



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

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

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de sécurité industrielle et environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité industrielle

Spécialité : sécurité industrielle et environnement

Thème

La fiabilité humaine

Présenté et soutenu publiquement par :

Dayamita oumnia

Sekhri khouloud

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
MME. AISSANI NASSIMA	MCA	IMSI- Université oran 2	Présidente
MME .BENOMAR FATIMA	MAA	IMSI- Université oran 2	Encadrante
MR. GUETARNI ISLAM HADJ MOHAMED	MCB	IMSI- Université oran 2	Examinateur

Année 2022/2023

Remerciement

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Nous tenons à exprimé notre profonde gratitude à notre chère professeure et encadrant **M.BEN OMAR FATIMA** pour son suivi et pour son énorme soutient qui'elle n'a cessé de nous prodiguer tout au long de la période du projet.*

Nous adressons aussi nos vifs remerciements aux membres de jurys pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail.

Nos remerciements vont à tout le personnel que nous avons contacté durant nos stages au sien de l'entreprise SONATRACH, auprès des quelles nous avons trouvés l'accueil chaleureux, l'aide et l'assistance dont nous avions besoin.

Nous ne laisserons pas cette occasion passer, sans remercier tous les enseignants et le personnel de l'institué de maintenance et sécurité industrielle et particulièrement ceux de la section d'hygiène et sécurité industrielle pour leur aide et leurs précieux conseils et pour l'intérêt qu'ils portent a notre formation.

En fin, nos remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin au bon déroulement de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce projet :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

*A mes frères, SAFWAN, NADIR, CHOUAIB et le défunt DEGAGRA
OMAR.*

A mes sœurs, YESSRINE, RIFKA, HANANE.

*Pour leur soutien moral et leurs conseils précieux tout au long de mes
études.*

A mon cher grand-père,

Qui je souhaite une bonne santé.

A ma chère binôme, SEKHRI KHOULOU, D,

Pour son entente et sa sympathie.

Pour son indéfectible soutien et sa patience infinie.

A mon cher, SALAHEDDINE,

Qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles.

*Ames chères ami(e)s, IMANE, LINA, IKRAM, DJIHENE, LATTIFA ET
MOHAMED,*

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A toute ma famille.

DAYAMITA OUMNIA

Dédicace

Je dédie ce projet :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères, EZZEDDINE, ASAAD,

Pour leur soutien moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A mon cher grand-père,

Qui je souhaite une bonne santé.

A ma chère binôme, DAYAMITA OUMNIA,

Pour son entente et sa sympathie.

Pour son indéfectible soutien et sa patience infinie.

Qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles.

*Ames chères ami(e)s, IMANE, LINA, IKRAM, DJIHENE, LATTIFA ET
, NADIA,*

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A toute ma famille.

SEKHERI KHOULOU

RESUME :

A partir des années 50, les entreprises ont développé des mesures techniques pour être plus fiable et rapide en termes de production et pour prévenir les risques industriels. Des systèmes de management, des méthodes de gestion et des techniques ont été misent en place pour améliorer la sécurité des systèmes industriels. Malgré les procédés mis en jeu, les risques ont persistés. Une composante importante a été mise en lumière qui est le facteur humain.

En effet, pour améliorer la sécurité industrielle, il faut améliorer la fiabilité de toutes les composantes du système et en particulier le sous-système humain qui représente 80% à 90% de la défaillance.

L'objectif de ce travail c'est d'analyser quantitativement la probabilité d'occurrence de l'erreur humaine, c'est qu'on appelle l'étude de la fiabilité humaine. Nous avons appliqué les principales méthodes d'évaluation (THERP et TESEO).

Mots clés : erreurs humaines ; facteur humain ; sécurité industrielle ; fiabilité humaine ; THERP ; TESEO.

ملخص:

منذ خمسينيات القرن العشرين، طورت الشركات إجراءات تقنية لتكون أكثر موثوقية وسرعة من حيث الإنتاج ولمنع المخاطر الصناعية. تم وضع أنظمة الإدارة وأساليب وتقنيات الإدارة لتحسين سلامة الأنظمة الصناعية. وعلى الرغم من العمليات المعنية، استمرت المخاطر. وقد تم تسليط الضوء على عنصر مهم وهو العامل البشري.

في الواقع، لتحسين السلامة الصناعية، من الضروري تحسين موثوقية جميع مكونات النظام وخاصة النظام الفرعي

% من الفشل. 90% إلى 80 البشري الذي يمثل

الهدف من هذا العمل هو إجراء تحليل كمي لحساب احتمالية حدوث الخطأ البشري، وهو ما يسمى بدراسة الموثوقية

(.TESEO و THERP البشرية. طبقنا طرق التقييم الرئيسية)

الكلمات المفتاحية: الأخطاء البشرية؛ العامل البشري الأمن الصناعي ; الموثوقية البشرية ثيرب؛ تيسيو.

abstract :

Since the 1950, companies developed technical measures to be more reliable and fast in terms of production and to prevent industrial risks. Management systems, management

methods and techniques have been put in place to improve the safety of industrial systems. Despite the processes involved, the risks persisted. An important component has been highlighted which is the human factor.

Indeed, to improve industrial safety, it is necessary to improve the reliability of all components of the system and in particular the human subsystem which represents 80% to 90% of the failure.

The objective of this work is to carry out a quantitative analysis to calculate the probability of human error, which is called the study of human reliability. We applied the main evaluation methods (THERP and TESEO).

Keywords: human errors; human factor; industrial Security ; human reliability; THERP; TESEO.

Sommaire :

Introduction générale.....	1
Chapitre I :.....	2
Généralité sur la sûreté de fonctionnement.....	2
Introduction :.....	3
I. sûreté de fonctionnement.....	3
I. 1. Historique :.....	3
I. 2. Définition :.....	4
I.3. but de sûreté de fonctionnement :.....	4
I.4. grandeurs de la sûreté de fonctionnement:.....	4
I. 4.1 fiabilité :.....	5
I.4. 2. maintenabilité :.....	5
I.4. 3. Disponibilité :.....	5
I.4. 4. Sécurité:.....	5
I. 5. Métriques de la sûreté de fonctionnement :.....	6
I. 6. Terminologie relative à la sûreté de fonctionnement :.....	7
I.6.1 Notions de défaillance, erreur et faute:.....	7
II. sûreté de fonctionnement dans les systèmes homme machine:.....	7
II. 1. Système machine –homme :.....	7
II.1. 1 Définition du système homme machine :.....	7
II.1.2 types de système homme-machine :.....	7
II.1. 3 Sécurité dans les systèmes homme-machine :.....	8
II. 1.4 Notion de risque relative à la sécurité :.....	8
III. facteur humain :.....	11
III.1. Définition du facteur humain :.....	11

III.2. L'importance du facteur humain :	11
III.3. point faible et les limites de facteur humain :	11
III.2. Fondement de l'approche facteur humain :	12
III.3. Fondement de l'approche facteur organisationnel :	13
III.4.Limites de l'approche facteur humain et organisationnel :	13
III.5. Qu'est-ce que l'approche Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle :	14
III.6. Pourquoi une approche Facteurs humains et organisationnels de la sécurité ?.....	14
III.7 L'intégration des FHO dans le SMS :	15
Conclusion :	16
Chapitre II :	17
différentes approches de la fiabilité humaines	17
Introduction :	18
I. fiabilité humaine :	18
I.1 Définition de la fiabilité humaine :	18
I. 2 Historique de la fiabilité humaine :	18
I. 3 Evolution des approches de la fiabilité humaine :	19
I. 4 fiabilités humaines et sécurité :	21
I.4.1. Définition de la barrière humaine de sécurité :	22
I.4.2. Exemples des barrières humaines de sécurité :	22
I. 5 catégories de barrières humaines de sécurité :	23
II. L'analyse du couple homme-tâche :	23
II. 1 tâche :	23
II. 2 Classification des taches :	24
II.2. 1 Tâche prescrite :	24
II.2.2 Tâche induite :	24
II.2. 3 Tâche spécifiée :	24

II.2. 4 Tâche réelle ou réalisée :	24
II.2. 5 Tâches simples :	24
II.2. 6 Tâches complexes :	24
II.2. 7 tâches de vigilance :	24
II.2. 8 tâches de contrôle :	25
II.2. 9 tâches post-incidentelles ou post- accidentelles :	25
II. 3. Analyse de tache :	25
II.4. composantes d'une situation de travail :	26
III. erreur humaine :	27
III. 1 Définition de l'erreur humaine :	27
Définition 1 :	27
Définition 2 :	28
III. 2 Raisons d'apparition d'une erreur humaine :	28
III. 3 Types d'erreurs humaines :	29
III.4 Classification des erreurs humaines :	30
Synthèse :	34
Conclusion :	34
Chapitre III :	35
méthodes d'évaluation de la fiabilité humaine	35
Introduction :	36
I. Inventaire (non exhaustif) des méthodes :	36
I.1.Classification des méthodes :	39
I.1.1.1 méthodes de 1 ^{ère} génération :	39
I.1.1.2 méthodes de 2 ^{ème} génération :	40
I.1.1.3 méthodes de 3 ^{ème} génération :	40
I.2.Classification par type d'approche :	41
II. 1.Évaluation de la fiabilité humaine (human reliability analysis) :	41

II.1.1L’analyse des tâches :	43
II.1.2.L’identification des erreurs humaines ou HEI (Human Error Identification) :.....	43
II.1.3.Représentation des erreurs humaines :.....	43
II.1.4.Évaluations des impacts des erreurs humaines :.....	43
II.1.5L’analyse et quantification des erreurs humaines :	44
II.1.6. réduction des risques d’erreurs humaines :	44
II.1.7. documentation et l’assurance de la qualité :	44
II.2 Méthodes d’analyse de l’erreur humaine :.....	45
II.2.1 Méthodes a priori :	45
II.2.2 Méthodes <i>a posteriori</i> :	45
II.2.3 Méthodes dynamiques :.....	46
II. Synthèse :	46
III. approches d’évaluation de la fiabilité humaine	47
III.1 méthode THERP: (Technique for Human Error Rate Prediction):	47
III.1.1. Fondement :	48
III.1.2 Procédure :	50
III.1.3Commentaires.....	54
points forts :	54
points faibles :.....	54
III.2 méthode TESEO : (TECNICA EMPIRICA STIMA ERRORI)	55
III.2.1 principe de la méthode TESEO :	56
II.2.2 avantages de la méthode TESEO :.....	57
III.2.3 limites de la méthode TESEO :	58
Conclusion :.....	58
Chapitre IV :.....	59
Application des principaux méthodes	59

Introduction	60
I. Application de méthode THERP sur un scénario proposé.....	61
I.1 Exemple :	61
Solution :	61
I. 2 Descriptif de la mission facteur humain choisie pour cette étude de cas :	63
I.3.Application de la méthode THERP :	65
I.3.1. Identification des erreurs potentielles et estimation des probabilités des erreurs en tenant compte des facteurs de performance PSFs :	65
I.3.2. Étape03: Estimer la probabilité globale de la mission :	67
I.3.3 Conséquences et recommandation	68
II. Application de la méthode TESEO :	68
Identification de la valeur des facteurs d'après les cinq (5) tables motionnés dans le troisième chapitre selon (Fadier et Al 1994) :	68
Exemple 2 « accident N°2 : Électrification » :	69
Identification de la valeur des facteurs d'après les cinq (5) tables motionnés dans le troisième chapitre selon (Fadier et Al 1994) :	69
Conséquence et recommandation :	70
Conclusion :	70
Conclusion générale :	71
Bibliographie	72
Annex:	75

Liste des figures :

<i>Figure I-1: Durées moyennes associées à la sûreté de fonctionnement</i>	07
<i>Figure I-2: les types de système homme machine</i>	08
<i>Figure I-3 : éléments du risque selon [ISO 14121-1,2007</i>	09
<i>Figure I-4: Le champ de FHOS</i>	14
<i>Figure I-5 : Approche successive de la sécurité industrielle</i>	15
<i>Figure II-6 : Typologie des barrières de sécurité</i>	22
<i>Figure II-7 : Les niveaux de la tâche selon (Guillevic, 1993</i>	25
<i>Figure II-8 : Les composantes d'une situation de travail</i>	27
<i>Figure II-9 : Les raisons d'apparition des erreurs humaines</i>	28
<i>Figure II- 10: Les différents types d'erreurs humaines</i>	29
<i>Figure III-11 : Classification des méthodes d'évaluation de la fiabilité humaine selon PyyP</i>	41
<i>Figure III-12: Démarche générale d'évaluation de la fiabilité humaine</i>	42
<i>Figure III-13: le principe de méthode THERP</i>	50
<i>Figure III-14: Les arbres d'événement de THERP appliqués en pratique (S est la probabilité de succès de la mission ; FA, FB, FC sont les probabilités d'échec des étapes « A », « B » et « C »)</i>	53
<i>Figure III-15: Démarche de réalisation d'une évaluation THERP</i>	55
<i>Figure IV-16: Arbre d'événement THERP de la mission «démarrer un véhicule»</i>	63
<i>Figure IV-17: Durées moyennes associées à la sûreté de fonctionnement</i>	64
<i>Figure IV- 18: Estimer la probabilité globale de la mission</i>	67

Liste des tableaux

Tableau I-1: paramètres de sûreté de fonctionnement.....	05
Tableau II-2: Classification des erreurs humaines.....	30
Tableau III-3: Liste des méthodes d'évaluation de la fiabilité humaine et analyse des tâches	3 7
Tableau III-4: La classification des méthodes par génération	40
Tableau III-5: Méthodes d'analyse de l'erreur humaine	47
Tableau III-6: Probabilités des erreurs d'omission par situation lorsque l'utilisation de procédures écrites et spécifiée.....	49
Tableau III-7: Exemple de tableau d'estimation des erreurs humaines proposé par Swain.....	52
Tableau III-8: Facteur de type d'activité de la méthode TESEO.....	56
Tableau III-9: Facteurs de stress temporel de la méthode TESEO.....	56
Tableau III-10: Facteurs de caractéristiques de l'opérateur, propres à la méthodes T E S E O	5 7
Tableau III-11: Facteur d'anxiété de l'opérateur, propres de la méthode T E S E O	5 7
Tableau III-12: Facteur ergonomiques de l'activité, propres à la méthode TESEO.....	57
Tableau VI-13: Les étapes de la mission "Réchauffer un four".....	65
Tableau VI-14: les erreurs et leurs probabilités estimées	65

Liste des abréviations

ADD : abre de défaillance.

