé vers le BOP annulaire afin d'ajuster la pression de fermeture de celui-ci. Ce régulateur est piloté pneumatiquement et peut être ajusté à distance.
- 28 Manomètre de pression de la partie "accumulateur".
- 29 Manomètre de pression de la partie "manifold".
- 30 Manomètre de pression de la partie "annulaire".
- 31 - 32 - 33 Transmetteurs pneumatiques de pression de l'accumulateur, du manifold et de l'annulaire vers le ou les panneaux de commande à distance.

- 34 Filtre à air.
- 35 _ Régulateur permettant de régler la pression d'air envoyée vers le régulateur 27.
- 36 – 37 – 38 Régulateurs à air pour les transmetteurs pneumatiques de l'annulaire, de l'accumulateur et du manifold.
- 39 Platine de connexion du faisceau de télécommande pneumatique.
- 40 Indicateur de niveau de fluide hydraulique dans le réservoir.
- 41 Bouchon de remplissage et de mise à l'air du réservoir.
- 42 Vannes 4 voies - 3 positions.
- 43 Clapet anti-retour.
- 44 Soupape de sécurité sur la ligne auxiliaire avec retour au réservoir de stockage du fluide hydraulique.
- 45 Ligne auxiliaire qui peut être utilisée pour le skidding.
- 46 Ligne auxiliaire qui peut être utilisée pour tester des équipements en pression.
- 47 Retour vers le réservoir lors de l'utilisation d'une ligne auxiliaire.
- 48 Bouchon d'inspection du réservoir de stockage de fluide hydraulique.



001db0238

Fig.III.2. Schéma type d'une unité de commande de BOP de surface [16].

VI.3. Panneau de commande à distance :

Ce panneau doit être accessible au chef de poste pendant les opérations de forage et représenter fidèlement l'empilage BOP [16].

Le panneau de commande à distance doit :

- permettre d'opérer tous les BOP et les vannes de kill et de choke line,
- Permettre de régler la pression du BOP annulaire,
- Permettre d'opérer la vanne de by passe (item 23),
- Indiquer la pression de l'accumulateur, du manifold, de l'annulaire et la pression d'air.

Le panneau de commande doit avoir en plus des alarmes visuelles et sonores indiquant :

- Une pression trop faible dans l'accumulateur,
- Une pression d'air trop faible,
- Un niveau de fluide hydraulique trop faible dans le réservoir.

VII. Conclusion :

D'après cet aperçu théorique sur les notions générales de forage, on peut dire que l'élément le plus critique dans le forage, et qui en cas de perte de maîtrise de cet élément (système anti-éruption avec tous ses composants essentiels et auxiliaires) cela peut entraîner un accident majeur. C'est pour cette raison que ce système fait l'objet de notre étude.

Pour atteindre notre objectif, nous proposons d'appliquer une démarche d'analyse dans un but de voir si le dysfonctionnement est toujours d'origine technique ou aussi d'origine humaine.

CHAPITRE IV

APPLICATION DE LA DEMARCHE PROPOSEE

I. Introduction :

La société nationale des travaux aux puits a plusieurs activités dans le domaine de l'hydrocarbure : forage, work over.

Au niveau de cette entreprise on a constaté par les informations recueillies ainsi que les études antérieures, qu'il existe plusieurs risques, (risque incendie, risque éruption...) et que la plupart de ces risques sont causés par des erreurs humaines. Donc dans ce chapitre il faut prendre en considération ce problème de l'intégration du facteur humain dans une étude de sécurité et afin d'arriver à concrétiser des résultats, la démarche qui sera appliquée est la suivante :

La méthode SADT pour une description globale du système, la méthode THERP pour analyser les dégradations d'un système HM pouvant être causées par des erreurs humaines.

II. L'application de la démarche proposée :

II.1. Application de la méthode SADT :

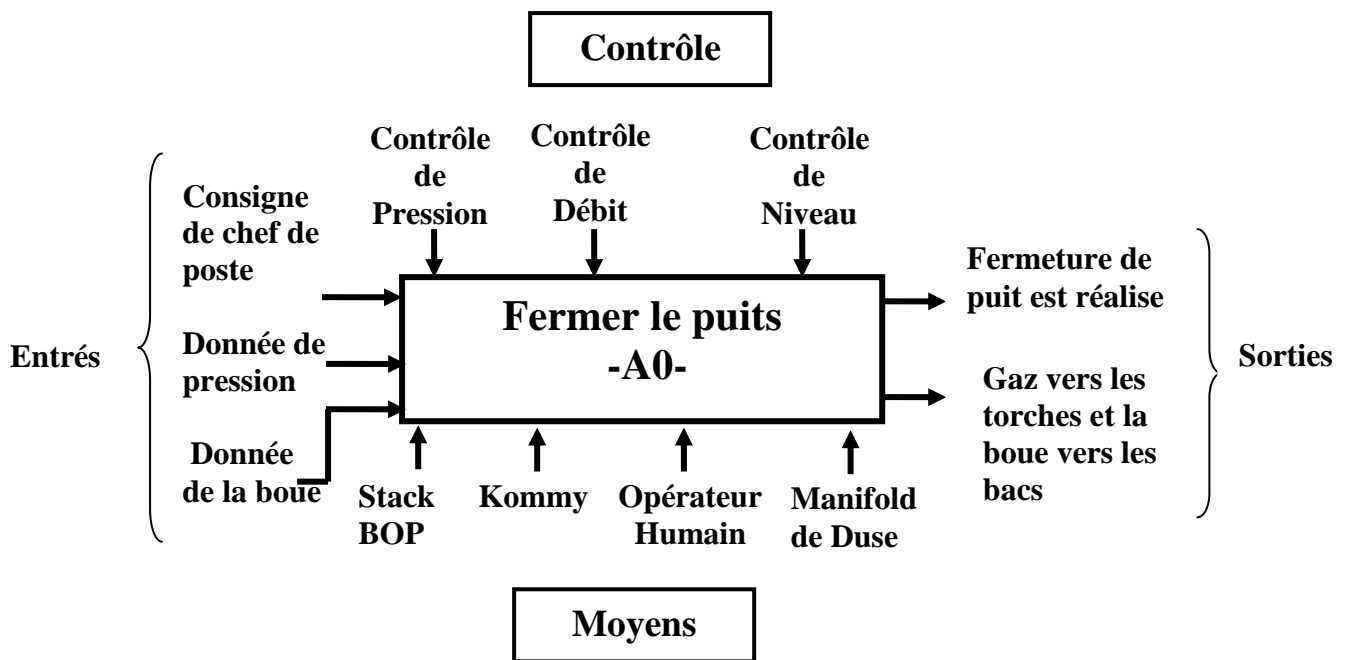
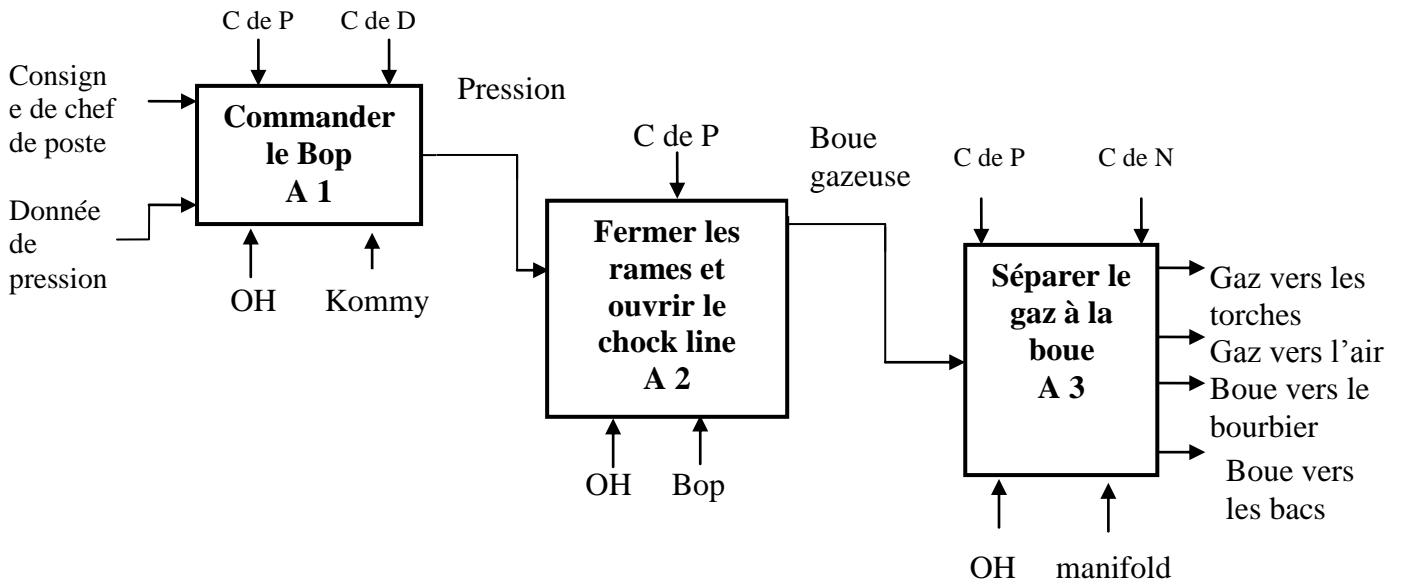


Fig. IV.1. Décomposition du système par SADT (niveau 0)



Nœud : A-1	Titre : Fermeture de puit et séparation de gaz
------------	--

Fig .IV.2. Décomposition du système par SADT (niveau 1)