AMDE : analyse des modes de défaillances et leur effets.

AMDEC : analyse des modes de défaillances de leur criticités.

BHEP : basic human erroe probability.

EOO : error of omission.

EOC : error of comission.

EPS : etude de probabiliste de sûreté.

EPFH : evaluation probabiliste de fiabilité humaine.

EFH : évaluation de la fiabilité humaine.

FHO : facture humain et organisationnel.

FHOS : facture humain et organisationnel de la sécurité industrielle.

HEP : basic human erroe probability.

HAZOP : hazard and operability studies.

HRA : human reability analyse.

HTA : hierarchical task analyse.

HEI : human error indentification.

HFES : human failure events.

HEP : human error probability.

HRAET : human reliability analyse event tree.

IESF : ingénieur et scientifique de France.

ISO : organisation internationale de normalisation.

MTTF : mean time to failure.

MTTR : mean time to repare.

MUT : mean time up.

MDT : mean down time.

MTBF :mean time between failure.

MAC : méthode de l'arbre de cause.

NHEP : nominale human error probability.

PSF : performance shaping factors.

SMS : système management de sécurité.

THERP : technique for human rate prediction.

TESEO : technica empiricia sitma errori operatori.

Introduction générale

Pour maîtriser les risques technologiques en termes de sécurité industrielle. Beaucoup d'efforts ont été consacrés, le but était d'améliorer la fiabilité des systèmes techniques (l'ère technique pendant les années 50.

L'orientation vers le facteur humain n'a été abordée qu'avec l'émergence de grandes catastrophes industrielles telles que Bhopal, Challenger, Tchernobyl, Three Mile Island, Piper Alpha, AZF...[1] qui ont montré que la technologie, n'a pas été la seule cause majeure d'accidents industriels. On trouve que les causes profondes des deux tiers d'accidents sont d'origine humaine et organisationnelle. La chose qui a été confirmé par des études empiriques. [2]

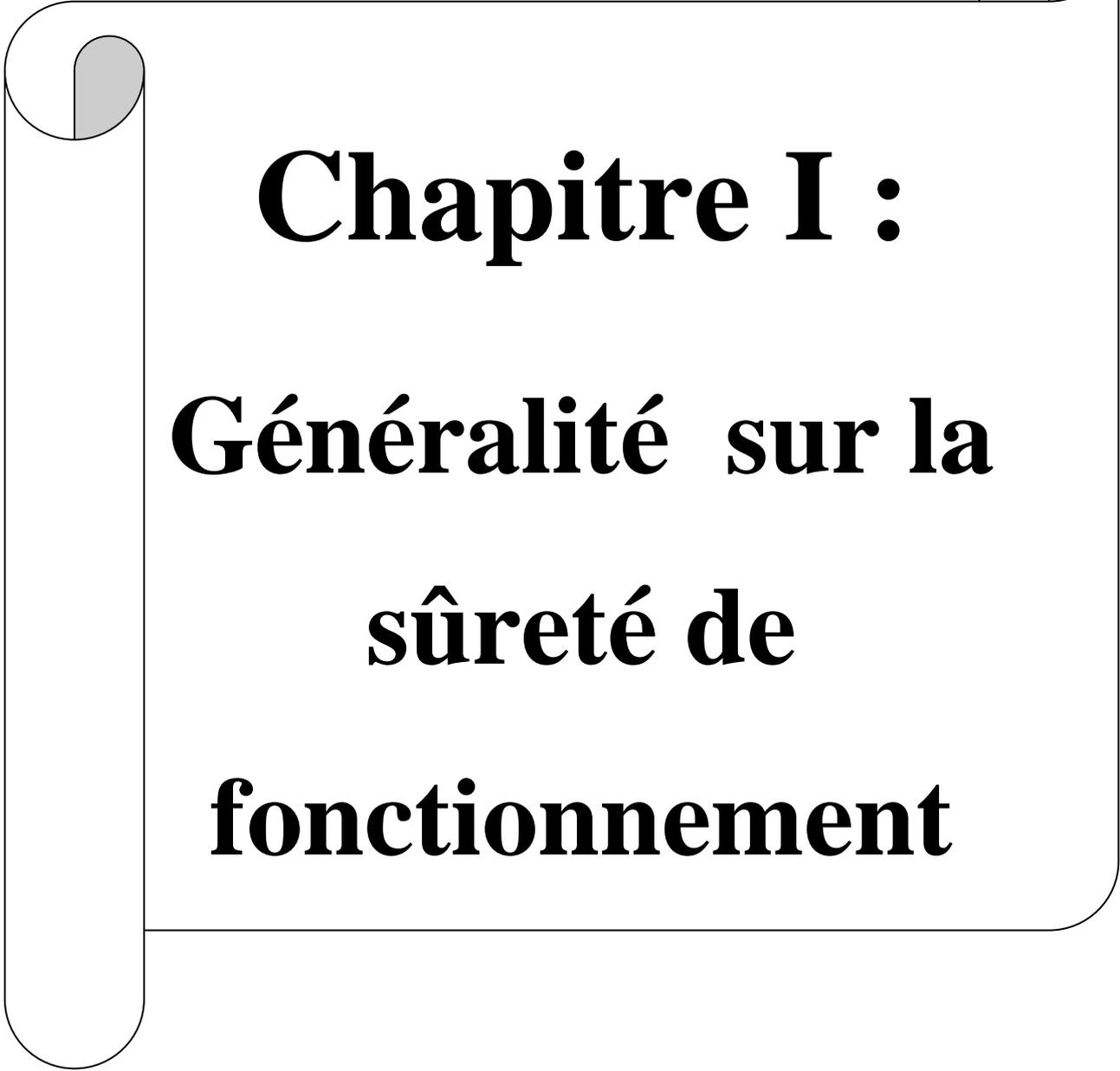
On trouve que 80 % à 90% des accidents sont dus une erreur humaine : Plus de 70% dans les accidents d'avion, plus de 80% dans l'industrie pétrochimique et chimique, et plus de 75% dans le domaine de la marine, ainsi que la part de l'erreur humaine dans l'industrie nucléaire est égale 90% .[3]

En effet, la prise en compte du facteur humain est devenue nécessaire vu sa part dans l'occurrence de la défaillance industrielle. D'où l'importance de son intégration dans la sécurité industrielles, pour garantir un bon fonctionnement de ces systèmes et d'une autre pour atteindre une bonne performance organisationnelle.

Notre travail se base sur l'étude de l'apport la composante humaine dans la réalisation des accidents. Alors comment évaluer l'erreur humaine pour améliorer la sécurité industrielle ?

Nous avons structuré notre travail en 4 parties essentielles :

- Le premier chapitre est dédié aux généralités sur la sûreté de fonctionnement, ses principaux concepts de base.
- Le deuxième chapitre présente la fiabilité humaine et ses différentes approches
- Le troisième chapitre aborde les méthodes d'évaluations de la fiabilité humaine
- et les applications de principales méthodes feront l'objet du quatrième chapitre.



Chapitre I :
Généralité sur la
sûreté de
fonctionnement

Introduction :

Pendant longtemps, pour la plupart des organisations, la sûreté de fonctionnement (SdF) reposait essentiellement sur les performances des systèmes techniques. Elle avait pour objectif la recherche d'un meilleur confort, d'une garantie de continuité de service et de maintien, à moindre coût de la qualité d'un produit ou d'un système donné. Elle permettait d'optimiser le couple « performance-coût », en identifiant, évaluant et maîtrisant les pannes qu'il est susceptible de subir. Or celles-ci, peuvent engendrer des risques conduisant à l'absence du service (problème de fiabilité), entraîner des pertes de production (problème de disponibilité et/ou de maintenabilité) ou provoquer des accidents avec ou non des pertes humaines et des atteintes à l'environnement (problème de sécurité). Aujourd'hui, le développement technologique n'est plus dissocié de la nécessité du contexte sécurisé. Notre contribution porte sur le rôle fondamental du facteur humain dans le management intégré des risques d'une part et du rôle déterminant qu'il peut avoir à jouer pour que la sûreté de fonctionnement réponde à sa propriété d'autre part. [4]

I. sûreté de fonctionnement

I. 1. Historique :

Les premières études de sûreté de fonctionnement sont apparues à partir des années 1950 dans des domaines à hauts risques tels l'aéronautique, l'aérospatiale ou le nucléaire. Les études statistiques sur les fréquences de pannes et accidents qui étaient alors menées, avaient pour objectif de renforcer la sécurité des systèmes par l'amélioration de la fiabilité des pièces jugées critiques ou en ayant recours à la redondance matérielle. Les résultats de ces études statistiques ont montré que l'amélioration de la sécurité d'un système ne passe pas uniquement par la prise en compte des pièces les plus faibles mais par la prise en compte de l'ensemble des composants en interaction du système. Ainsi, c'est à partir des années 1960 que sont apparues de nouvelles méthodes et techniques de sûreté telles que l'Analyse des Modes de défaillances et de leurs Effets (AMDE), la méthode de l'arbre de défaillances (AdD). Dès lors, la sûreté de fonctionnement joue un rôle important dans la conception de nouveaux systèmes ainsi que dans la maintenance de ces systèmes en phase d'exploitation. Le souci de rentabiliser les investissements engagés pour produire des biens et des services a conduit à formaliser les notions de disponibilité, de maintenabilité et les concepts associés : testabilité, serviabilité, diagnostic, soutien logistique intégré. Les années 80 et 90 ont été marquées par la prise en compte dans les études de sûreté de fonctionnement de la pénétration de l'informatique industrielle et des facteurs humains, avec l'apparition d'outils tels que les chaînes de Markov, les réseaux de Petri et les simulateurs d'accidents. Ces nouveaux aspects soulignent les efforts menés pour concevoir des systèmes toujours plus sûrs. [5]

I. 2. Définition de la sûreté de la fonctionnement (SDF):

Aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. On notera que ce concept peut englober la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité, la sécurité, la durabilité... ou des combinaisons de ces aptitudes.

Au sens large, la SdF est considérée comme la science des défaillances et des pannes.

La sûreté de fonctionnement est souvent définie comme:

- fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité.
- science des défaillances.
- maintien de la qualité dans le temps. [6]

I. 3. But de sûreté de fonctionnement :

L'objectif de la sûreté de fonctionnement :

- Mesurer la qualité de service délivré par un système, de manière à ce que l'utilisateur ait en lui une confiance justifiée. Cette confiance justifiée s'obtient à travers une analyse qualitative et quantitative des différentes propriétés du service délivré par le système, mesurée par les paramètres probabilistes associées : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité.
- Atteindre le Graal de la conception de système : zéro accident, zéro arrêt, zéro défaut (et même zéro maintenance). Pour pouvoir y arriver, il faudrait tester toutes les utilisations possibles d'un produit pendant une grande période ce qui est impensable dans le contexte industriel voire même impossible à réaliser tout court. [7]

I. 4. Grandeurs de la sûreté de fonctionnement:

La sûreté de fonctionnement est fondée sur les quatre grandeurs suivantes : Fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité.

Les quatre grandeurs et d'autres paramètres de sûreté de fonctionnement sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau I-1 : paramètres de sûreté de fonctionnement. [8]

Paramètre	Désignation	Définition
La fiabilité	R(t)	probabilité qu'une entité fonctionne entre l'instant 0 et t
La disponibilité	A(t)	probabilité qu'une entité fonctionne à l'instant t

La maintenabilité	$M(t)$	probabilité qu'une entité soit réparée entre l'instant 0 et t
La sécurité	$S(t)$	probabilité qu'une entité n'ait aucune défaillance catastrophique entre l'instant 0 et t
Le taux de défaillance	$\Lambda(t)$	La probabilité qu'une défaillance d'un composant apparaisse entre t et t + dt, sachant que le composant a fonctionné entre 0 et t
Le taux de réparation	$\Psi(t)$	La probabilité qu'un composant soit réparé entre t et dt sachant qu'il était défaillant entre 0 et t
Le taux de défaillance à la sollicitation	$\gamma(t)$	la probabilité que le composant tombe en panne au moment où il est sollicité

I. 4.1 Fiabilité :

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir les fonctions requises dans des conditions données pendant une durée donnée. Elle est caractérisée par la probabilité $R(t)$ que l'entité E accomplisse ces fonctions, dans les conditions données pendant l'intervalle de temps $[0; t]$, sachant que l'entité n'est pas en panne à l'instant 0. [8]

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

I.4. 2. Maintenabilité :

La maintenabilité est l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est réalisée dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits. Elle est caractérisée par la probabilité $M(t)$ que l'entité E soit en état, à l'instant t, d'accomplir ses fonctions, sachant que l'entité était en panne à l'instant 0. [8]

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

I.4. 3. Disponibilité :

La disponibilité est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir les fonctions requises dans les conditions données et à une instant donnée. Elle est caractérisée par la probabilité $A(t)$ que l'entité E soit en état, à l'instant t, d'accomplir les fonctions requises, dans des conditions données. [8]

$$A(t) = \text{Pro} \{E \text{ non défaille à l'instant } t\}$$

I.4. 4. Sécurité:

La sécurité est l'aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques. Elle est caractérisée par la probabilité $S(t)$ que l'entité E ne

laisse pas apparaître dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques. [8]

I. 5. Métriques de la sûreté de fonctionnement :

Temps moyens de fiabilité :

Il existe aussi des grandeurs associées à la Sûreté de fonctionnement.

- MTTF (Mean Time To Failure) la durée moyenne de fonctionnement d'une entité avant la première défaillance

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

- MTTR (Mean Time To Repair) la durée moyenne de réparation

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

- MUT (Mean Up Time) la durée moyenne de fonctionnement après réparation
- MDT (Mean Down Time) la durée moyenne d'indisponibilité après défaillance
- MTBF (Mean Time Between Failure) la durée moyenne entre deux défaillances

$$MTBF = MDT + MUT$$

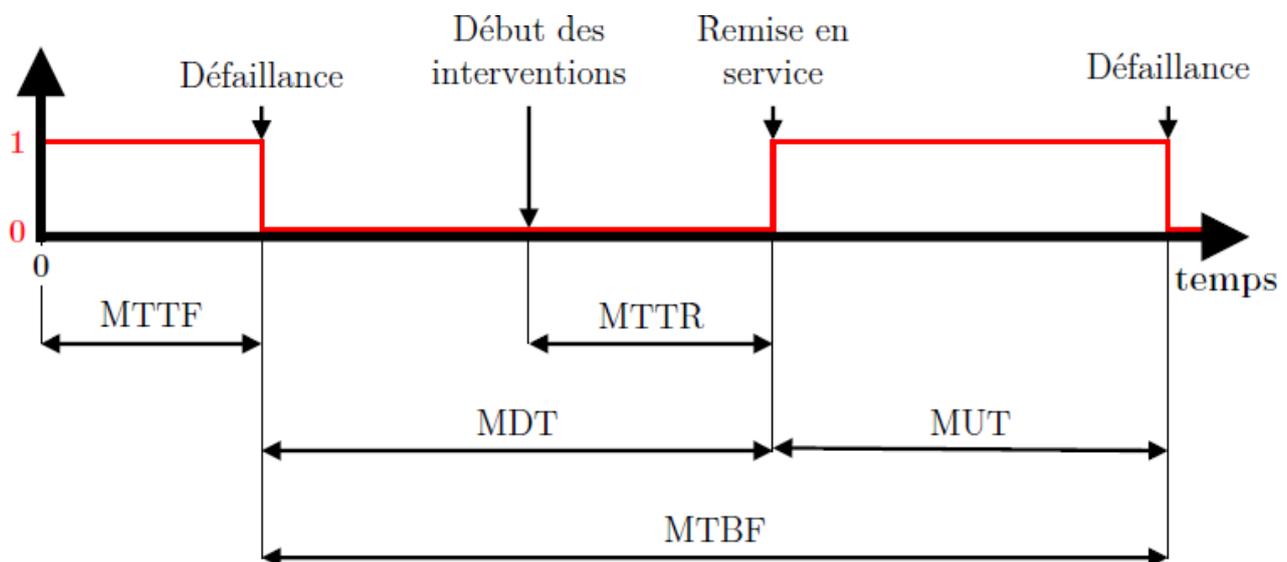


Figure I-1: Durées moyennes associées à la sûreté de fonctionnement. [9]

I. 6. Terminologie relative à la sûreté de fonctionnement :

I.6.1 Notions de défaillance, erreur et faute:

La sûreté de fonctionnement possède de nombreux concepts puisqu'elle inclut la connaissance, l'évaluation, la prévision et la maîtrise des défaillances.

Une **faute** est la première cause d'une erreur. Lorsqu'elle se manifeste, elle est susceptible de générer de nouvelles erreurs.

UN système ou un sous-système est déclaré en **erreur** s'il ne répond plus au besoin qui lui est associé et si cette erreur est susceptible d'entraîner une défaillance.

Un système qui ne fournit plus la fonction pour laquelle il a été conçu est déclaré comme **défaillant**. Selon la définition de la Commission Electrotechnique Internationale, la défaillance est la fin de l'aptitude d'un dispositif à accomplir sa fonction requise. [5]

II. Sûreté de fonctionnement dans les systèmes homme machine:

II. 1. Système machine –homme :

II.1. 1 Définition du système homme machine :

Un système machine homme est une organisation complexe composée à la fois d'hommes et de systèmes techniques reliés entre eux par des moyennes de communication et travaillant pour atteindre un but commun en fonction des contraintes de l'environnement.

Le système homme machine est un système qui doit être vu comme dynamique mettant en jeu à la fois des compétences techniques et humains. Les interactions entre l'opérateur humain et le système technique influencent les paramètres de sûreté de fonctionnement et toute analyse doit tenir compte de l'ensemble du système homme machine. [10]

II.1.2 Les types de système homme-machine :

Il existe de nombreux types différents de systèmes homme-machine, ils peuvent être regroupés en trois types, comme le montre la figure I.2.

Les systèmes automatisés exécutent des fonctions liées aux opérations telles que le traitement, la prise de décision, l'action et la détection. La plupart de ces systèmes sont du type en boucle fermée (un système en boucle fermée peut être exprimé comme un système continu exécutant certains processus qui nécessitent un contrôle et une rétroaction continus pour sa mission opérationnelle réussie) et généralement les fonctions de base associées à de tels systèmes sont la programmation, , entretien et surveillance.

Les systèmes manuels sont constitués d'outils à main et d'autres aides ainsi que de l'opérateur qui contrôle l'ensemble de l'opération. L'opérateur utilise sa propre énergie physique comme source d'alimentation, puis transmet/reçoit des outils une grande quantité d'informations.

Enfin, les systèmes mécaniques ou semi-automatiques sont constitués de pièces bien intégrées, telles que divers types de machines-outils motorisées. Habituellement, dans ces systèmes, les machines fournissent la puissance et les opérateurs humains exécutent généralement les fonctions liées au contrôle. [11]

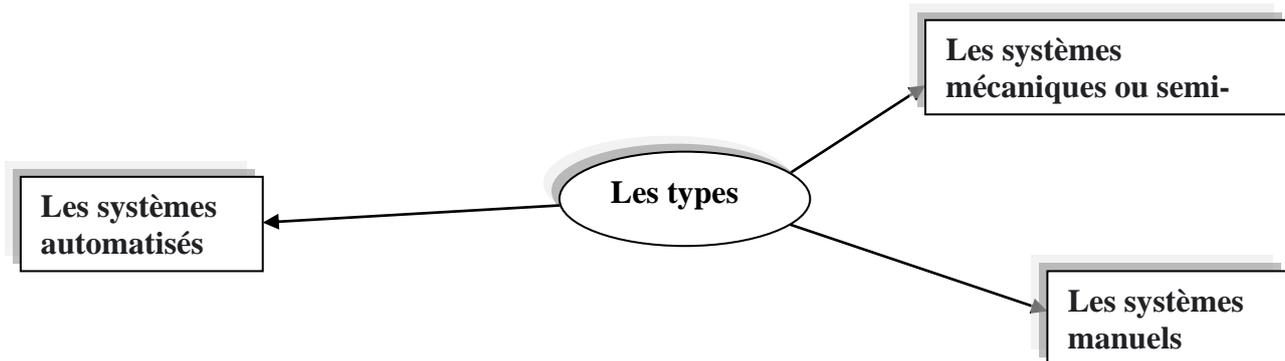


Figure I-2: les types de système homme-machine. [11]

II.1. 3 Sécurité dans les systèmes homme-machine :

La sécurité, notion importante dès la conception des systèmes Homme-Machine, est prise en compte par une démarche d'analyse des risques. Cette démarche a pour objectif de produire des systèmes sûrs dans le cas d'une conception d'une nouvelle machine ou bien d'améliorer la sécurité des systèmes déjà existants. [12]

II. 1.4 Notion de risque relative à la sécurité :

Le risque est un concept qui touche toute organisation, dans tous les domaines. Il est défini comme la possibilité qu'un effet indésirable se produise. [13]. Les notions de risque et de sécurité sont quelques fois confondues. En effet, un état de sécurité correspond à l'élimination, la prévention et la protection du risque. Différentes définitions en matière de sécurité sont apparues, ce qui a créé différents points de vue, nous citons deux auteurs donnant des définitions différentes :

- Le premier considère la sécurité comme l'absence d'un événement indésirable et donc l'absence du risque, généralement mesuré par le nombre d'événements indésirables tels que les incidents et les accidents.[14]
- Le deuxième considère la sécurité comme l'aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques. [13]. Cette définition

n'exclut pas la présence du risque dans un état de sécurité et l'absence d'incidents ou d'accidents ne signifie pas l'absence du risque.

La norme définit le risque comme la combinaison de la probabilité d'un dommage et de la gravité de ce dommage. Deux éléments caractérisent le risque : la gravité du dommage et la probabilité de son occurrence (Figure 2). [15]

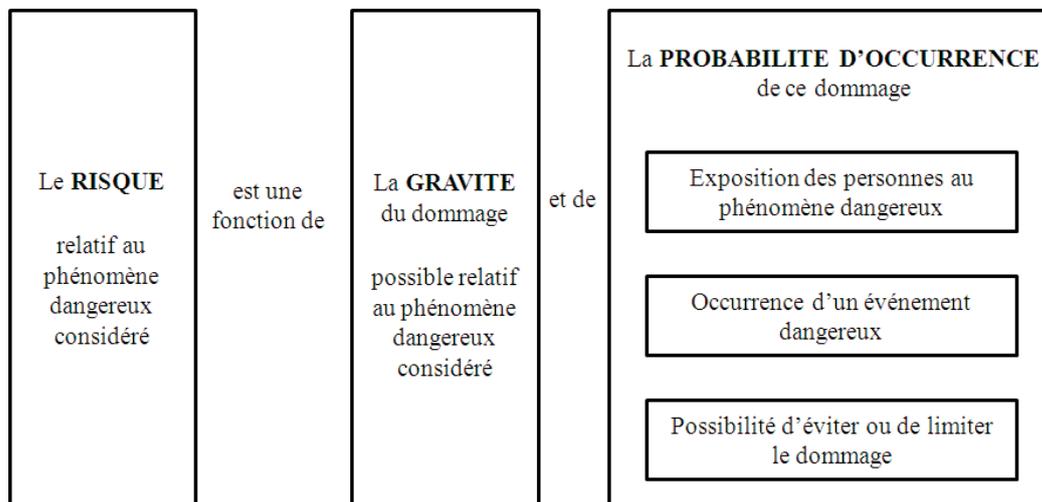


Figure I-3 : éléments du risque selon [15]

Evaluation de la probabilité d'occurrence

Pour chaque phénomène dangereux, il convient d'évaluer la probabilité d'occurrence du dommage. Le retour d'expérience et l'avis des experts peuvent être une base de l'analyse de l'occurrence d'un incident. En ce qui concerne le risque relatif à la sécurité des opérateurs humains, la probabilité d'occurrence peut être estimée en prenant en compte les facteurs suivants :

- l'exposition des personnes au phénomène dangereux.
- l'occurrence d'un événement dangereux.
- la possibilité d'éviter ou de limiter le dommage.

- **Evaluation de la gravité :**

Elle consiste à évaluer les conséquences qu'un dommage peut provoquer. Des niveaux de gravité sont choisis afin de répertorier les effets d'un événement redouté. Pour les effets affectant la sécurité, l'évaluation de la gravité doit prendre en compte :

- la gravité des lésions ou de l'atteinte à la santé.
- l'étendue du dommage (une ou plusieurs personnes). [15]

II.1.5 L'analyse du risque d'un système homme machine :

L'analyse du risque se focalise sur les événements non sûrs. Du fait de la composition du système homme machine, elle doit tenir en compte à la fois des défaillances techniques et des défaillances humaines.

L'objectif des méthodes d'analyse de risque est d'obtenir une estimation du risque à partir de l'identification des défaillances, plusieurs méthodes existantes permettent cette démarche et font l'objet de nombreux ouvrages.

On distingue les démarches inductives qui partent de la défaillance et recherchent à mettre en évidence les effets sur le système. a ce titre, on peut citer :

- L'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités (AMDEC) qui est une méthode d'analyse systématique de chaque composant du système concerné par l'étude. Elle a pour but d'identifier les modes de défaillances dont les effets négatifs sont observables au travers de la diminution de la fiabilité, la disponibilité ou la sécurité du système.
- HAZOP (hazard and operability studies). il s'agit d'une étude systématique, structurée et planifiée des processus ou opérations afin d'identifier et évaluer les dangers et le risque correspondant. cette technique a été initialement développée pour l'industrie chimique mais elle peut s'étendre à tous les systèmes complexes.