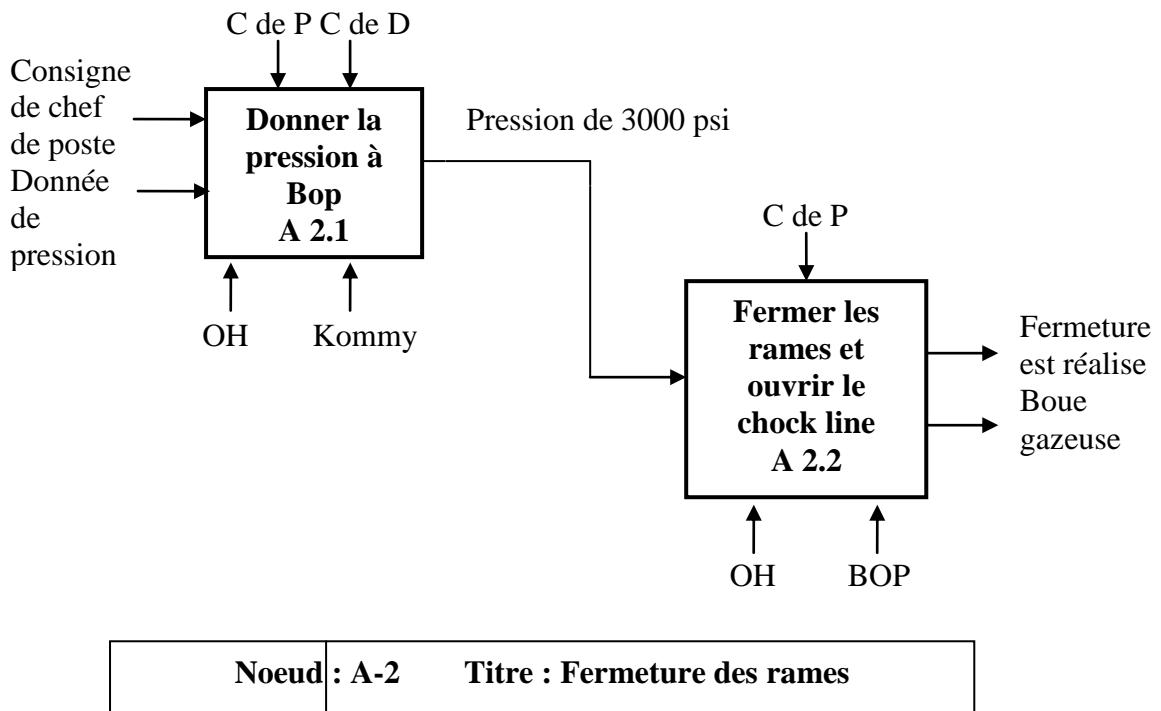


Fig. IV.3. Décomposition du système par SADT (niveau 2)

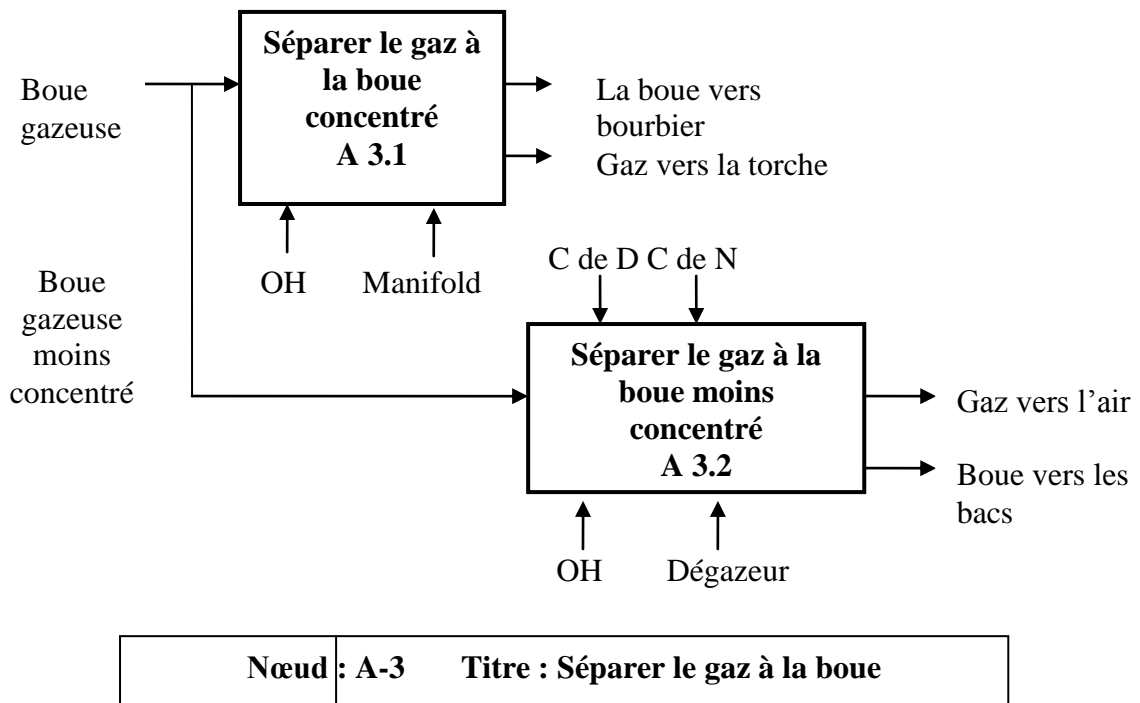


Fig. IV.4. Décomposition du système par SADT (niveau 3)

II.1.1. Résultats de l'analyse fonctionnelle :

Cette Analyse permet d'identifier les différents sous système, leurs fonctionnements, leurs interactions, ainsi que les composants qui interviennent pour assurer le fonctionnement du système anti-éruption.

Ce modèle fonctionnel qui est présenté par SADT donne un ensemble d'informations sur le bon fonctionnement du système (anti-éruption). Toutes ces informations recueillies à partir de l'application de SADT, nous a permis de constater que l'opérateur est présent dans toutes les opérations, donc l'analyse doit inclure le facteur humain, ce qui est l'objectif de la deuxième partie de ce chapitre, par la mise en application de la méthode THERP.

II.2. l'application de la méthode THREP :**II.2.1. 1^{er} phase : Description des défaillances du système (et / ou dessous –système) :**

- A. Analyse systématique des défaillances (par AMDEC),

Tableau IV.1. Analyse de mode de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (voir Annexes)

ELEMENT	ANALYSE DE MODE DE DEFAILLANCE, DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE								ACTION CORRECTIVE	
	Système : unité de commande. Sous-système : électrique			Phase de fonctionnement normale.						
	FONCTION	MODE DE DEFAILLANCE	CAUSE DE LA DEFAILLANCE	EFFET DE LA DEFAILLANCE	DETECTION	CRITICITE				
					F	G	N	C		
Moteur	Entraîner la pompe	Pas de rotation	Manocontact défectueux	La pompe ne fonctionne pas	/	3	1	4	12	MP ou PR: du manocontact
			Fusible du démarreur déclenché	La pompe ne fonctionne pas	/	4	1	4	16	PR : du fusible
			Pas d'alimentation électrique	La pompe ne fonctionne pas	/	2	1	4	8	Source de secours d'alimentation
			Manque de graissage	La pompe ne fonctionne pas	auditive	4	1	2	8	Graissage de moteur
		Rotation inverse	Fluctuation de tension	Arrêt de la pompe	/	2	2	4	16	
			Erreur de câblage	Arrêt de la pompe	visuel	2	2	4	16	D : consigne de l'opérateur de maintenance
La pompe triplex	Refoulement de fluide sous pression vers les accumulateurs	La pompe ne produise pas de pression	Le niveau de fluide est faible	Perte d'amorçage de la pompe	auditive	2	1	4	8	Ajouter d'huile
			La vanne d'aspiration de fluide est fermée ou bouchée.	Perte d'amorçage de la pompe	auditive	2	2	4	16	MP : de la vanne avec son ouverture.
			Contamination de fluide dans le réservoir.	L'arrêt de la pompe électrique.	/	4	2	4	32	PR : de fluide ou bien de l'affiner.
		Fuite de la pompe	La garniture d'étanchéité de la pompe électrique est usée.	Diminution de débit de refoulement.	visuel	4	2	4	32	MP : de la garniture de la pompe ou PR
			Joint de couvercle de la vanne endommagé	Diminution de débit de refoulement.	/	4	1	4	16	PR : de joint de couvercle

ELEMENT	ANALYSE DE MODE DE DEFAILLANCE, DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE								ACTION CORRECTIVE																	
	Système : unité de commande. Sous-système : pneumatique			Phase de fonctionnement normale.																						
	FONCTION	MODE DE DEFAILLANCE	CAUSE DE LA DEFAILLANCE	EFFET DE LA DEFAILLANCE	DETECTI ON	CRITICITE																				
					F	G	N	C																		
Les pompes pneumatiques	Refoulement de fluide sous pression vers les accumulateurs	Les pompes ne produisent pas de pression	Niveau de fluide bas dans le réservoir	Perte d'amorçage de la pompe	Auditive	2	2	4	1 6	Ajouter d'huile																
			Les vannes d'aspiration de fluide sont fermées ou bouchées.	Perte d'amorçage des pompes pneumatiques		2	2	4	1 6	MP : des vannes avec ses ouvertures.																
			Contamination de fluide de réservoir.	L'arrêt des pompes pneumatiques ou leurs défaillances		4	2	4	3 2	PR : de fluide ou bien de l'affiner.																
	Fuite des pompes pneumatiques.	La garniture d'étanchéité des pompes pneumatiques est usée.	Diminution de débit de refoulement.	visuel	4	2	4	3 2	MP : de la garniture des pompes ou PR																	
										Fonctionnement excessif des pompes	La vanne de commande à 4 voies fuible	Défaillance des pompes	visuel	3	2	1	6	PR : de la vanne								
																			La soupape de sécurité fuible	Défaillance des pompes	visuel	3	1	1	3	PR : de la soupape de sécurité

			Fuite dans le système de fluide	Défaillance de la pompe	visuel	3	2	1	6	MP : de système de fluide
			Perte de pression de pré-charge	Défaillance des pompes	visuel	3	2	1	6	PR : de la vanne de pré charge
			La vanne de by-pass défectueuse ou ouverte	Défaillance des pompes	visuel	3	2	1	4	PR : de la vanne ou la fermée
	Arrêt à une pression incorrecte		Manocontact est dérégulée	Pression inappropriée	visuel	4	1	1	4	MP : contrôle et réglage de manocontact
			Insuffisance d'alimentation	Pression inappropriée	/	3	1	2	6	MP : de compresseur
	Les pompes ne proviennent pas à atteindre la pleine pression		La soupape de retenue est défectueuse	Faible débit de refoulement	Auditive	3	1	3	9	PR : de soupape de retenue.
			Insuffisance d'alimentation	Faible débit de refoulement	/	3	1	3	9	MP : de compresseur

		ANALYSE DE MODE DE DEFAILLANCE, DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE								
		Système : unité de commande. Sous-système : sous pression			Phase de fonctionnement normale.					
ELEMEN T	FONCTION	MODE DE DEFAILLAN CE	CAUSE DE LA DEFAILLANCE	EFFET DE LA DEFAILLANC E	DETECTIO N	CRITICITE				ACTION CORRECTIVE
						F	G	N	C	
Flexibles	Assurer la connexion BOP- unité de commande	Fuite	Usure	Rupture du flexible.	Visuel.	4	3	1	12	PR : du flexible.
			Défaut mécanique.	Rupture du flexible.	Visuel.	4	3	1	12	PR : du flexible.
			Mauvaise conditions de stockage.	Fragilisation du flexible.	Visuel.	4	2	1	8	D : consigne de sécurité pour l'opérateur.
		Rupture	Fuite de joint.	Perte de connexion.	Visuel.	4	3	1	12	PR : du joint.
			Défaut mécanique.	Perte de connexion.	Visuel.	4	3	1	12	PR : du flexible.
Les accumulate urs	Jeu le rôle d'un compresseur (fournit le fluide sous pression au BOP et les pompes de test).	Fuite	Clapet anti - retour défectueux.	Eclatement des accumulateurs	Visuel.	2	3	1	6	PR : du clapet anti-retour.
			Corrosion et usure	Eclatement des accumulateurs	Visuel.	2	2	1	4	PR: des accumulateurs
			vieillessement	Eclatement des accumulateurs	Visuel.	2	2	1	4	PR: des accumulateurs
		Rupture de vissée.	La vanne de pré charge est défectueuse.	Chute de pression		2	2	4	16	PR : de la vanne de pré charge.