A l'opposé, les démarches déductives (qualifiées d'analyse) cherchent à mettre en évidence les causes d'une défaillance donnée. C'est le cas des méthodes suivantes :

- La méthode de l'arbre des causes (MAC) également connue sous les noms d'arbre des défauts ou d'arbre des défaillances. elle se base sur une représentation graphique de combinaisons logiques de causes conduisant à l'événement redouté correspondant au sommet de l'arbre;
- L'analyse des causes communes de défaillance qui cherche à identifier les défaillances susceptibles d'entraîner plusieurs défaillances simultanées.

Dans tous les cas ces méthodes se basent sur une décomposition structurale du système en composants élémentaires afin d'identifier les différentes défaillances et d'étudier leurs combinaisons. En revanche dans un système homme machine, l'opérateur est un élément qu'on ne peut pas décomposer. D'où la complexité ces erreurs sont difficilement analysées directement par ce type de méthode. Il est donc nécessaire de recourir à une analyse Prenat en compte des facteurs humains. [10]

III. Facteur humain :

III.1. Définition du facteur humain :

On peut définir les facteurs humains comme : tous les facteurs qui facilitent la réalisation du travail de façon appropriée. L'étude de facteur humain est l'étude des relations entre les individus, les moyens et le matériel qu'elles utilisent sur leur site de travail et l'environnement au sein duquel elles travaillent. Selon les mêmes auteurs, l'étude des facteurs humains porte sur les interactions entre les individus et les systèmes avec lesquels ils interagissent. [16]

III.2. L'importance du facteur humain :

L'étude des facteurs humains porte sur les relations entre les individus et les systèmes avec lesquels ils interagissent en se concentrant sur l'amélioration de l'efficacité, de la créativité, de la productivité et de la satisfaction au travail en vue de minimiser les erreurs. Une mauvaise application des principes relatifs aux facteurs humains constitue l'un des aspects majeurs de la plupart des événements indésirables (dommages aux patients) en matière de soins. Par conséquent, tous les professionnels de santé ont besoin de posséder les bases nécessaires à la compréhension des principes relatifs aux facteurs humains. Des professionnels de santé qui ne connaissent pas les bases des facteurs humains seraient comme des spécialistes de la lutte contre les infections qui ne connaîtraient pas la microbiologie. [17]

III.3. Point faible et limites de facteur humain :

L'homme malgré ses compétences et ses réalisations, a également ses points faibles et ses limites dans l'industrie [18]

1. **Capacité physique limité :** les capacités physiques de l'homme ont leurs limites. par exemple, il peut être limité par sa force physique lorsqu'il s'agit de soulever des charges lourdes ou de réaliser des tâches physiquement exigeantes. Cela peut être un défi dans des industries telles que la construction ou la manutention. [18]
2. **Erreurs humaines :** les êtres humains sont sujets à l'erreur, et cela peut avoir un impact sur l'industrie. les erreurs humaines peuvent entraîner des défauts de fabrication, des accidents de travail ou des erreurs de jugement qui peuvent coûter cher à une entreprise. [18]
3. **Limites cognitives :** bien que l'homme soit capable de résoudre des problèmes complexes, il est également limité par ses capacités cognitives. La capacité de traitement de l'information, la mémoire et la concentration peuvent tous être des

facteurs limitant dans certain taches industrielles qui exigent une grande précision ou une résolution rapide des problèmes. [18]

4. **Fatigue et santé :** les travailleurs humaines sont sujets à la fatigue et à des problèmes de santé qui peuvent affecter leur productivité leur sécurité au travail. Une fatigue excessive peut entraîner une diminution de la vigilance et des erreurs, tandis que des problèmes de santé peuvent entrainer des absences et une diminution des performances. [18]
5. **Résistance au changement :** les êtres humains peuvent être résistants au changement, ce qui peut être un défi dans des industries en constante évolution et nécessitant une adaptation rapide. L'adaptation aux nouvelles technologies, aux nouvelles méthodes de travail ou aux changements organisationnels peut prendre du temps et entrainer des frictions. [18]
6. **Limitation de compétence :** chaque individu a ses propres compétence et connaissances limitées dans des domaines spécifique. Cela peut rendre difficile la réalisation de certaines taches industrielles qui nécessitent des compétences spécialisées. de plus, la formation et le développement de compétences peuvent prendre du temps et des ressources. [18]

III.2. Fondement de l'approche facteur humain :

Historiquement l'approche facteur humain précédé l'approche facteur organisationnel. L'étude des facteurs humains est une science à de nombreuses disciplines, qui visent à promouvoir les interactions entre la technologique et L'opérateur humain, tout en fournissant des informations relatives aux caractéristiques individuelles (comportement, psychologie, compétences et attitudes, tâche dédiée...), et aux environnements professionnel et organisationnel. L'étude du facteur humain, a intéressé de nombreux chercheurs comme les ingénieurs, les ergonomes, les psychologues, les fiabilistes, et les sociologues. Les approches d'ingénierie, ergonomiques et psychologiques ont considéré le facteur humain comme un composant principal du système industriel et l'élément essentiel de la création de la performance au sein de ce système. Les autres approches ont approuvé que le facteur humain a des comportements difficiles à gérer, et des processus psycho-cognitifs plus compliqués, ce qui influence la sécurité industrielle.[19]. Les facteurs humains reposent souvent et de manière implicite, sur le fonctionnement de la sécurité aussi que le rôle joué par les facteurs humains. [16]

III.3. Fondement de l'approche facteur organisationnel :

L'approche facteurs organisationnels en sécurité industrielle vise à piloter, diriger, coordonner, et fiabiliser les décisions, en accordant l'aspect technique et organisationnel sur le travail humain. L'approche facteurs organisationnels se fonde sur une analyse approfondie du travail humain et l'activité qu'il exerce. Elle inclut un ensemble de moyens et de principes de communication interne, afin d'assurer la diffusion des informations au sein de l'organisation dans le sens descendant que dans le sens ascendant. Le rôle de l'organisation est de détecter les signaux faibles révélateurs menaçant la sécurité industrielle. L'approche organisationnelle permet à l'organisation d'améliorer sa performance par: la définition de ses objectifs et de sa stratégie pour les atteindre, la définition claire de ses fonctions et de ses missions, la vérification de l'adéquation des personnes à leurs postes, la sensibilisation de l'ensemble des personnels à la maîtrise des risques, la fluidité et l'efficacité des informations montantes et descendantes dans les différentes couches hiérarchiques, la mise en place de procédures adaptées, la validation et le test de ces procédures, ainsi que leur mise à jour, l'adhésion et la compréhension du personnel vis-à-vis de ces procédures ainsi que leur application effective [20]. Elle permet aussi à l'organisation d'accentuer ou de diminuer les risques relatifs à la sécurité industrielle. L'approche facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle consiste à contribuer à la mise en place des conditions qui favorisent un bon fonctionnement d'un système industriel. Des progrès incontestables ont été produits. Mais il existe encore des limites auxquelles il faut faire face pour atteindre les objectifs majeurs de la sécurité. [16]

III.4.Limites de l'approche facteur humain et organisationnel :

Parmi ces limites on trouve :

- L'approche facteur humain se concentre sur les erreurs humaines évoquées par l'opérateur, ainsi le degré de respect des procédures prescrites et des normes du travail par ce dernier. Qui néglige sa contribution positive et limite l'appréhension de facteurs plus structurels, pourtant essentiels.

- L'approche industrielle se focalise souvent sur une forte culture technique et s'intéresse rarement aux compétences relatives aux facteurs humains et organisationnels.

- L'approche facteur humain et organisationnel se caractérise par un peu de documents de référence conçus pour favoriser le transfert des acquis scientifiques vers les acteurs de la sécurité. Ce manque d'approches formalisées et de procédures claires et fiables limite le renforcement de l'initiative sécuritaire et la gestion efficace d'une démarche prenant en compte le facteur humain et organisationnel. [16]

III.5. Qu'est-ce que l'approche Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle :

L'approche facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle (FHOS) consiste à identifier et à mettre en place les conditions qui favorisent une contribution positive des opérateurs et des collectives à la sécurité industrielle.

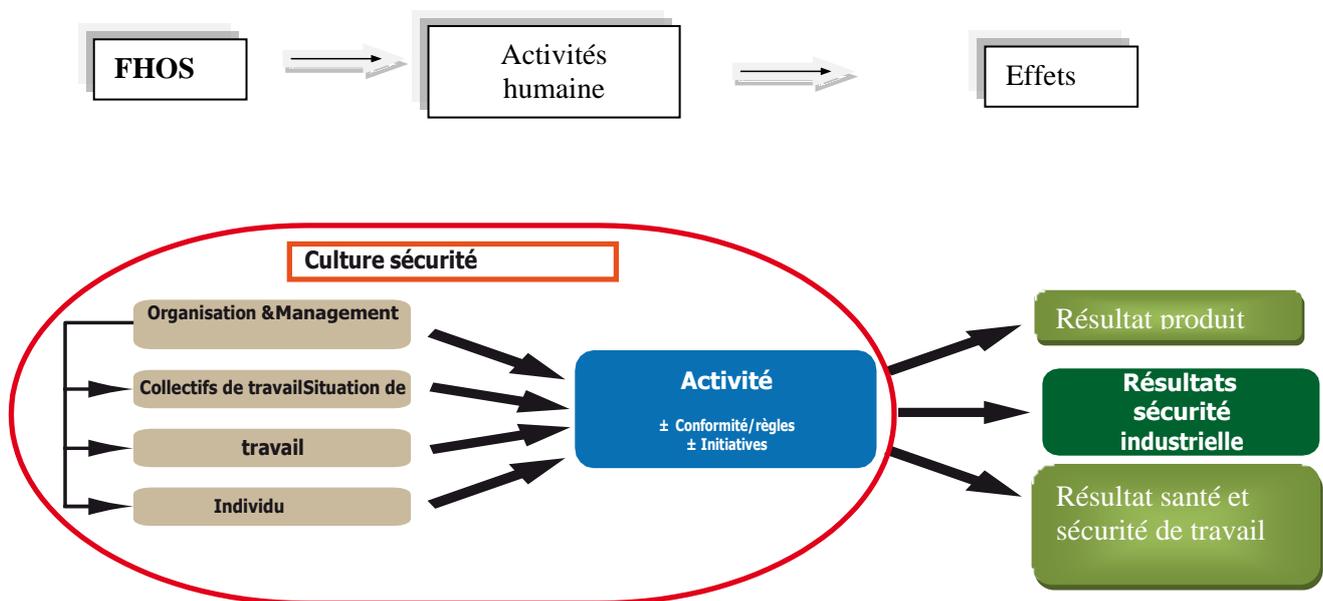


Figure I-4: Le champ de FHOS. [21]

Les connaissances proposées par l'approche FHOS permettent de mieux comprendre ce qui conditionne l'activité humaine, et d'agir sur la conception de situation de travail et l'organisation en vue de réunir les conditions d'une activité sûre. Les efforts faits dans cette direction peuvent se traduire également par une amélioration des résultats en matière de qualité de la production ou de sécurité du travail (taux de fréquence et gravité). [21]

III.6. Pourquoi une approche Facteurs humains et organisationnels de la sécurité ?

La prévention des accidents de process a d'abord reposé sur la conception technique: le travail des ingénieries a permis de mieux préserver l'intégrité des installations dans des situations inhabituelles.

Les accidents de Seveso (1976) et Three Mile Island (1979) ont donné lieu à un renforcement des exigences réglementaires (directive Seveso 1 en 1982), et à la mise en place de politiques de sécurité globales dans les grandes entreprises à risques. Ce formalisme s'est renforcé avec la directive Seveso 2 (1996), et la mise en place des Systèmes de Gestion de la Sécurité.

Ces actions techniques et d'organisation ont entraîné dans certains secteurs une tendance à la diminution continue des accidents liés au process. Mais, dans beaucoup d'entreprises, cette amélioration marque un palier, et le renforcement des formalismes n'aboutit plus à une diminution des défaillances. [21]

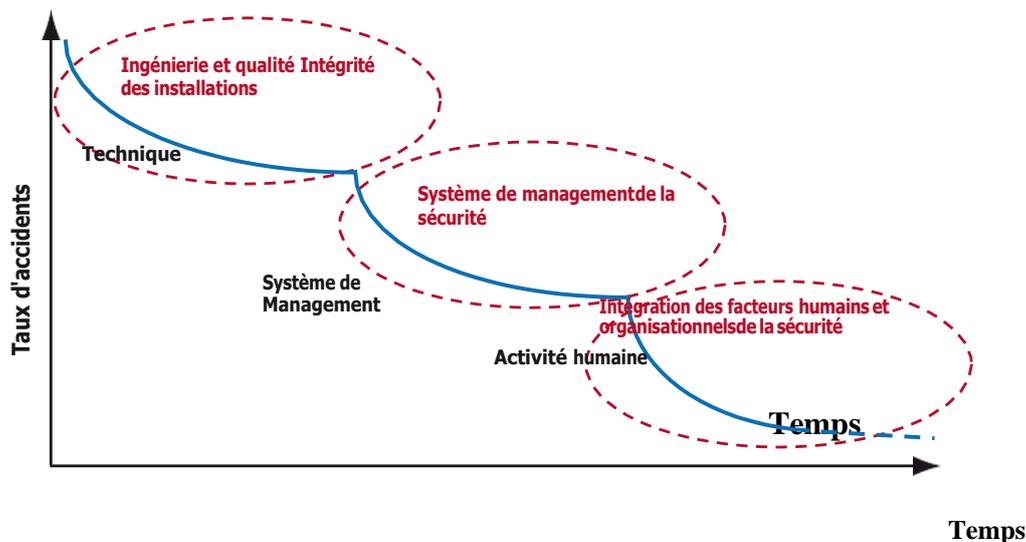


Figure I-5 : Approche successive de la sécurité industrielle. [21]

Cette limite des résultats obtenus par les formalismes type SMS s'explique par **le déséquilibre**

Entre:

- L'attention extrême portée aux formalismes descendants, destinés à prescrire des conditions d'exploitation sûres;
- La recherche de responsabilités plutôt du côté du comportement des opérateurs, et de moindres questionnements sur la contribution de l'organisation et du management;
- La trop faible attention consacrée à la réalité des situations réellement rencontrées par les opérateurs d'exploitation.

III.7 L'intégration des FHO dans le SMS :

Intégrer les Facteurs Humains et Organisationnels dans le Système de Management de la Sécurité d'une entreprise en consiste donc pas à introduire une nouvelle rubrique, qui viendrait s'ajouter à celles qui composent le référentiel en usage. Il s'agit plutôt de

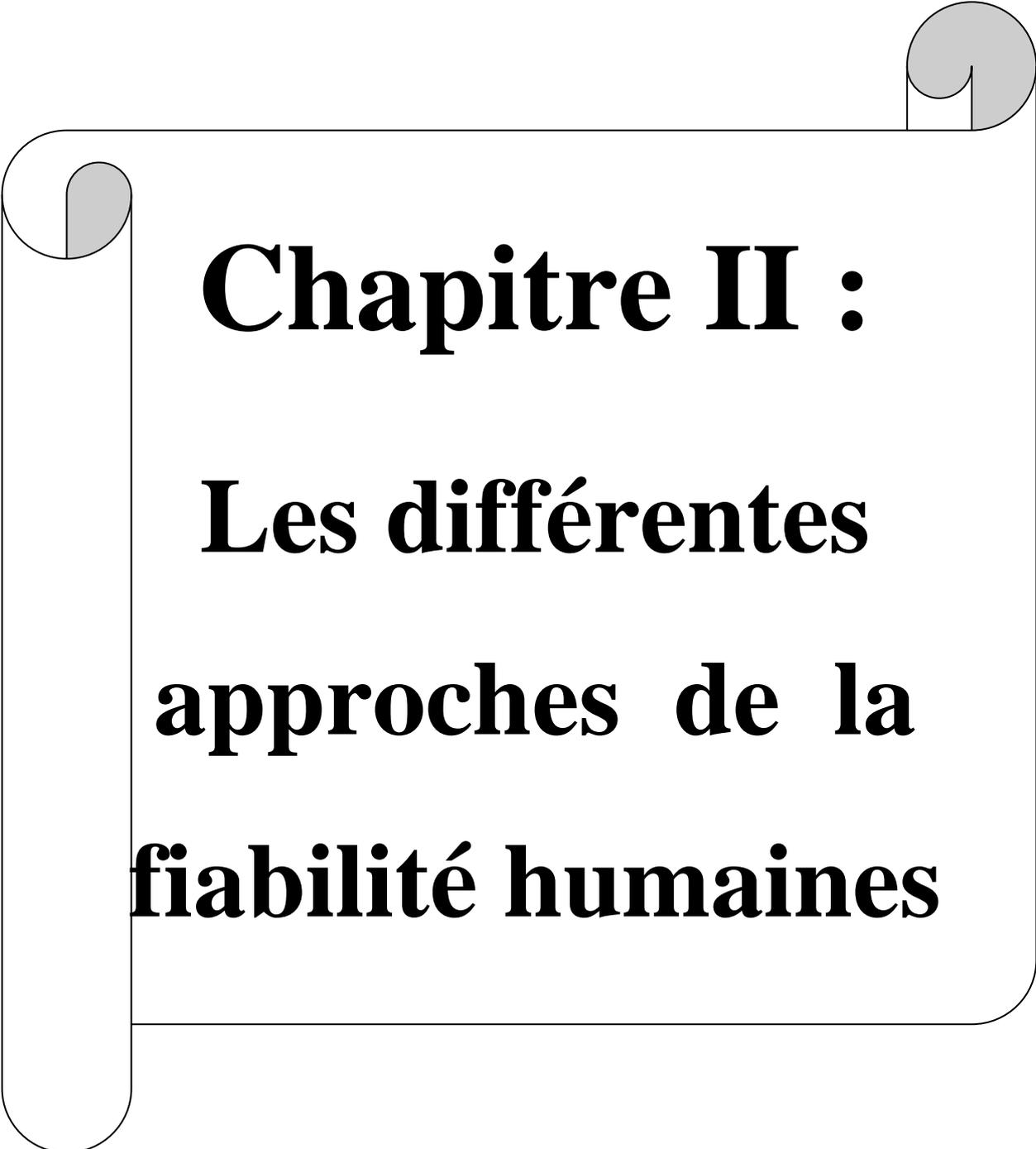
considérer la sécurité comme le résultat du travail de tous: travail de conception, travail d'organisation, travail d'exploitation, travail d'audit et de contrôle. De nombreux acteurs, à tous les niveaux de l'entreprise et chez les prestataires sont porteurs d'informations et de compétences vitales pour la sécurité. Une partie de la sécurité provient du travail de préparation de la réponse à des phénomènes prévisibles, grâce aux savoirs partagés à l'échelle internationale. Une autre partie repose sur la capacité humaine individuelle et collective à faire face localement à des situations qui n'ont pas été prévues.

L'approche FHO invite à renforcer la conscience de la nécessité de ces deux dimensions, à mesurer que leur compatibilité n'est jamais acquise, et à s'organiser pour la favoriser. Elle suppose que tout acteur dans le champ de la sécurité identifie que ses savoirs devront se confronter à d'autres, dont il n'est pas détenteur. L'intégration des Facteurs Humains et Organisationnels de la sécurité repose toujours sur l'engagement des personnes, à tous les niveaux de l'entreprise. La structure organisationnelle peut, suivant les cas, rendre difficile, ou soutenir, cet engagement. [22]

Conclusion :

Ce chapitre établit des généralités sur la sûreté de fonctionnement. Il débute par des définitions sur le risque, les méthodes utilisées pour analyser ce dernier et qui ont montré la nécessité de la prise en compte de l'élément humain dans cette analyse et son importance dans la fiabilité de système.

Il met en évidence la prise en compte de l'erreur humaine dans n'importe quelle étude de risque comme à la fois un agent de la fiabilité et source d'erreur potentielle. Ces défaillances feront l'objet du chapitre 2.



Chapitre II :
Les différentes
approches de la
fiabilité humaines

Introduction :

L'homme a toujours occupé une place importante dans la conception, l'exploitation et la maintenance des systèmes industriels. Aux pas de l'avancée technologique, ces systèmes sont devenus sophistiqués et de plus en plus complexes. Cette complexification exige des capacités (cognitives, sensorimotrices, intellectuelles) et des connaissances dépassant parfois les limites des opérateurs humains. Face à cette situation, l'opérateur humain pourrait être défaillant sur plus qu'un plan (saturation, perte de vigilance, fatigue, erreurs, etc.). A cela, s'ajoutent les contraintes inhérentes à l'inadaptation des opérateurs avec les technologies utilisées par ces systèmes qui, à l'origine, ont été conçus dans des contextes socioculturels n'ayant aucun rapport avec l'environnement local.

Ces défaillances humaines sont souvent la source d'un certain nombre d'incidents qui ont évolué vers des catastrophes ayant parfois des conséquences dramatiques, non seulement pour les opérateurs et les installations mais pour les populations voisines et voire même pour l'environnement. Pour prévenir les risques liés aux erreurs humaines, plusieurs approches abordant la fiabilité humaine se sont développées.

Les premières approches abordant la fiabilité avaient vu le jour à partir des années 50, en s'intéressant à la prise en charge des erreurs humaines, dans le but d'une évaluation quantifiable permettant le calcul de la fiabilité de l'opérateur comme un simple composant du système. [23]

I. fiabilité humaine :

I.1 Définition de la fiabilité humaine :

La fiabilité humaine est définie par : la probabilité qu'un opérateur accomplit correctement les tâches requises, dans des conditions données, et n'assume pas les tâches qui peuvent dégrader le contrôle du système. Elle n'est pas réductible à la seule fiabilité du seul composant humain. C'est en réalité celle de l'homme pris dans son environnement, par nature complexe (matériel, procédural, organisationnel, culturel..). Elle dépend de ces différents facteurs humains et environnementaux, de leur complémentarité et de leurs influences sur les différents processus mis en jeu dans le travail des hommes (cognitif, affectif, sociotechnique, physique). [23]

I. 2 Historique de la fiabilité humaine :

La fiabilité humaine a été reconnue en 1962 par l'Académie des Sciences comme une discipline et appartient aux Sciences de l'Ingénieur. Elle est appliquée aux systèmes à hauts risques : nucléaire

et militaire. Le développement de cette discipline est dû à :

- criticité grandissante des défaillances qui peuvent entraîner des pertes humaines et économiques très importantes.
- Surcoût croissant de l'exploitation lié à l'augmentation des défaillances et de la maintenance.
- Complexité des systèmes nécessitant la rationalisation des activités industrielles. [24]

I. 3 Evolution des approches de la fiabilité humaine :

Cette évolution est passée par les étapes suivantes :

I-3-1) La 1^{ère} étape de 1930- 1950 :

A partir des années 30, les ingénieurs commencent à recueillir des informations statistiques sur les différents incidents ayant été à l'origine des pannes des équipements mécaniques et électronique.

Ces études s'étaient développées vers l'évaluation de la persistance de la qualité des différents composants techniques, c'est à partir de ce moment que est né le concept de la fiabilité Technique.

En parallèle à ces travaux, d'autres chercheurs s'étaient intéressés à l'étude des capacités humaines dans le but de sélectionner les opérateurs les plus adaptés aux différentes tâches. [23]

I- 3-2) La 2^{ème} étape de 1950-1960 :

Le renforcement de la fiabilité technique des différents composants des systèmes, les incidents d'origine Technique ont diminué, pour laisser la place aux erreurs humaines qui sont devenues très fréquentes.

A partir de ce moment, les études de sécurité des systèmes industriels commencent à s'intéresser à la prise en charge des erreurs humaines dans le but d'établir une évaluation quantifiable permettant le calcul de la fiabilité de l'opérateur humain comme un simple composant du système. Ainsi les premières estimations quantifiées de la fiabilité humaine, furent développées par les laboratoires **Sandia** en 1952,[25]. dans le but de :

- Quantifier les probabilités des erreurs humaines pour l'établissement des évaluations, à priori, de la fiabilité humaine ;
- se servir de ces données pour calculer la fiabilité globale des systèmes.

Mais, les approches développées au cours de cette période et qui se sont basées sur la dichotomie **facteur technique/ facteur humain**, ont connu leurs limites.

Ceci a donné la place à l'émergence de nouvelles approches basées sur la multi causalité de l'accident qui considère que l'accident est un événement né à partir de l'interaction de l'opérateur humain avec les autres composants de la situation de travail.

Ainsi, une nouvelle conception est née, la conception systémique de l'accident.

Malgré les avantages de cette conception, néanmoins, elle néglige l'environnement technique et social du travail (système fermé).

Pour remédier à cette situation, d'autres auteurs ont tenté de développer d'autres approches axées sur l'environnement social (cohésion du groupe) en particulier ceux s'inscrivant dans la perspective des recherches de l'école anglaise de psychanalyse, ou des travaux du sociologue Moreno, considèrent que le groupe de travail, en tant qu'entité psychosociale, est un paramètre important de la situation.[23]

I- 3-3) Les années 1960-1970 :

Au début des années 60, on a vu la consécration par l'académie Française des sciences de la fiabilité humaine, comme une discipline appartenant aux sciences de l'ingénieur.

A partir de ce moment les études tentèrent de constituer des bases de données contenant les taux des erreurs humaines. Dans ce contexte que la méthode de prédiction des taux des erreurs humaines : **THERP** (Technique for Human Error Rate Prediction), a vu le jour en 1964.[26]

Cette méthode a été développée dans le but d'établir une évaluation quantifiable de la fiabilité humaine, en se basant sur les données des banques de données des probabilités d'erreurs humaines, constituées à partir de quatre sources principales, à savoir :

Les analyses en situation réelles, les études sur simulateurs, les études en laboratoires et jugements quantifiés d'experts.

Puisque, cette approche a toujours considéré l'opérateur humain comme une source d'infiabilité, d'autres approches se sont émergées pour la contrecarrer [27], qui a développé une nouvelle approche mettant l'accent sur la relation entre la fiabilité et la sécurité des organisations. Faverges avait également considéré l'homme comme une source fiabilité car il sait adapter son comportement aux différentes situations du travail. [23]

I- 3-4) Les années 1980-1990 :

La 1^{ère} phase (1980-1983), s'était marquée par l'émergence d'une nouvelle génération de méthodes d'évaluation de la fiabilité, qui intègrent progressivement les facteurs humains pour mieux préciser le rôle de l'homme les situations incidentelles ou accidentelles.