Circuit sous pression.	Assurer le passage de fluide sous pression.	Fuite.	La vanne de purge est ouverte ou défectueuse.	Chute de pression	Visuel.	3	2	1	6	Fermeture de la vanne de purge.
			Les vannes d'aspiration huile sont défectueuses.	Chute de pression	Visuel.	3	2	1	6	PR : de la vanne d'aspiration huile.
			Les soupapes de sécurité sont défectueuses.	Retour de fluide au réservoir et Chute de pression	Visuel.	3	1	1	3	PR : de soupape de sécurité.
			La vanne à 4 voies défectueuse.	Retour de fluide au réservoir et Chute de pression	Visuel.	3	2	1	6	PR : de la vanne à 4 voies.
			Les vannes à 4 voies sont défectueuses.	Chute de pression.	Visuel.	3	2	1	6	PR : de la vanne.
			La vanne de by-pass est ouverte ou fuible.	Chute de pression.	Visuel.	3	2	1	6	PR : de la vanne de by pass.
		Rupture.	Fuite.	Détérioration du circuit sous pression.	Visuel.	3	3	1	9	PR: de la zone endommagée.
		Bouchage.	Colmatage des filtres.	Faible débit de refoulement.	/	4	2	4	32	PR : des filtres.
			Contamination de fluide (présence des impuretés dans le fluide).	Usure	/	4	3	4	48	D: Affiner ou changer le fluide

Le BOP annulaire	Assurer la fermeture sur n'importe quel diamètre même sur le trou vide.	Perte d'étanchéité.	Détérioration de la membrane.	Accident.	visuel	4	4	3	48	PR : de la membrane.
			Piston usé.	Accident.		4	4	3	48	PR : du piston.
		Fuite.	Usure des joints tors	Accident.	visuel	4	4	1	16	PR : du joint tor.
			La garniture d'étanchéité défectueuse.	Accident.		4	4	3	48	PR : de la garniture
		Le BOP annulaire est bloqué fermé.	Pression d'ouverture est insuffisante	Arrêt de forage.		2	3	4	24	Augmenter la pression de pré charge des accumulateurs.
			Coincement de la garniture BOP annulaire (manque de graissage).	Arrêt de forage.	auditive	2	3	3	18	Graissage de la garniture
		Le BOP annulaire est bloqué ouvert.	Pression de fermeture est insuffisante.	Eruption en cas de venue.		2	3	4	24	fermer le puits avec la grue valve ou avec BOP à rams.
			Coincement de la garniture BOP annulaire (manque de graissage).	Eruption en cas de venue.	auditive	2	4	3	24	fermer le puits avec la grue valve ou avec BOP à rams.
BOP à mâchoire.	Fermeture totale. Fermeture totale est cisailant. Fermeture sur un diamètre donné.	Usure des rams.	La fréquence des tests.	Perte de fonction.		4	3	4	48	PR : des rams
			Suppression.	Perte de fonction.		3	3	4	36	PR : des rams
		Perforation des rams.	Présence de H ₂ S.	Fuite et usure.		1	3	4	12	PR : des rams
		Le BOP à mâchoire est bloqué fermé.	Pression d'ouverture est insuffisante.	L'arrêt de forage.		2	3	4	24	Augmenter la pression de pré charge des accumulateurs.

Les régulateurs de pression.	Réglage de pression.	Grippage	Défaut de maintenance.	Perte de commande manuelle.	/	4	2	4	32	MP et MC.
			Les causes environnementales .	Usure des régulateurs.	/	4	1	4	16	/
			Contamination de fluide.	Usure des régulateurs.	/	4	1	4	16	PR : de fluide ou l'affiner
		Poigne endommagée.	L'opération de DTM.	Perte de fonction.	/	4	2	4	32	PR : de la poigne.
			Mauvaise manutention.	Perte de fonction.	/	4	2	4	32	D : consigne pour l'opérateur.
Panneau de commande	Commande à distance.	Commande erronée.	Indication erronée des manomètres.	Mise en marche erronée du BOP la vanne de by pass, choke line, kill line.	Visuel.	2	4	1	8	MP: contrôle et régulation ou PR: des manomètres.
			Inversement dans la connexion du BOP.	Mise en marche erronée du BOP.	/	2	4	4	32	D : à l'opérateur
		Pas de commande.	Desserrage des faisceaux.	Le système ne fonctionne pas automatiquement.	/	3	3	4	36	D : à l'opérateur et faite la commande par le panneau auxiliaire.
			Rupture des faisceaux.	Le système ne fonctionne pas automatiquement.	/	3	3	1	9	Commande par le panneau auxiliaire et PR : des faisceaux
			Défaillance de panneau de commande.	Le système ne fonctionne pas automatiquement.	/	1	2	4	8	MC : du panneau si non PR avec l'utilisation de panneau auxiliaire

Interprétation des résultats :

Cette Analyse dysfonctionnel qui est présenté par AMDEC permet de nous détecter les défaillances (et leur effet) dans le système Anti-Eruption, et de définir les actions pour éliminer ces défaillances, réduire leurs effets et pour empêcher ou en détecter les cause.

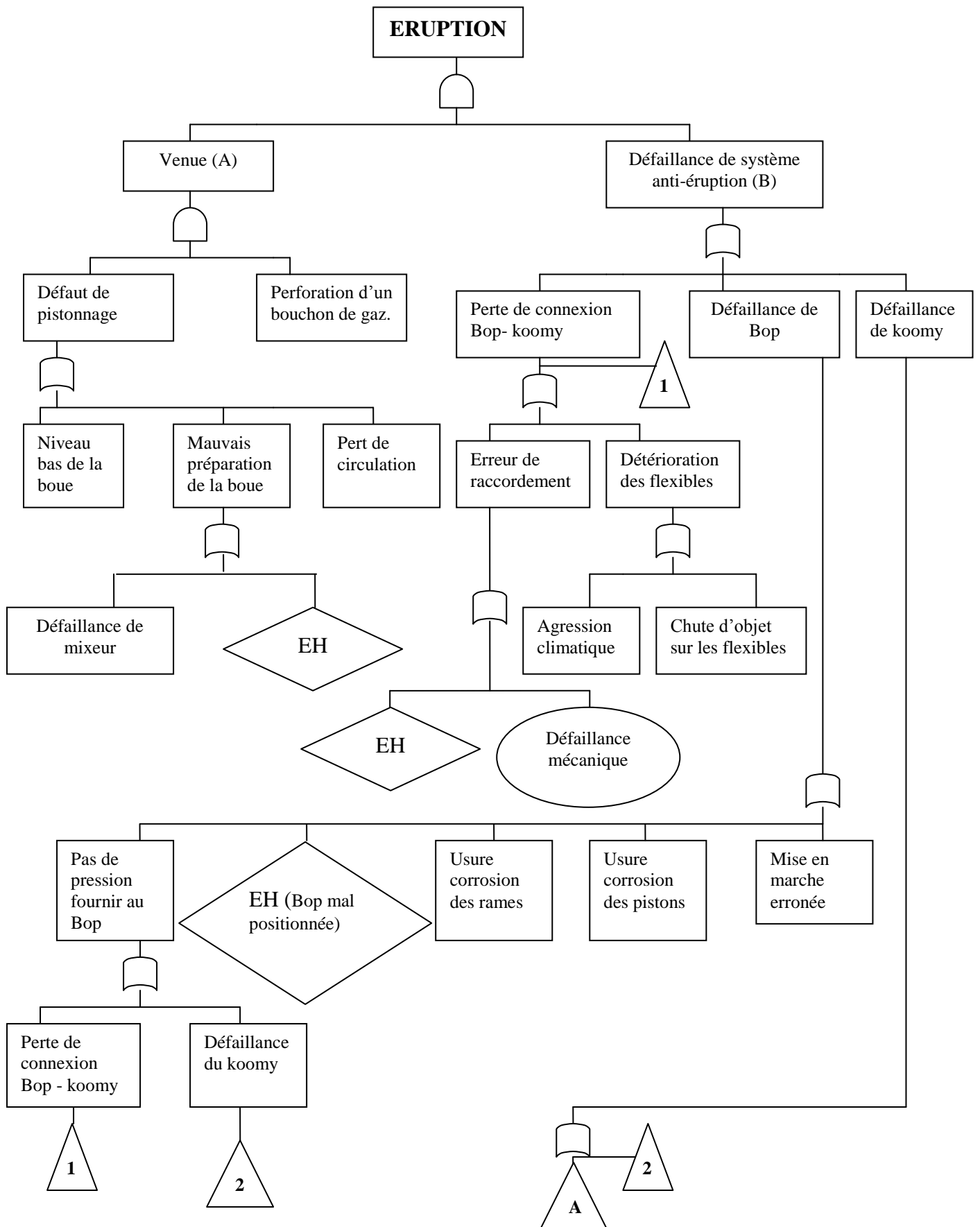
D : Divers

MP : Maintenance préventive

MR : Modification à réaliser

PR : Pièce de rechange

B. Analyse descriptive et causale de leur enchaînement (par AdD)



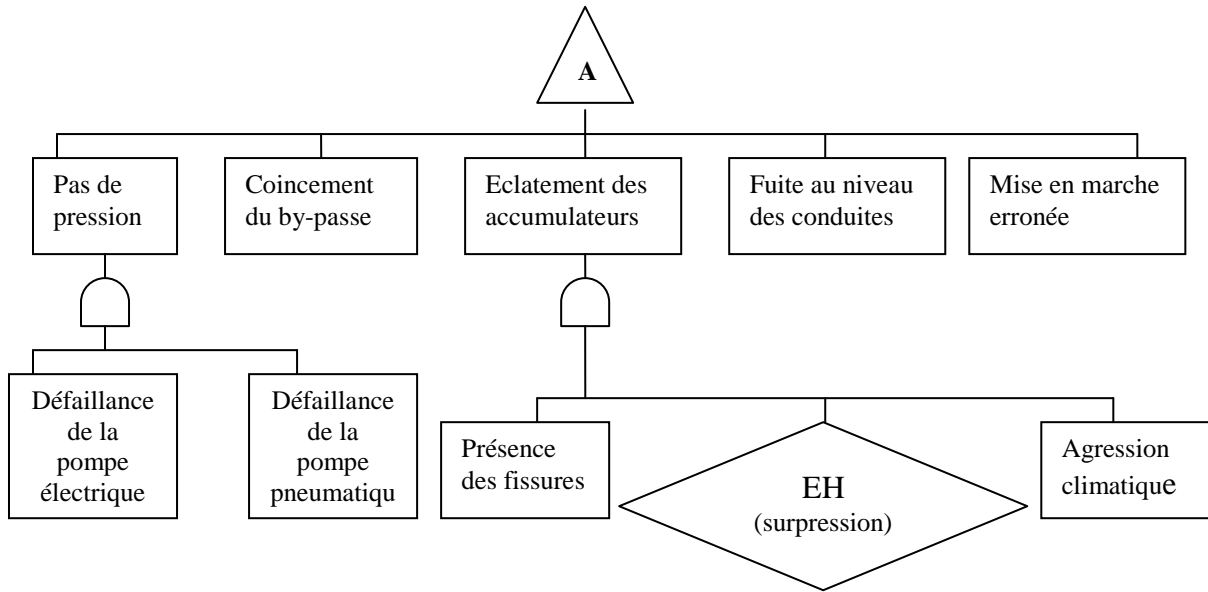


Fig.IV.5. Arbre de défaillance de l'événement non souhaité « éruption »