Ces méthodes sont basées sur des estimations tirées à partir des jugements d'experts comme ou sur des évaluations calculées (**TESEO**, **THERP** version 1983, etc.).

La 2^{ème} phase (1984- 1990), s'est caractérisée par la mise en place d'une nouvelle génération de méthodes qui tentent de prendre en charge les facteurs influençant l'homme dans le travail tels que : le mode raisonnement, le niveau de perception, l'impact du groupe, etc.

Parmi ces méthodes, on peut citer : **SHERPA**, **HEART**, **SLIM**, etc. [23]

2- 3-5) Les années 1990-2000 :

Les méthodes développées à partir des années 90, s'intéressent d'avantage aux processus cognitifs

permettant d'expliquer et de prédire les défaillances humaines. Basées sur une approche plus systémique, ces méthodes permettent d'avantage de prendre en compte l'existence d'une certaine dépendance entre les différents facteurs de contexte.

Parmi les quelles, on peut citer :

- **CREAM** (Cognitive Reliability and Error Analysis Method).
- **ATHEANA** (A Technique for Human Event Analysis),
- **MERMOS** (Méthode d'Evaluation de la Réalisation des Missions Opérateur pour la Sûreté). [23]

2-3-6) Les années 2000-2010 :

D'autres méthodes similaires qui se sont développées, elles se sont intéressées à l'environnement organisationnel du travail et son rôle dans la genèse de l'erreur humaine.

Parmi lesquelles on peut citer,

- **FRAM** (Functional Resonance Analysis Method),
- **BORA** (Barrier and Operational Risk Analysis). [23]

I. 4 fiabilités humaines et sécurité :

Dans le domaine de la fiabilité, il faut toujours distinguer entre la fiabilité de l'opérateur et la fiabilité du système dans son ensemble. L'homme peut jouer un rôle positif comme un facteur de fiabilité et ce par la récupération d'une situation incidentelle liée à une défaillance technique et contribuer à la sécurité du système global. Mais, dans d'autres cas la défaillance d'un opérateur peut conduire à des situations leurs récupérations seront difficiles, ce qui va compromettre la sécurité du système.

Enfin, il faut dire, avoir un opérateur ou un système homme-tâche fiable ne suffit pas pour avoir un système global sûr ; cela dépend de la façon dont cette capacité humaine est employée en vue de la réalisation des deux types d'objectifs du système : celui de la fiabilité de fonctionnement et celui de la sécurité.

Afin d'assurer la sécurité d'un système, une multitude de barrières de sécurité est mise en place pour faire face aux risques menaçant le bon fonctionnement de ce dernier. Le concept de barrière est apparu avec celui de défense en profondeur. Ce concept vise à la sécurisation d'un système par la mise en place d'un ensemble de mesures successives et indépendantes les unes des autres (techniques et humains). [24]

I.4.1. Définition de la barrière humaine de sécurité :

Les barrières humaines de sécurité sont constituées d'une activité humaine (une ou Plusieurs opérations) qui s'oppose à l'enchaînement d'évènements susceptibles d'aboutir à un accident. Elles se définissent également par les éléments qui la composent les barrières Humaines de sécurité ont une composante humaine, le plus souvent associée à une composante Technique. [24]

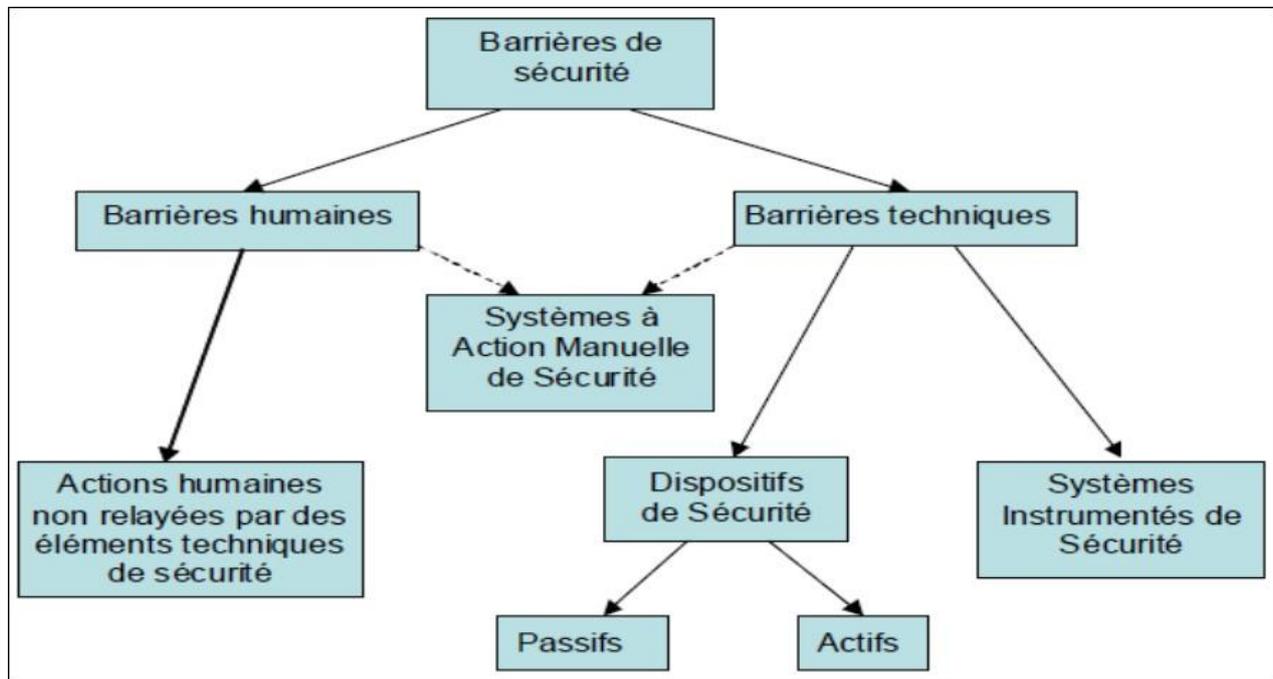


Figure II-6 : Typologie des barrières de sécurité [24]

I.4.2. Exemples des barrières humaines de sécurité :

Dans les domaines industriels, nous constatons que plusieurs tâches effectuées par les opérateurs sont dédiées dans un premier lieu, à empêcher une aggravation d'une situation

Indésirable :

L'opération de contrôle de l'étanchéité d'un circuit, qui conditionne le fonctionnement de ce dernier, est une tâche effectuée par un opérateur, celui-ci prendra les mesures adéquates en cas de détection d'une perte d'étanchéité (une rupture, une fuite . . . etc.) pour éviter la perte de la fonction de circuit ou l'aggravation de la situation.

La fermeture manuelle d'une vanne, réalisée par un opérateur, consiste aussi une Barrière de sécurité en cas de détection visuelle ou même automatique d'une augmentation ou élévation au-dessus des seuils de l'un des paramètres (niveau, débit, Pression . . . etc.). [24]

I. 5 catégories de barrières humaines de sécurité :

La notion d'une barrière humaine de sécurité désigne plus particulièrement l'intervention humaine dans un procédé. C'est une intervention destinée pour prévenir une dérive qui peut dégrader le fonctionnement d'un procédé ou en cas où ces dérives ont lieu, rattraper et corriger la situation. Dans ce cas-là, une activité humaine qui rentre dans le fonctionnement normal du procédé ne sera pas prise en compte comme étant une barrière de sécurité.

L'application de ce principe conduit à identifier deux types d'actions susceptibles d'être considérées comme indépendantes :

- Les interventions humaines en amont d'un procédé, ou en phase du démarrage de ce dernier qui présentent des risques majeurs. Elles servent à la préparation du procédé en termes de sécurité ; la fonction de sécurité sera de vérifier que les conditions d'occurrence d'un scénario d'accident sont maîtrisées préalablement à une activité à risques. Ces barrières seront appelées "**barrières de vérification**".

- Les interventions ayant lieu en aval ou au cours de l'activité ou du procédé susceptible de présenter des risques d'accident majeur et dont la fonction de sécurité sera de détecter une dérive prévue et d'agir en vue de limiter ses conséquences. L'action de ces barrières s'inscrit dans la cinétique de la séquence incidentelle ou accidentelle. Ces barrières seront appelées "**barrières de rattrapage**" (**barrières de mitigation**). La détection de la dérive peut être réalisée à différents stades de l'activité dangereuse : par exemple très en amont de l'évènement redouté comme certaines rondes de surveillance et campagnes d'inspection des équipements ou encore en aval de l'évènement redouté comme les rattrapages de dérive de procédé (intervention sur montée en température anormale d'un réacteur) ou même en aval du phénomène dangereux (intervention sur un cas de feu).[24]

II. L'analyse du couple homme-tâche :

II. 1 Tâche :

La tâche, dans une situation de travail, est définie, selon Leplat (2000) comme un but à atteindre dans des conditions déterminées. Cette définition de la tâche, caractérisée par un but et des conditions d'exécution, varie selon que l'on se place au niveau du prescripteur ou au niveau de l'acteur. Dans le premier cas, celui où les conditions et le but sont fixés par le prescripteur, on parle de tâche prescrite. Dans le second cas, on parle :

De tâche redéfinie lorsque, à partir de la tâche prescrite, l'acteur s'est recréé sa propre

définition de la tâche,

De tâche effective pour désigner la tâche effectivement mise en œuvre. [23]

II. 2 Classification des tâches :

II.2. 1 Tâche prescrite :

Elle se traduit par l'ensemble des prescriptions officielles assignées à l'opérateur pour accomplir une mission donnée.

Elle concerne l'ensemble des règlements, des notes de services, des manuels d'utilisation, des consignes d'exécution, des règles de sécurité et des procédures à respecter pour atteindre les objectifs théoriquement définis. [23]

II.2.2 Tâche induite :

C'est une adaptation de l'exigence de la tâche prescrite aux conditions internes propres aux caractéristiques (physiques et mentales) de l'opérateur. [23]

II.2. 3 Tâche spécifiée :

C'est l'exigence de la tâche prescrite aux circonstances externes non prévues comme les aléas et les contraintes de la situation : incidents, contraintes temporelles, récupérations, variations ou défauts des matériels et des produits, etc. [23]

II.2. 4 Tâche réelle ou réalisée :

Elle correspond à ce que l'opérateur fait effectivement, en d'autre terme, elle correspond aux résultats atteints par l'opérateur humain. Ces résultats sont le fruit des actions qu'il a réalisées, c'est à dire de son activité. [23]

II.2. 5 Tâches simples :

Elles correspondent à des actions qui font partie d'opérations séquentielles ne nécessitant pas une prise de décision importante (ouvrir une vanne par exemple). [23]

II.2. 6 Tâches complexes :

Elles correspondent à des opérations séquentielles assez bien définies mais comportant une prise de décision, une certaine latitude est donnée à l'opérateur dans l'accomplissement de ce type de tâches (réalisation d'un diagnostic d'accident). [23]

II.2. 7 Tâches de vigilance :

Elles correspondent à la détection d'un signal, d'une alarme, la probabilité d'erreur est alors affectée par la longueur de l'attente, le niveau de motivation, le type de signal, sa fréquence et le

type d'action à effectuer lorsqu'il est reconnu. [23]

II.2. 8 Tâches de contrôle :

Elles correspondent à l'activité de surveillance et de contrôle d'un processus multi variables où des décisions d'agir doivent être prises ; l'opérateur doit empêcher les perturbations d'évoluer en défaillances graves. [23]

II.2. 9 Tâches post-incidentelles ou post- accidentelles :

Elles correspondent à l'activité de l'opérateur après un incident ou accident ; elles peuvent varier considérablement et aller de la réponse apprise et automatique à la recherche d'une stratégie nouvelle. Les probabilités d'erreurs dans ces tâches sont fortement augmentées lorsque l'incident est suffisamment grave pour que l'opérateur puisse se trouver dans un état de tension élevée. [23]

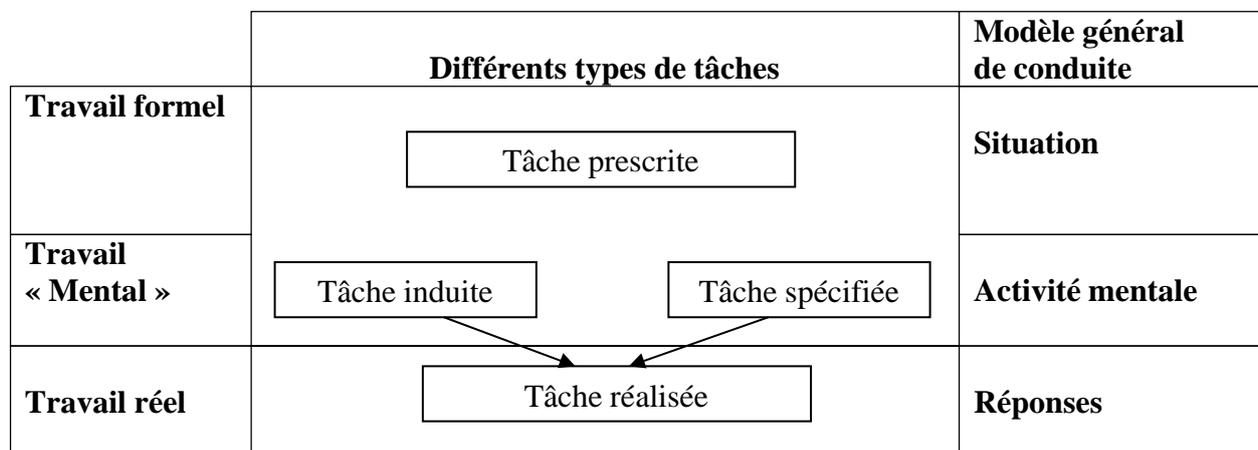


Figure II-7 : Les niveaux de la tâche selon (Guillevic, 1993). [23]

II. 3. Analyse de tâche :

On la décrira en termes de but uniquement, d'étapes principales, ou planification plus précise. Plus une tâche complexe plus les prescripteurs ont du mal à en décrire les étapes. Dans bien des cas l'analyse de tâche se fait à partir des prescriptions documentaires mais, aussi grâce à l'interview des opérateurs et prescripteur tenant en comptes les caractéristiques suivants:

- ✓ But, objectif, résultats attendu;
- ✓ Caractéristiques personnelles de l'opérateur humain.
- ✓ Condition techniques de réalisation: outils, machines, produits, interfaces

- ✓ Condition organisationnelles de réalisation : équipes, travail, répartition de travail, organisation hiérarchique et de productions.
- ✓ Conditions d'environnement : ambiances physiques, condition d'éclairage ; pollution, risques industriels. [22]

II.4. Composantes d'une situation de travail :

L'opérateur qui intervient sur une partie du process est placé dans une situation de travail qui va en partie déterminer son activité et donc, pour ce qui est observable, son comportement. Si on le prend en photo, une partie de cette situation de travail sera visible : une portion des installations, des outils, un collègue travaillant avec lui... Mais beaucoup d'autres composants de la situation de travail ne se verront pas sur la photo : la stratégie de l'entreprise, l'histoire des installations, celle de l'opérateur, les relations sociales, les règles de l'organisation, les collectifs de travail, le temps nécessaire pour réaliser une opération, la toutes les composantes de la situation de travail ne sautent pas aux yeux (chaleur et l'odeur qui règnent dans cette zone), etc. Pour autant, ces aspects-ci de la situation influencent autant l'activité de l'opérateur que les côtés visibles sur l'image: si l'on veut comprendre pourquoi l'activité des opérateurs a telle ou telle caractéristique, il faut souvent chercher les raisons en dehors de ce qui peut s'observer immédiatement.

La figure 3 résume différentes composantes de la situation de travail qui vont influencer l'activité. [22]

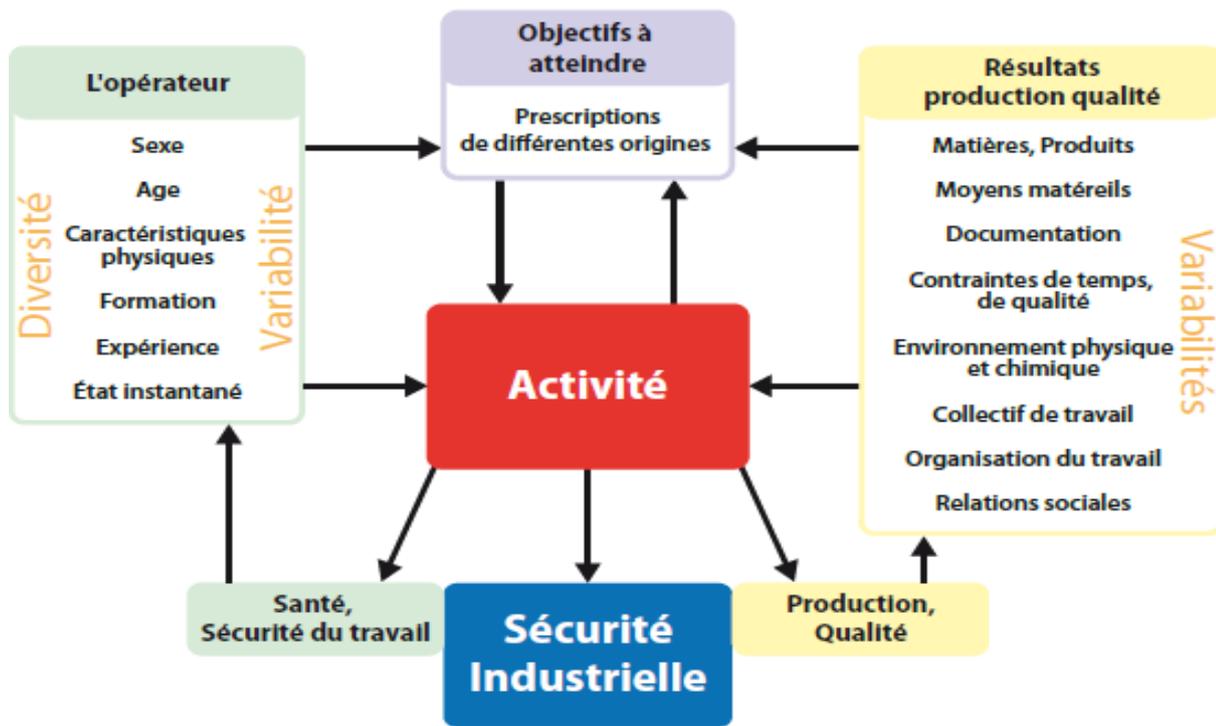


Figure II-8: Les composantes d'une situation de travail. [22]

III. Erreur humaine :

Les chercheurs dans le domaine de la fiabilité humaine ne cessent pas de développer le concept de l'erreur humaine, ce dernier a été largement revu depuis les dernières décennies. Loin de la psychologie et la psychophysique, l'erreur humaine est devenue pour le scientifique un instrument de mesure de la fiabilité de l'homme et de sa performance. Le développement de ce domaine a connu son essor à partir des années 80 suites aux accidents industriels (Tchernobyl et Three Miles Island) où la cause humaine était le principal facteur. Au début, les études de l'erreur humaine ont été orientées dans le but de comprendre le mécanisme de la survenue des erreurs ; dans une deuxième étape, et avec le progrès de la technologie l'objectif de ces études est réorienté vers les effets de la suppression quasi-totale du facteur humain des procédés industriels. [24]

III. 1 Définition de l'erreur humaine :

Définition 1 :

L'erreur humaine : « c'est l'écart entre le comportement de l'opérateur et ce qu'il aurait dû être, cet écart dépassant des limites d'acceptabilité dans des conditions données »

Ainsi, les limites d'acceptabilité peuvent être définies par rapport :

- Aux caractéristiques de l'action prescrite.
- Aux conséquences de l'erreur humaine notamment sur le système.

Ces limites peuvent exister explicitement ou implicitement et ne devenir explicites qu'après manifestation de l'erreur humaine. [23]

Définition 2 :

donne une la définition suivante « l'erreur humaine n'est souvent que l'impossibilité dans laquelle s'est trouvé un opérateur de faire face à une situation anormale – qu'ils'agisse de la défaillance d'un appareil ou d'un jeu de circonstances inattendues : changement organisationnel, de procédures, d'environnement ou même altération de rapports interindividuelsou interservices ». [28]

III. 2 Raisons d'apparition d'une erreur humaine :

Il existe de nombreuses raisons à l'apparition d'erreurs humaines. Certains des plus importants sont illustrés à la Figure 04. [29]

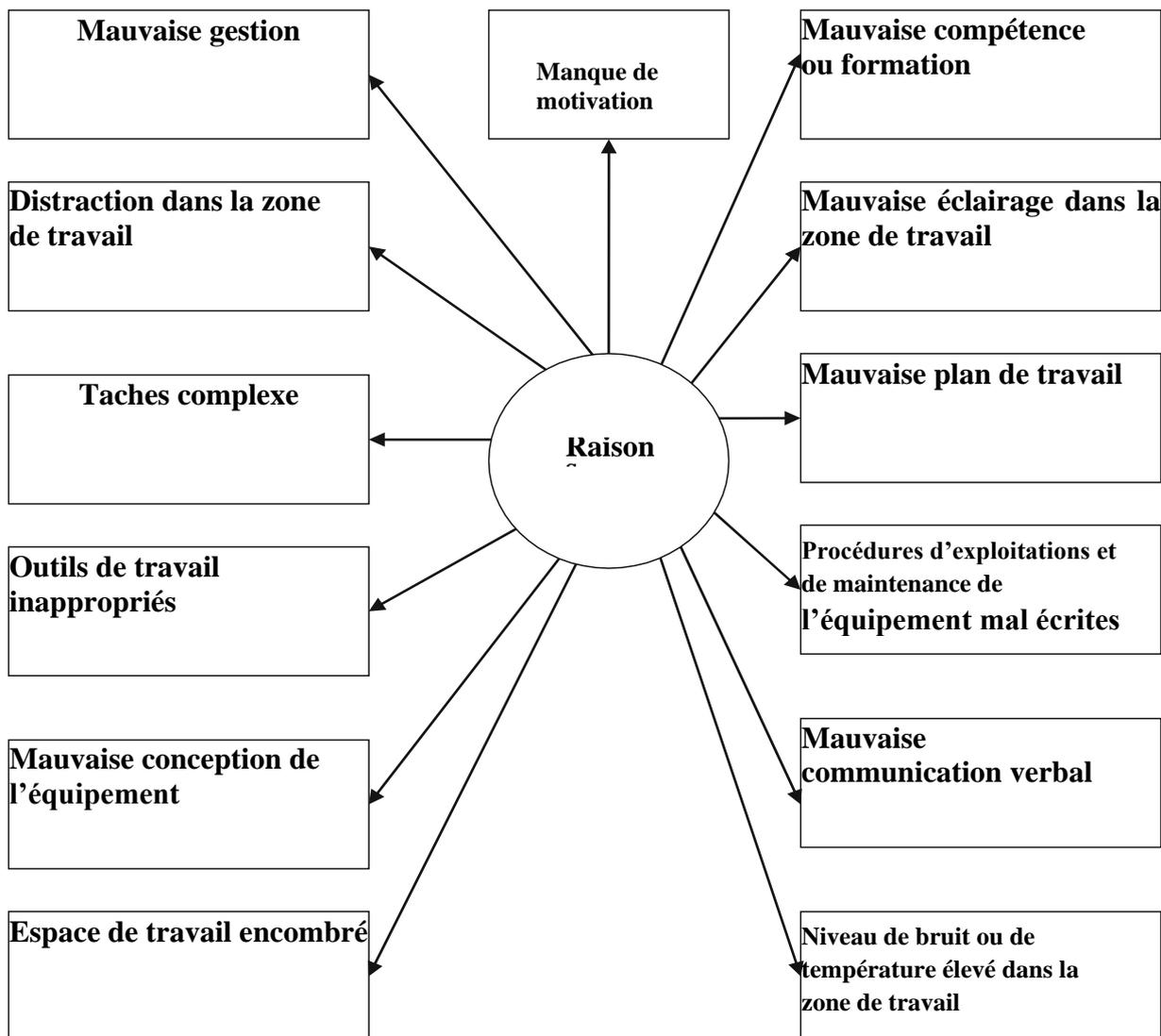


Figure II-9 : Les raisons d'apparition des erreurs humaines. [29]

III. 3 Types d'erreurs humaines :

Avant d'aborder les différentes approches de classification de l'erreur humaine, il est indispensable de faire les différences entre les termes : ratés, lapsus et fautes

- **Ratés** : c'est l'ensemble des erreurs commises par un opérateur lors de l'exécution d'une tâche. Ces erreurs sont dues à un manque du savoir-faire. [24]
- **Lapsus** : c'est une erreur due à un défaut de stockage des informations, elle se traduit par un choix inadéquat des actions à exécuter, compte tenu de la situation et des contraintes de la tâche. [24]
- **Les fautes** : c'est les erreurs basées sur les connaissances qui résultent d'une déficience de jugement et de planification. Elles reflètent un plan d'action ou une intention inappropriée aux caractéristiques de la tâche et de la situation. [24]