➤ Les abréviations des coupes minimales :

Abréviations	Types des événements de base
E01	Défaut de pistonnage
E02	Perforation d'un bouchon de gaz
E03	Perte de connexion Bop- koomy
E04	Défaillance de Bop
E05	Défaillance de koomy
E06	Niveau bas de la boue
E07	Mauvais préparation de la boue
E08	Pert de circulation
E09	Erreur de raccordement
E10	Détérioration des flexibles
E11	Défaillance de mixeur
E12	Erreur humaine
E13	Erreur humaine
E14	Défaillance mécanique
E15	Agression climatique
E16	Chute d'objet sur les flexibles
E17	Pas de pression fournie au Bop

E18	Erreur humaine (Bop mal positionnée)
E19	usure, corrosion des rams
E20	Usure, corrosion des pistons
E21	Mise en marche erronée
E22	Pas de pression
E23	Coincement de by-pass
E24	Eclatement des accumulateurs
E25	Fuite au niveau des conduites
E26	Défaillance de la pompe électrique
E27	Défaillance de la pompe pneumatique
E28	Présence des fissures
E29	Erreur humaine (surpression)

Tableau IV.2. : Les abréviations des coupes minimales.

***/ Les modes des erreurs humaines possibles selon la méthode Add :**

Abréviation	Le mode d'erreur humaine possible
E12	Exécution imprécise, erreur d'omission, erreur de séquence.
E13	Exécution imprécise.
E18	Erreur d'omission, exécution imprécise.
E29	Erreur de délia, erreur de séquence.

Tableau IV.3. : Les modes des erreurs humaines à partir L'Add.

Interprétation des résultats :

Cette analyse par arbre des défaillances est qu'elle permet de considérer des combinaisons d'évènements pouvant conduire in fine à un événement redouté (Eruption). Cette possibilité permet une bonne adéquation avec l'analyse d'accidents passés qui montre que les accidents majeurs observés résultent le plus souvent de la conjonction de plusieurs évènements qui seuls n'auraient pu entraîner de tels sinistres.

II.2.2. 2^{ème} phase : Description et analyse des tâches réalisées par les opérateurs :

Puisque la troisième étape de THERP (évaluation des probabilités d'insuccès des différentes tâches) repose sur une description des tâches, on aura besoin d'une approche pour ce but. On a choisi la méthode analytique de description des tâches (MAD).

Fig. IV.6. La tâche de fermeture de puits en cas de venue selon le formalisme MAD

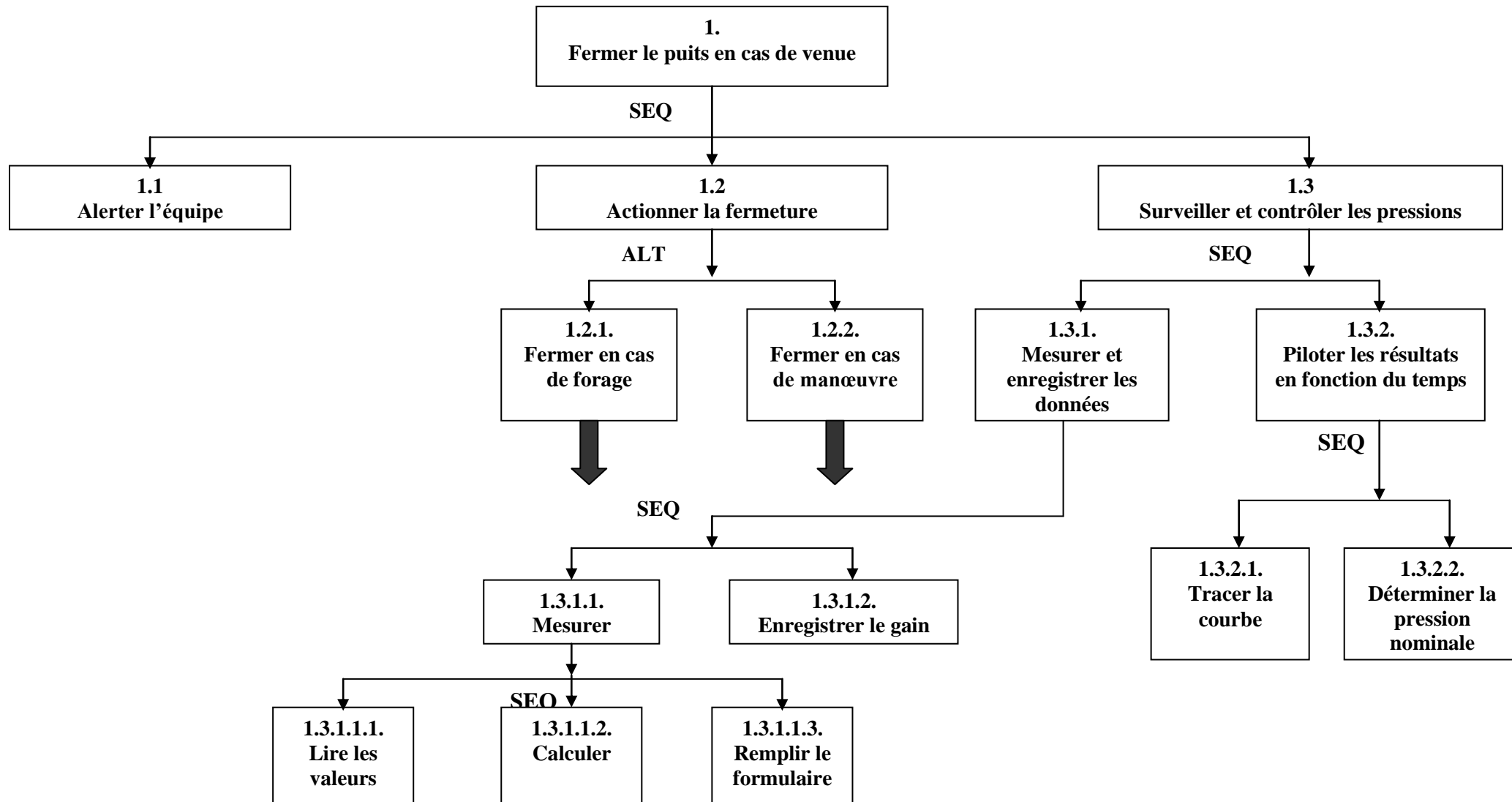


Fig. IV.6.1. Décomposition de la tâche de la fermeture de puits en cas de forage selon le formalisme MAD

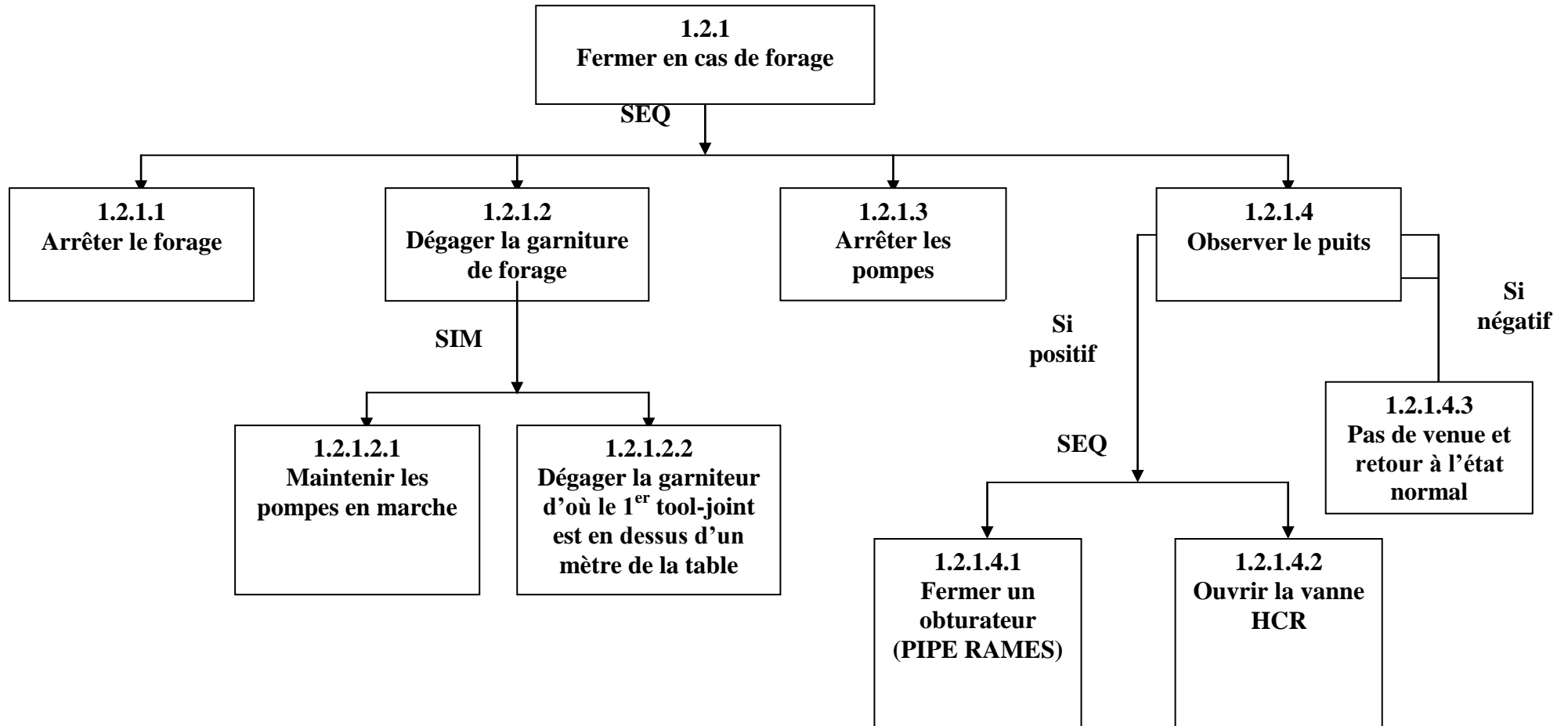
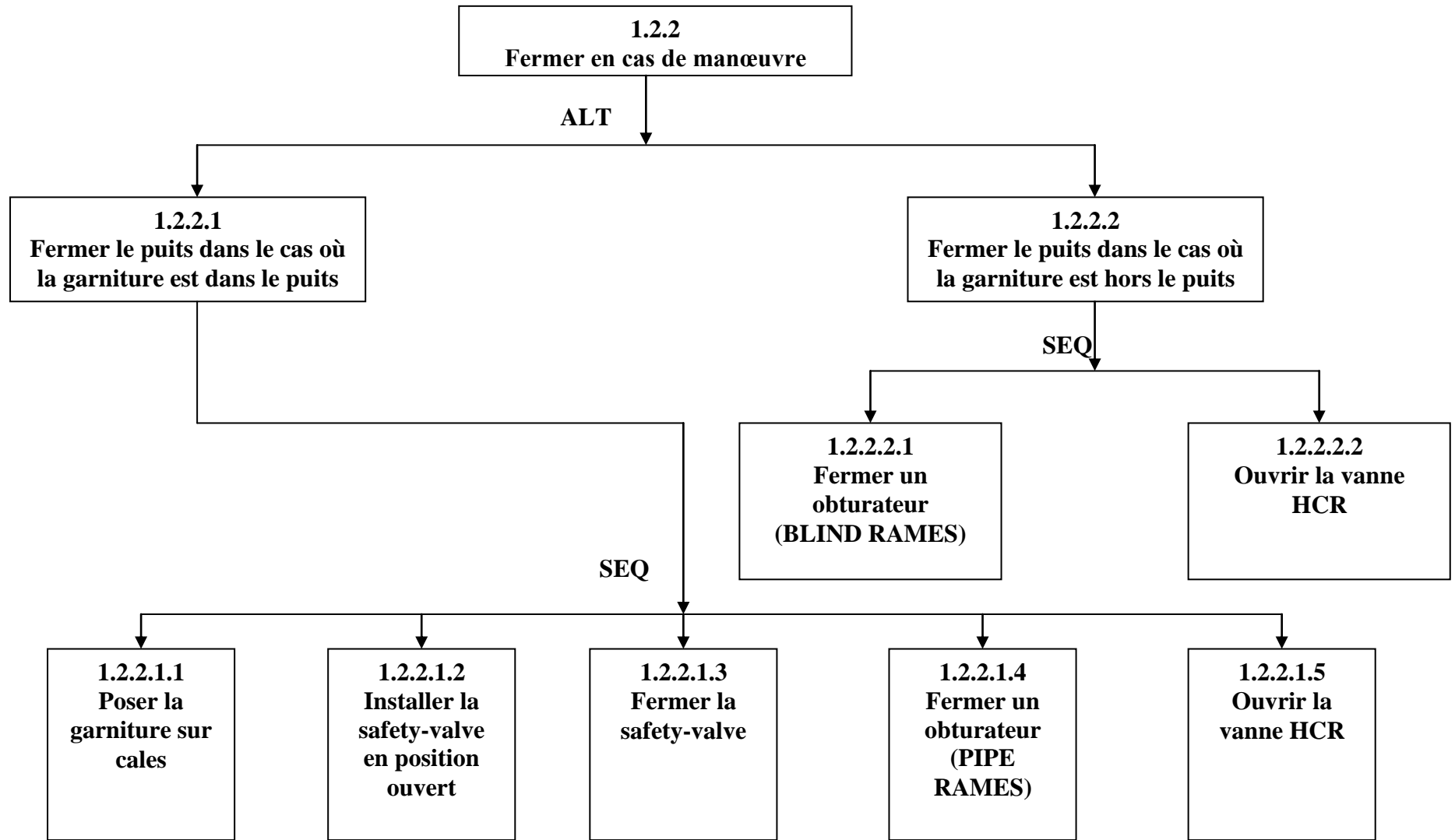


Fig. IV.6.2. Décomposition de la tâche de fermeture de puits en cas de manœuvre selon le formalisme MAD



Interprétation des résultats :

La méthode MAD c'est une méthode de décomposition hiérarchique de tâches qui nous permet d'identifier les différentes actions nécessaires pour réaliser une tâche donnée ; Ainsi Il peut être utilisé comme un point de départ pour des méthodes d'analyse des erreurs qui examinent les erreurs potentielles de l'opérateur lors de la réalisation des tâches. Cette méthode nous aide pour déterminer les tâches de l'opérateur humain en cas de fermeture de puits.

C. L'AMDE facteur humain :(AMDE pour le travail humain) :**C.1. Résultats de l'AMDE facteur humain :**

Les résultats de l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets le processus du travail humain : la procédure d'intervention de l'opérateur humain en cas d'une venue au cours de forage et de manœuvre, sont représentés au niveau de la grille ci-dessous.

TACHE PRESCRITE.	ACTIVITE POTENTIELLE.	CAUSE DE L'ECART.	L'ORIGINE DE L'ECART				CONSEQUENCES DE L'ECART.	ACTIONS DE RECUPERATION.	
			M	I	H	O		PREVENTION	CORRECTION
1) arrêter la rotation et donner l'alerte.	arrêter la rotation et donner l'alerte.								
2) dégager la tige d'entraînement (tool-joint en position de dévissage).	dégager la tige d'entraînement (tool-joint en position de dévissage).								
3) arrêter les pompes.	arrêter les pompes.								
4) fermer le BOP rams sur tige.	appuyer sur un autre bouton pour la fermeture du rams. Les rams sont bloqués ouvertes.	Inattention. Perturbation. Usure ou défaillance primaire des BOP à rams.	*		*	*	Cisaillement de la tige si les rams sont les blind shear rams. L'éruption.	On fait l'empilage du BOP mâchoire.	Récupérer la tige après la maîtrise de situation. Fermer l'annulaire et retour vers la procédure SOFT.
5) ouvrir la vanne HCR de choke line.	Oublier d'ouvrir la vanne HCR de choke line. La vanne HCR est bloquée fermée.	Inattention. Perturbation. Défaillance primaire.	*		*	*	L'éruption. L'éruption.	L'existence d'un personnel au-dessous pour surveiller l'ouverture de la vanne HCR et l'intervention par l'ouverture de la vanne manuel en cas de défaillance de la vanne HCR.	Ouvrir la vanne manuelle de la choke line.

6) enregistrer l'évolution des pressions en tête des tiges et en tête de l'annulaire.	Prendre des résultats faux.	Indication erronée des instruments de mesures. Inattention.	*				Préparation d'une boue trop dense ou trop légère. déséquilibre des pressions: occurrence d'une venue	Inspection et contrôle périodique des instruments de mesures. Pré Job meeting : sensibilisation préalable.	Agir sur la densité de la boue.
7) enregistrer le gain.	Déviations du débit de la boue au niveau de la goulotte : -débit élevé -débit faible	Indication erronée des instruments de mesures. Inattention.	*			*	-Continuité de remplissage de la boue : fracturation du puits. -Arrêter le remplissage de la boue : occurrence d'une venue	Inspection et contrôle périodique des instruments de mesures. Pré Job meeting : sensibilisation préalable.	Echange d'information : Retour à la communication avec tous les membres de l'équipe de contrôle
8) alerter le chef de chantier et le superviseur.	alerter le chef de chantier et le superviseur.								
9) attendre les instructions.	attendre les instructions.								

Tableau. IV.4 : AMDE facteur humain pour un processus de travail humain : Opérations d'intervention en cas de venue au cours de forage

TACHE PRESCRITE.	ACTIVITE POTENTIELLE.	CAUSE DE L'ECART.	L'ORIGINE DE L'ECART				CONSEQUENCES DE L'ECART.	ACTIONS DE RECUPERATION.	
			M	I	H	O		PREVENTION	CORRECTION
1) Arrêter la manœuvre (tool-joint à 1 m au-dessus de la table).	Arrêter la manœuvre (tool-joint à 1 m au-dessus de la table).								
2) Mettre les cales.	Oublier de mettre les cales ou bien ne sont pas dans le site.	Inattention Perturbation L'absence du matériel sur site			*	*	Augmenter la perte de temps de maîtrise de la situation.	Placer l'équipement de contrôle sur site.	Formation de l'opérateur
3) visser la safety valve en position ouverte.	Oublier d'ouvrir la safety valve.	Inattention Perturbation L'absence du matériel sur site.			*	*	Accident (explosion)	Mettez la feuille de procédure de fermeture sur site. Présence d'une personne d'aide (le second) est nécessaire.	Formation de l'opérateur : sensibilisation aux informations sécuritaires, obligation d'informer des actions sur les circuits dangereux
4) fermer la safety valve.	Oublier de fermer la safety valve.	Inattention. Perturbation.			*	*	Eruption	Présence d'une personne d'aide (le second) est nécessaire. Formation de l'opérateur : sensibilisation aux informations sécuritaires, obligation d'informer des actions sur les,	Formation de l'opérateur : sensibilisation aux informations sécuritaires, obligation d'informer des actions sur les circuits dangereux

								circuits dangereux	
5) fermer le BOP rams sur tige.	appuyer sur un autre bouton pour la fermeture du rams. Les rams sont bloquée ouvertes.	Inattention. Perturbation. Usure ou défaillance primaire des BOP à rams.	*		*	*		Cisaillement de la tige si les rams sont les blind shear rams. L'éruption.	On fait l'empilage du BOP mâchoire. Récupérer la tige après la maîtrise de situation. Fermer l'annulaire et retour vers la procédure SOFT.
6) ouvrir la vanne HCR de choke line.	Oublier d'ouvrir la vanne HCR de choke line. La vanne HCR est bloquée fermée.	Inattention. Perturbation. Défaillance primaire.	*		*	*		L'éruption. L'éruption.	L'existence d'un personnel au-dessous pour surveiller l'ouverture de la vanne HCR et l'intervention par l'ouverture de la vanne manuelle en cas de défaillance de la vanne HCR.
7) visser la tige d'entraînement.	visser la tige d'entraînement								
8) enregistrer l'évolution des pressions en tête des tiges et en tête de l'annulaire.	Prendre des résultats faux.	Indication erronée des instruments de mesures. Inattention.	*		*			Préparation d'une boue trop dense ou trop légère. déséquilibre des pressions: occurrence d'une venue	Inspection et contrôle périodique des instruments de mesures. Pré Job meeting : sensibilisation préalable.

9) enregistrer le gain.	Déviation du débit de la boue au niveau de la goulotte : -débit élevé -débit faible	Indication erronée des instruments de mesures. Inattention.	*				-Continuité de remplissage de la boue : fracturation du puits. -Arrêter le remplissage de la boue : occurrence d'une venue	Inspection et contrôle périodique des instruments de mesures. Pré Job meeting : sensibilisation préalable.	Retour à la communication avec tous les membres de l'équipe de contrôle : échange d'information.
10) alerter le chef de chantier et le superviseur.	alerter le chef de chantier et le superviseur.								

**Tableau. IV.5 : AMDE facteur humain pour un processus de travail humain :
Opérations d'intervention en cas de venue au cours de manœuvre**

***/ Les modes des erreurs humaines possibles présents dans les tâches réalisées par l'opérateur humain :**

Tâche	Mode d'erreur possible
Fermeture de puits en cas de venue	<ul style="list-style-type: none"> -erreur de séquence -exécution imprécise -erreur de récupération -erreur de délai
Fermeture de puits en cas de forage	<ul style="list-style-type: none"> -exécution imprécise -erreur d'omission -erreur de séquence -erreur de récupération
Fermeture de puits en cas de manœuvre	<ul style="list-style-type: none"> -exécution imprécise --erreur d'omission -erreur de séquence -erreur de récupération

Tableau IV.6 : Les modes des erreurs humaines.

Interprétation des résultats :

Application de la méthode AMDE facteur humain nous permet de vérifier que l'on fait (activité potentielle) ce qui est écrit (tâche prescrite) en identifiant les écarts et leurs conséquences et mettant en œuvre des solutions pour éliminer ces écarts ou bien d'en réduire leurs impacts. Ainsi de nous permet d'étudier conjointement des composants de nature différente- humain, organisationnel, mais aussi matériel, informationnel pour une analyse globale et intégrée.

D. Méthode ADE :

A partir de toutes les informations recueillies lors de différentes analyses précédentes et pour mieux représenter les conséquences d'une telle action, on a opté pour la méthode ADE, afin de donner la chronologie du scénario d'accident.

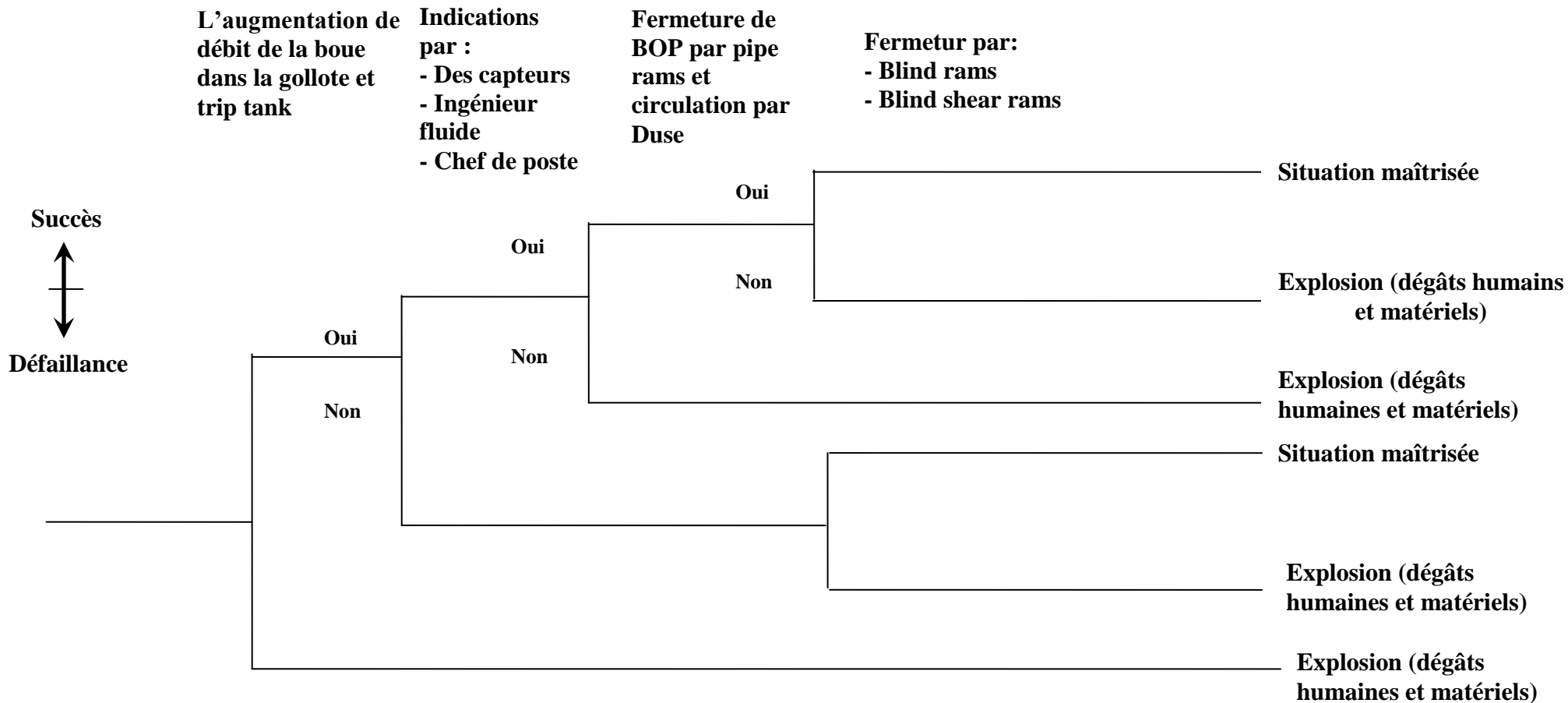


Fig.IV.7. L'ADE (scénario d'accident)

II.2.3. 3^{ème} phase : Evaluation des probabilités d’insuccès des différentes tâches : Il y a deux tâches :

1) La tâche de fermeture de puit en cas de venue en cour de forage :

Cette tâche se composer de quatre opérations dépendantes : (Op : opération)

- Op (A) : Alerter l’équipe et arrêter le forage
- Op (B) : Dégager la garniture vers le haut.
- Op (C) : Arrêter les pompes.
- Op (D) : Observer le puit.

Les quatre opérations sont totalement dépendantes cela signifie que l’échec de l’opération (A) entraîne l’échec de l’opération (B) avec certitude ; c’est-à-dire que si :

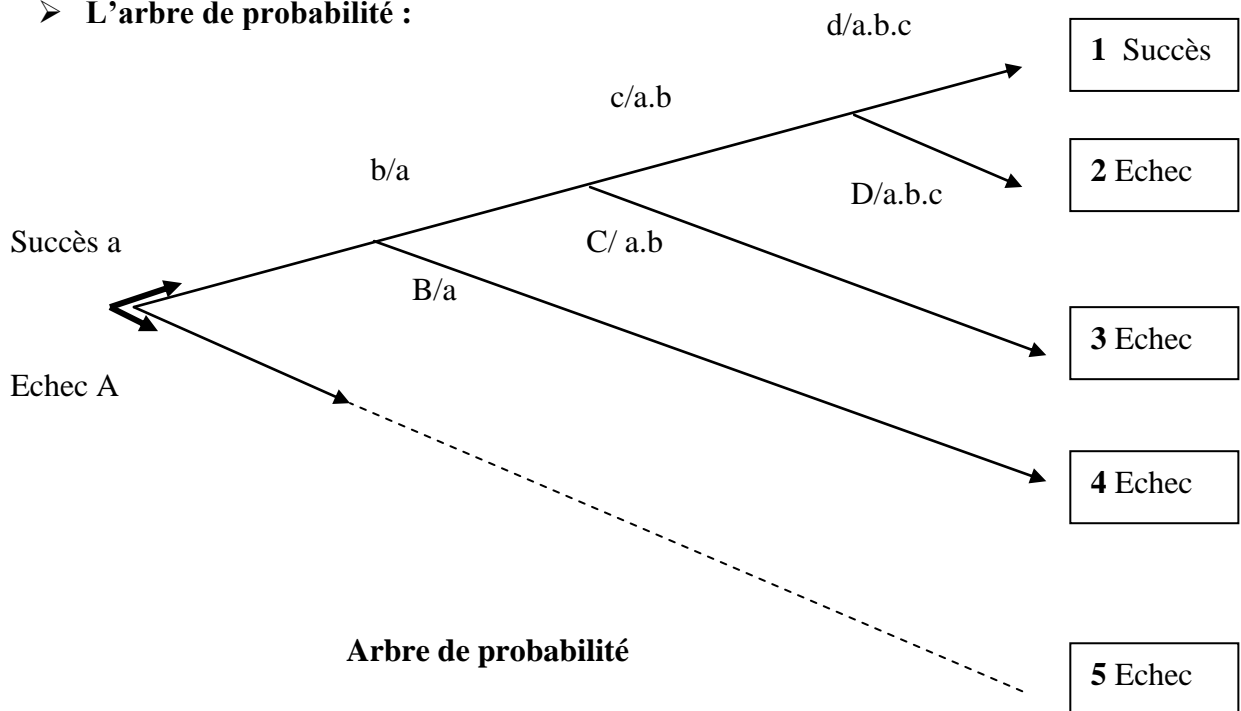
Petite lettres (a, b, c, d, e) = succès des opérations.

Grande lettre (A, B, C, D, E) = échec des opérations.

On a : $P (B/A) = 1$ et $P (b/a) = 0$.

Mais le succès de l’opération (A) n’entraîne pas nécessairement le succès de l’opération (B), c’est-à-dire : $P (b/a) \neq 1$ et $P (B/A) \neq 0$.

➤ **L’arbre de probabilité :**



➤ L'estimation de probabilité d'échec de la tâche :

$$P(\text{succès de la tâche}) = P(a.b.c.d) = P(a).P(b/a).P(c/a.b).P(d/a.b.c).$$

$$P(\text{échec de la tâche}) = 1 - P(a.b) = P(a).P(B/a).P(C/a.b).P(D/a.b.c) + P(A)$$

$$P(a) = 1 \text{ (cas pratique).}$$

Donc on peut écrire :

$$\text{Probabilité d'échec de la tâche} = P(A) + P(B/a) + P(C/a.b) + P(D/a.b.c)$$

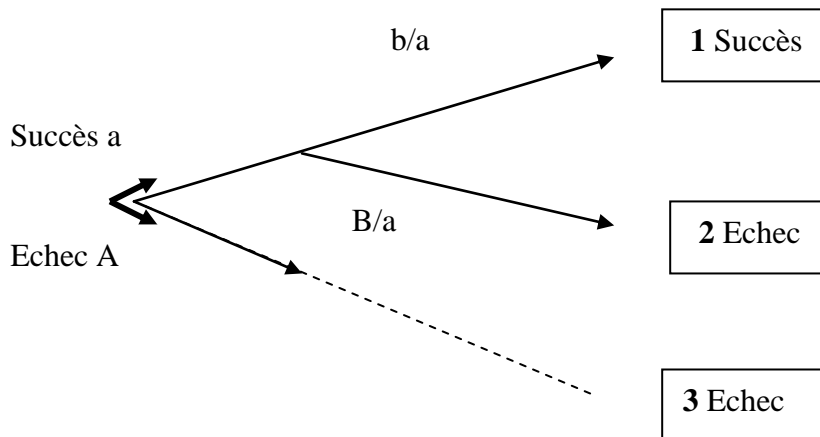
2) La tâche de fermeture de puit en cas de venue en cour de manœuvre :

2-1) Dans le cas où la garniture est hors de puit :

Cette tâche se composer de deux opérations dépendantes : (Op : opération)

- Op (A) : Fermer un obturateur (Blind rams).
- Op (B) : Ouvrir la vanne HCR.

➤ L'arbre de probabilité :



➤ L'estimation de probabilité d'échec de la tâche :

$$P(\text{succès de la tâche}) = P(a.b) = P(a).P(b/a)$$

$$P(\text{échec de la tâche}) = 1 - P(a.b)$$

$$P(a) = 1 \text{ (cas pratique).}$$

Donc on peut écrire :

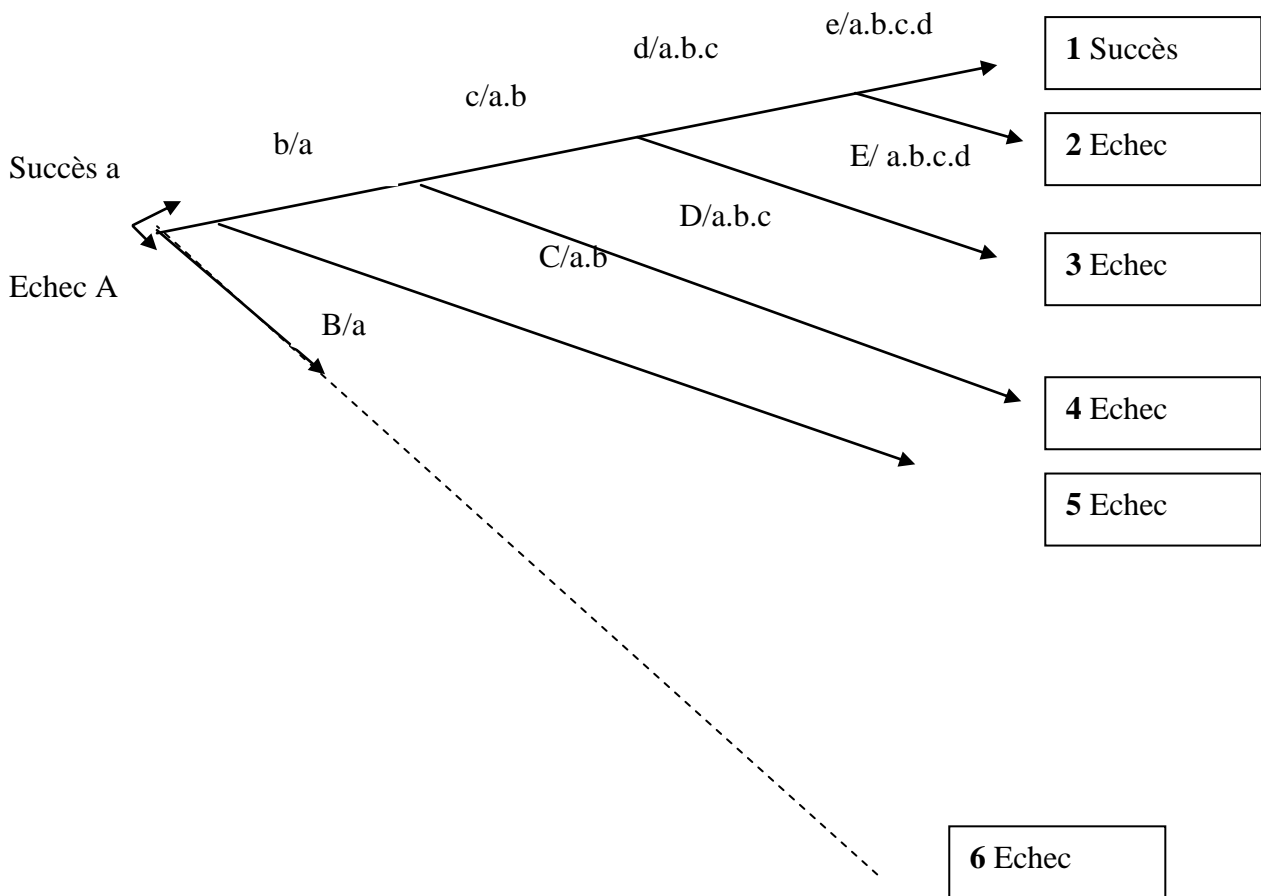
$$\text{Probabilité d'échec de la tâche} = P(A) + P(B/a)$$

2-2) Dans le cas où la garniture est dans le puit :

Cette tâche se compose de cinq opérations dépendantes : (Op : opération)

- Op (A) : Poser la garniture sur cales.
- Op (B) : Installer la safety-valve en position ouverte.
- Op (C) : Fermer la safety-valve.
- Op (D) : Fermer un obturateur (pipe rams).
- Op (E) : Ouvrir la vanne HCR.

➤ **L'arbre de probabilité :**



➤ **L'estimation de probabilité d'échec de la tâche :**

$$P(\text{succès de la tâche}) = P(a.b.c.d.e) = P(a).P(b/a).P(c/a.b).P(d/a.b.c).P(e/a.b.c.d)$$

$$P(\text{échec de la tâche}) = 1 - P(a.b.c.d.e) = P(a).P(B/a).P(C/a.b).P(D/a.b.c).P(E/a.b.c.d) + P(A)$$

$$P(a) = 1 \text{ (cas pratique).}$$

Donc on peut écrire

$$\text{Probabilité d'échec de la tâche} = P(A) + P(B/a) + P(C/a.b) + P(D/a.b.c) + P(E/a.b.c.d)$$

II.2.4. 4^{ème} phase : Estimation de l'effet des erreurs humaines sur le système :

➤ **Calcul des coupes minimales (L'arbre de L'événement "éruption" : (voir tableau IV.2.)**

$$\text{ENS} = \mathbf{A * B} = (E1 * E2) * (E3 + E2 + E3)$$

$$\text{ENS} = (E6 + E7 + E8) * E2 * (E9 + E10 + E4 + E5)$$

$$\text{ENS} = (E6 * E2 + E11 * E2 + E12 * E2 + E8 * E2) * (E13 + E14 + E15 + E16 + E17 + E18 + E19 + E20 + E21 + E5)$$

$$\text{ENS} = (E6 * E2 + E11 * E2 + E12 * E2 + E8 * E2) * (E12 + E14 + E15 + E16 + E3 + E18 + E19 + E20 + E21 + E26 * E27 + E23 + E28 * E29 * E15)$$

$$\text{ENS} =$$

$$E6 * E2 * E13 + E6 * E2 * E14 + E6 * E2 * E15 + E6 * E2 * E16 + E2 * E6 * E3 + E2 * E6 * E18 + E2 * E6 * E19 + E6 * E2 * E20 + E2 * E6 * E26 * E27 + E6 * E2 * E23 + E11 * E2 * E13 + E11 * E2 * E14 + E11 * E2 * E15 + E11 * E2 * E16 + E11 * E2 * E3 + E11 * E2 * E18 + E11 * E2 * E19 + E11 * E2 * E20 + E11 * E2 * E21 + E11 * E2 * E26 * E27 + E2 * E11 * E23 + E12 * E2 * E13 + E12 * E2 * E14 + E12 * E2 * E15 + E2 * E12 * E16 + E2 * E12 * E3 + E2 * E12 * E18 + E2 * E12 * E19 + E2 * E12 * E20 + E2 * E12 * E21 + E2 * E12 * E26 * E27 + E2 * E12 * E23 + E8 * E2 * E13 + E8 * E2 * E14 + E8 * E2 * E15 + E8 * E2 * E16 + E8 * E2 * E3 + E8 * E2 * E18 + E8 * E2 * E19 + E8 * E2 * E20 + E8 * E2 * E21 + E8 * E2 * E26 * E27 + E8 * E2 * E23$$

Après le calcul des coupes minimales (chemins critiques) on a constaté que le nombre de ces coupes minimales sont de 43 d'ordre 3 et 4.

Nous observons que dans la majorité des événements conduisant à l'occurrence de l'événement non souhaité (éruption), l'erreur humaine est présente. Cela signifie que l'erreur humaine a un grand effet sur le système.

L'évaluation et la limitation de risque (éruption), permettent de déterminer que la fiabilité du système anti-éruption ne dépend pas uniquement de la fiabilité de ses composants techniques mais aussi de la fiabilité humaine.

II.2.5. 5^{ème} phase : Proposition d'amélioration en vue d'optimiser la fiabilité :

Après l'étude qu'on a fait, on peut dire que l'application des quatre étapes de la méthode THERP sur le système anti-éruption de l'installation de forage a fourni des informations

pertinentes pour la cinquième étape, quant aux différents risques liés à cette opération, et leurs causes originale, et sur la base des résultats de l'application de toutes les étapes de

THERP, on peut proposer un certain nombre d'améliorations :

- La prévention des défaillances humaines (manipulation et négligence) passe d'abord par la compétence ; il faut former correctement les opérateurs (exploitation, maintenance et sécurité...), et améliorer les connaissances en matière de HSE, par la sensibilisation des opérateurs sur les risques existants au niveau des opérations de forage (la culture personnelle) ; surtout les nouveaux recrutés, et les intégrer avec les anciens opérateurs avant leurs retraites, afin de profiter de leurs grandes expériences.
- On a vu que, les erreurs humaines liées aux opérations d'entretien (graissages, serrages des boulons, soudure, CND...), entraînent des risques de dégradation rapide des équipements, et parfois engendrent des dégâts catastrophiques, alors il faut respecter les conditions de base, qui répondent aux préconisations du constructeur, et maintenir l'équipement dans un état opérationnel.
- La formation des travailleurs en terme qualité sécurité environnement par l'introduire de système management HSE intégré puisqu'elle contient les trois références précédente.
- Sensibilisation des travailleurs, motivation par des primes et des promotions, et par l'amélioration des conditions de travail.
- Renforcer l'adaptation des travailleurs aux machines par l'introduction de nouvelles technologies
- Renforcer les systèmes de commande (pannal de commande) par détecteurs des erreurs opérationnelle, par exemple lors de l'exécution de la tache de fermeture de puit en cas de venue l'opérateur exécute la deuxième opération (actionner la fermeture) avant la première opération (alerter l'équipe), le détecteur signale à l'opérateur pour la récupération.

Conclusion :

La démarche proposée a donnée des résultats suivants :

- La description du système est une étape primordiale dans une analyse de sécurité, et cette analyse pourra être plus que si on intègre dans cette représentation le facteur humain, et c'est le cas pour la méthode SADT qui nous montre bien la place de l'opérateur humain dans un processus de fonctionnement normale.
- La méthode THERP permet d'estimer les erreurs humaines et d'évaluer la fiabilité humaine à l'aide des méthodes : AMDEC pour l'analyse systématique des défaillances du système, l'AdD pour déterminer tous les événements de base conduisant à l'apparition de l'événement redouté (éruption) et l'estimation des effets des erreurs humains sur le système. La méthode MAD, permet la description des différentes tâches réalisées par l'opérateur humain, et l'AMDE facteur humain pour identifier les causes et les conséquences de l'écart entre la tâche prescrit et la tâche réalisé.
- Pour l'explication de la chronologie d'un scénario d'accident, la méthode ADE à donner étape par étape le déroulement d'accident constaté lors de cette étude, un accident due à l'opérateur humain et dont les conséquences sont catastrophiques pour l'entreprise.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Dans la majorité des entreprises, nous avons pu constater par le biais des résultats obtenus ; que malgré le degré d'automatisation qui a permis de décharger l'opérateur humain de certaines tâches, celui-ci reste l'élément essentiel dans une démarche globale de sécurité des systèmes complexes.

D'après l'étude du système Anti-éruption, on peut dire que l'aspect technique de la prévention est prépondérant car il s'agit d'assurer des installations, mais l'opérateur à travers ces interactions avec des systèmes techniques peut non seulement constituer une source de défaillance, mais aussi contribuer largement à la sûreté de fonctionnement de ces systèmes techniques.

Les résultats obtenus lors de la mise en application de cette démarche ont bien montré que le facteur humain doit effectivement s'insérer dans une étude de sécurité en :

- Elaborant une description de fonctionnement du système par la méthode SADT.
- La méthode THERP permet d'estimer les erreurs humaines et d'évaluer la fiabilité humaine à l'aide des méthodes, les méthodes sélectionnées afin de réaliser toute les étapes de THERP dans cette présente étude ont permis :
 - AMDEC fait un recensement des modes de défaillances pouvant affecter le système, ainsi que leurs causes et leurs effets et leurs criticité, cette étude est affinée par l'utilisation de l'AdD pour identifier les causes de l'événement non souhaité (éruption) et l'estimation des effets des erreurs humaines sur le système (Lors de la non disponibilité des données des probabilités, nous avons limité notre travail sur la détermination des chemins critiques -les coupes minimales- sans quantification)
 - . La méthode MAD, permet d'obtenir un modèle de tâches qui contient les informations concernant la tâche de l'opérateur humain. Ce modèle permet d'une part d'identifier la structure de la tâche et les actions pour sa réalisation, et d'autre part, de déterminer les conditions de l'exécution de la tâche et chacune de ses actions. Les informations extraites par la méthode MAD sont utiles pour réaliser la troisième étape de la méthode THERP (la probabilité de l'insuccès des différentes tâches réalisées par l'opérateur humain), et la réalisation de la méthode AMDE facteur humain, qui permet l'identification des causes et conséquences de l'écart entre la tâche prescrit et la tâche réalisé.
- L'explication d'un scénario d'accident due à une erreur humaine identifié précédemment en appliquant l'ADE.

Pour des meilleures actions en matière de prévention il faut donc prendre en compte les trois dimensions : technique (matériels technologique, installation, environnement...), organisationnel (organisation de travail, politique et service de prévention, durée de travail, relation, etc.), et personnel (qualification, compétence, formation, instruction,...).

Comme perspective à cette étude nous pouvons proposer que la méthode THERP puisse être prise en compte dans une démarche d'analyse des risques car elle étudie la fiabilité globale du système ; fiabilité technique (par l'analyse de dysfonctionnement du système) et fiabilité humaine (par l'analyse des tâches de l'opérateur, estimation de l'effet des erreurs humaines sur le système).

Et finalement, nous pouvons dire que la prévention des risques ne se limite pas au port des équipements de protection, mais elles nécessitent une véritable étude de sécurité qui prend en compte tous les éléments du système, afin d'arriver à des meilleures solutions de réduction des risques industriels.

Références bibliographiques

- [1] ABDERAHMAN DIB, "prise en compte de la sécurité et la fiabilité humaine, pour l'évaluation et l'amélioration de la sécurité de système homme machine", Doctorat, Université de technologie de Compiègne.1994
- [2] MEHNAOUI MOKDAD, "Division interactions et défaillances technologiques et humaines (IDTH) de l'université de technologie de Compiègne (UTC) ", Magister du département de technologie science de l'homme (TSH).1998-1999.
- [3] JACQUES LEPLAT, « erreur humain, fiabilité humaine dans le travail ».1985.
- [4] Corinne Ratier version 3, le site : CNRS/DSI/BQSD/ERGONOMIE/ENATRAVAIL. Doc. (BQSD), « sensibilisation à la démarche d'analyse de travail ».2000.
- [5] NICOLAS GUICNON, "désigne le cahier des charges", Université Lyon. (2003 :134)
- [6] VILLEMEUR, « surté de fonctionnement des systèmes industrielles : fiabilité- facteur humain » édition : 1998.
- [7] J. LEPLAT et G. de TERSSAC. « Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes ». Édition Octares/ Entreprise, Marseille.1990.
- [8] <http://www.infeig.unige.ch/support/se/lect/gl/meth/node2.html>
- [9] INERIS, direction des risques accidentels ; outils d'analyse des risques générés par une installation industrielle, Mai 2003.
- [10] <http://www.previnform.net/sections.php?op=viewarticle&artid=17>
- [11] VILEMEUR Alain, « La sûreté de fonctionnement des systèmes industriel. Edition EYROLLES, Paris1997.
- [12] ABD ESSALAM BELAID, "technique et économie de l'exploitation du sous-sol", doctorat, l'école nationale supérieur des mines de Paris. 27 septembre 2005.
- [13] ENTP, Rapport environnemental 2006.
- [14] SONATRACH,"Manuel de contrôle de venue".
- [15] JEAN PAUL NGUYEN, "techniques d'exploitation pétrolière-Le FORAGE " Edition technique 27, ingénieur principale à l'institut français du pétrole. rue Ginoux 75737 Paris Cedex 15.
- [16] ENSPM,"Equipement de contrôle de venue".
- [17] [Kolski 1997] Kolski C., « Interface homme-machine: application au système industriels complexes », Hermès, Paris, 1997.
- [18] [SEBILOTE 1991] SEBILLOTTE S., « Décrire des tâches selon les objectifs des opérateurs, de l'interview à la formalisation » INRIA Rocquencourt, Janvier 1991. Rapport technique n°125.

[19] [SEBILLOTTE 1994] SEBILLOTTE S., « Méthodologie pratique d'analyse de la tâche en vue de l'extraction de caractéristiques pertinentes pour la conception d'interfaces. INRIA Rocquencourt, Mai 1994. Rapport Technique n° 163.

[20] [www.Google .fr](http://www.google.fr). méthodes de fiabilité humaine.

[21] Cécile DROOZ VERLY : méthode d'analyse à priori des risques humains et organisationnelles pour la conception d'un système de conduite.

[22] CIMI - Centre de formation et conseil (Maintenance, Production, Management, Techniques). (n.d.), Sûreté de Fonctionnement des installations industrielles.2011
Disponible sur:

https://www.cimi.fr/images/stories/cdt/CDT_Surete_de_fonctionnement_201110.pdf

Consulté le : 14.02.2023

[23] C Pagetti-ENSEEIH, Module de sûreté de fonctionnement. .2012

Disponible sur : <https://www.onera.fr/sites/default/files/u490/cours.pdf>

Consulté le : 27.02.2023

[24] Institut national de l'environnement industriel et des risques, Rapport d'étude N° DRA-10-111793-01257A, État de l'art des méthodes d'évaluation probabiliste de la fiabilité humaine. 2011

Disponible sur :

<https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/DRA-10-111793-01257A.pdf>

Consulté le : 17..03.2023

[25] Romuald Perinet, Tuan Nghiem Vu. Evaluer la fiabilité humaine : quelle(s) méthode(s) choisir?

Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Lambda-Mu 17, La Rochelle, France. Oct 2010

Disponible sur : <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00973592>

Consulté le : 15.04.2023

ANNEXES

ANNEXES

Cotation de la gravité

Valeur Numérique	Gravité de la conséquence
1	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de blessure, dommages ou autres conséquences défavorables.
2	<ul style="list-style-type: none"> • Personnes –blessure légère, pas d’arrêt de travail ou invalidité. • Biens -dommage mineur, ralentissement du travail, ou improductivité des équipements. • Environnement –dégagement contenu ou petit déversement. • Réputation – léger impact.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Personnes – une ou plus de blessures causant des arrêts de travail –pas d’invalidité. • Biens – dommage modéré ralentissement du travail, et improductivité des équipements. • Environnement –petit dégagement ou déversement non contenu. • Réputation – impact mineur, peut exiger une réparation.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Personnes – une ou plus de blessures graves, invalidité. • Biens– dommage résultant d’une interruption significative du travail ou d'improductivité des équipements.

Cotation du non détection :

Valeur Numérique	Probabilité de non détection
1	Détection efficace qui permet une action préventive afin de prévenir la défaillance
2	Il y a un risque que la détection ne soit pas efficace
3	le moyen de détection n'est pas fiable
4	. Il n'y a aucun moyen de détection

Cotation de la fréquence :

Valeur Numérique	Probabilité d'occurrence
1	<ul style="list-style-type: none"> • Occurrence pratiquement impossible. • Jamais entendu parler dans l'industrie.
2	<ul style="list-style-type: none"> • Concevable mais très improbable. • Pourrait avoir eu lieu dans l'industrie.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Possible. • Inhabituel, mais a eu lieu dans l'industrie.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Probable.

RISQUE = PROBABILITE × GRAVITE × PROBABILITE DE NON DETECTION

1-16	FAIBLE
16-32	MOYEN
32-48	ELVE

Matrice d'évaluation des risques :

P r o b a b i l i t é	4	1.4	2.4	3.4	4.4
	3	1.3	2.3	3.3	4.3
	2	1.2	2.2	3.2	4.2
	1	1.1	2.1	3.1	4.1
		1	2	3	4

Gravité

La zone verte indique : risque acceptable.
 La zone jaune indique : zone critique.
 La zone rouge indique : zone inacceptable.