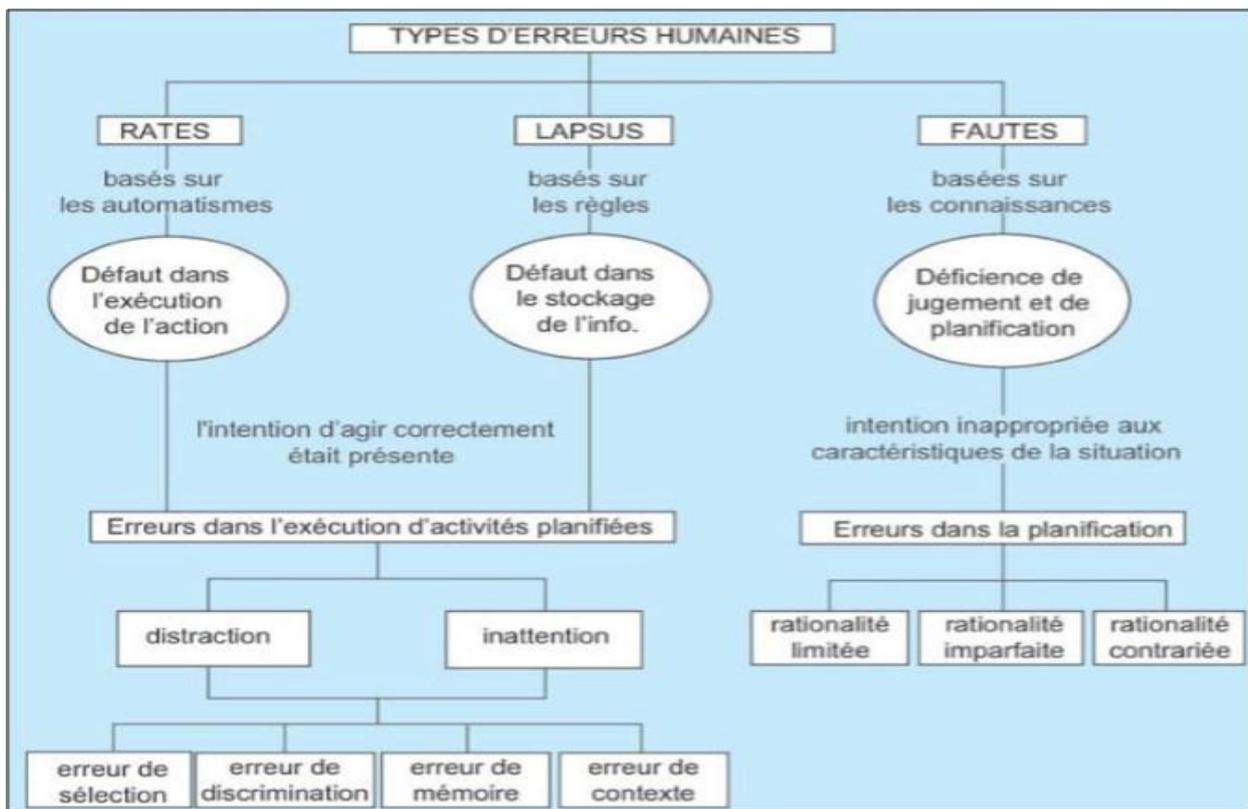


Figure II-10: Les différents types d'erreurs humaines. [24]

III.4 Classification des erreurs humaines :

Tableau II-2 : Classification des erreurs humaines [12]

Auteur (associé à un modèle de classification)	Classification de l'erreur humaine	Caractéristiques des éléments de classification	Principes et critères de classification
(Rasmussen & Jensen, 1974)	classification en fonction des trois niveaux hiérarchiques d'activités de l'opérateur :		-l'activité est un processus séquentiel allant de l'étape d'activation à celle d'exécution.
	-erreurs basées sur les habilités (Skill-based) ;	-omission, comportement cohérent au mauvais endroit	-trouver l'origine des dysfonctionnements humains des tâches techniques
	-erreurs basées sur les règles (Rule-based) ;	-application erronée des règles	
	-erreurs basées sur les connaissances déclaratives (Knowledge-based) ;	-connaissance incomplète ou incorrecte	-définir un modèle schématique du raisonnement de l'homme.
(Reason, 1979)	classification basée sur la notion de plan d'action :		-classification basée sur la notion de plan d'action.
	-erreurs de discrimination ;		- trouver l'origine des dysfonctionnements humains
	-erreurs d'assemblage ;		
	-erreurs de test qui surviennent sur les vérifications de l'avancement des séquences d'action à certains points ;		
	-erreurs de stockage mnémorique ;		
Norman, 1981,1983)	distinction de deux types d'erreurs :	-quand l'opérateur utilise une action appropriée dans une situation non requise.	-trouver l'origine des erreurs.
	-erreurs de description, de saisie, et d'activation ;		
	-erreurs par activation défectueuse d'un schéma. Et erreurs par défaut de déclenchement des schémas actifs ;	-lorsque les spécifications ou explication sur une action sont insuffisantes.	

(Swain & Gutmann, 1983)	<p>classification basée sur l'association d'une typologie d'erreurs à des facteurs externes, des facteurs de stress, des facteurs organiques et biologiques.</p> <p>cette typologie distingue les erreurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> -d'omission(ou d'exécution) ; -de sélection (ou de dérive) ; -de commande ; -de séquençement (exécution au mauvais moment) ; -de planification (temporelle (ou de délai) ; -qualitative ; 	caractéristiques de la situation, de la tâche, et de l'équipement	-classification dans un but prédictif du taux d'erreurs humaines dans le cadre d'évaluation de la fiabilité humaine (méthode technique for human error rate prédiction).
(Leplat, 1985)	<p>classification de l'erreur humaine fondée sur le schéma général de la régulation de l'action.</p> <ul style="list-style-type: none"> -méconnaissance du but (erreur de l'expert) ; -évaluation de résultat ; -erreur de diagnostic ; -erreur de traitement ; 	<p>-but insuffisamment défini</p> <p>-but insuffisamment Formulé</p> <p>-erreur de perception</p>	classification fondée sur le schéma général de la régulation de l'action
(Villemeur, 1988)	<p>classification d'erreur humaine selon :</p> <ul style="list-style-type: none"> -les phases de cycle de vie du système ; -l'accomplissement de la tâche ; -la tâche spécifique ; 	<p>-erreur de conception</p> <p>-erreur de fabrication</p> <p>-erreur d'exploitation</p>	-analyse de la fiabilité humaine en termes d'erreurs humaines pour améliorer la sûreté de fonctionnement des systèmes.

(Nicolet, 1990)	Classification d'erreur en : -erreur de perception ; -erreur de décodage ; -erreur de représentation ; -non-respect d'une procédure ou d'une réglementation ; -erreur de communication (Homme-Homme) ; -erreur de décision ; -erreur d'action ;	information non perçue, signal fugace, noyé ou peu contrasté par rapport à son environnement stimulus reçu et perçu mais mal interprété car sa transposition en information utile est délicate il existe un décalage entre une situation réelle et l'image mentale que s'en fait l'opérateur	-examen des défaillances qui peuvent survenir tout au long de la chaîne perception-action (origine des erreurs).
(Reason, 1990)	Classification des erreurs humaines de base en : -ratés et lapsus basés sur les automatismes -fautes basées sur les règles ; -fautes basées sur les connaissances déclaratives ;	erreurs relatives à un manque d'attention ou à une sur attention - erreurs relatives à la rationalité limitée ou à des connaissances incomplètes	-cadre conceptuel d'identification des origines des types de base des erreurs -Système générique de modélisation des erreurs humaines
(Cellier, 1990)	classification d'erreurs humaines en fonction : -d'élément et structure de la tâche ; -des traits généraux de l'erreur ; -d'activité de l'opérateur ;	-exécution -contrôle et communication -conduite	-catégorisation en fonction de la structure de la tâche, des traits généraux de l'erreur et des modèles d'activités de l'OH.

(L'Organisme de l'Aviation Civile Internationale (OACI), 1992)	<p>classification basée sur un modèle conceptuel de facteur humain :</p> <ul style="list-style-type: none"> -interface homme-machine ; -interface homme-documentation ; -interface homme-environnement ; -interface homme-homme ; 	<p>mauvaise localisation ou d'un codage inapproprié de boutons ou de manettes de commande</p> <p>-mauvaises interactions interpersonnelles ou des insuffisances de commandement</p>	<p>-classification basée sur un modèle conceptuel de facteur humain « Homme, Machine, Environnement »</p>
(Laprie, 1995)	<p>classification d'erreur humaine fondée sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> -activité d'exploitation ; -activité cognitive ; -degré de certitude des informations ; -nombre des opérateurs humains ; -expériences des opérateurs humains ; -régularité de l'activité ; 	<p>-erreurs de conduite ou de maintenance</p> <p>-erreurs par dépassement des capacités physiologiques,</p>	<p>analyse des défaillances humaines en termes d'activités qui conduisent aux erreurs humaines.</p> <p>-Améliorer la sûreté de fonctionnement des systèmes sociotechniques.</p>
(Van Elslande, 1997, 2001)	<p>classification d'erreur basé sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> -dépassement des ressources humaines ; -défaillance d'une étape de raisonnement ; -distorsion entre la représentation et le monde réel ; 	<p>-capacité limitée de traitement des informations</p> <p>-inadéquation entre exigences de la tâche et les ressources pour l'effectuer</p>	<p>-classification fondée sur le fonctionnement cognitif de l'homme.</p> <p>-élaboration d'un modèle de classification des défaillances du conducteur automobile en termes des scénarios-types d'erreurs humaines dans l'accident.</p>
(Marx, 2001)	<p>Classification des erreurs en :</p> <ul style="list-style-type: none"> -erreur simple -négligence 	<p>-analyse cognitif de processus de fonctionnement humain</p>	<p>-classification fondé sur la taxonomie de Reason (raté, lapsus, négligence)</p>

Synthèse :

L'ensemble des modèles synthétisés dans le tableau 2 sont contribués à l'évolution de la notion de l'erreur humaine sur plusieurs niveaux.

Le modèle de Rasmussen et Jensen en 1974, a été classé l'erreur en fonction de trois niveaux hiérarchiques d'activités de l'opérateur (erreurs basées sur les habilités (Skill-based), erreurs basées sur les règles (Rule-based), erreurs basées sur les connaissances déclaratives (Knowledge-based)). Ce modèle a défini le processus du raisonnement de l'homme ainsi les sources des dysfonctionnements humains.

Le modèle de Reason en 1979, a été basé sur la taxonomie de Rasmussen. Néanmoins à celui de Reason a été focalisé sur la notion de plan d'action, pour trouver l'origine des erreurs. Dans ce sens Norman en 1981, distingue deux types d'erreurs (erreurs de description de saisie, et d'activation et erreurs par défaut de déclenchement des schémas actifs), quand l'opérateur humain n'a pas des informations suffisantes sur l'action dédié.

Ces taxonomies d'erreurs humaines citées, schématisent le processus psycho-cognitif de fonctionnement de l'homme, qui décrit la façon de raisonnement de l'homme pour réaliser une action (Rasmussen, Reason, Norman, Necolet, Rouse).

Entre autre les taxonomies de (Cellier, Leplat, Laprie, Villemeur), classent les erreurs à partir d'une analyse approfondie de la tâche menée par l'opérateur humain, suite à une action erronée. Dans un but est de réduire les sources des erreurs pour améliorer la sécurité industrielle. [9]

Conclusion :

L'analyse des erreurs humaines ne sont pas simplement le résultat d'un comportement individuel négligent ou incompetent. Au contraire elles sont souvent dues à des facteurs systémiques tels que des procédures mal conçues, des environnements de travail stressants, une mauvaise communication.

Il est essentiel de prendre en compte la complexité des interactions entre les individus, les taches et les systèmes dans lesquels ils opèrent. Les erreurs humaines sont souvent le résultat à d'une combinaison de facteurs.

L'analyse des erreurs humaines a conduit l'émergence de différentes approches pour les prévenir et les atténuer. Parmi celles-ci, on trouve la mise en place de système de gestion des erreurs, la conception de systèmes résilients capable de s'adapter aux erreurs et taux situations imprévues et l'utilisation de technologie et d'outils qui soutiennent les opérateurs humaines dans leurs taches.

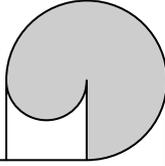


Chapitre III :

Les méthodes

d'évaluation de la

fiabilité humaine



Introduction :

L'homme doit être considéré comme un utilisateur des ressources et moyens (en temps, compétences, informations.) mis à sa disposition pour lui permettre de remplir ses missions. En partant de ce principe, les méthodes d'évaluation de fiabilité humaine prennent en compte l'adéquation ou la suffisance de ces moyens vis-à-vis des objectifs à atteindre. Autrement dit, la fiabilité humaine dépend directement de ces facteurs (accès aux informations, disponibilité de l'opérateur, complexité de l'action, ... etc.)

Dans ce but, l'évaluation de l'apparition d'une erreur humaine dépend des interactions entre l'homme et son environnement. Hollnagel considère la performance humaine comme le résultat des interactions entre trois principales catégories de facteurs: Homme, technologie et Organisation. [24]

I. Inventaire (non exhaustif) des méthodes :

Les premières études de fiabilité humaine ont été réalisées dans les années 60- 70, principalement dans le domaine nucléaire, avec le développement de la méthode THERP (Technique for Human Rate Prediction). Parallèlement, s'est développée la technique d'évaluation probabiliste des risques avec, en 1975, la réalisation de la première Étude Probabiliste de Sûreté (EPS) d'un réacteur nucléaire aux États-Unis. Cette étude considérait les actions des opérateurs comme un des trois principaux contributeurs du risque. Quatre ans plus tard, suite à l'accident de Three Mile Island, le développement de la technique d'évaluation de la fiabilité humaine a pris un essor considérable. En effet, cet accident a révélé l'importance des facteurs humains : l'analyse de cet accident avait en effet mis en évidence l'incompréhension des opérateurs devant le comportement du réacteur compte-tenu de la formation et de l'instrumentation dont ils disposaient. Depuis lors, l'industrie nucléaire a multiplié les évaluations probabilistes de sûreté intégrant généralement une Évaluation Probabiliste de la Fiabilité Humaine (EPFH). Ce secteur industriel est un des principaux contributeurs, avec l'industrie aéronautique, du développement de l'évaluation de la fiabilité humaine. De nombreuses méthodes d'identification et de quantification de la fiabilité humaine sont aujourd'hui disponibles, mais peu ont fait l'objet d'une réelle validation. Les études de Bell et al. ont identifié 72 méthodes et acronymes concernant la fiabilité humaine. Salmon et al. mentionnent une quarantaine de méthodes. Stanton et al. indiquent environ 70 méthodes. En résumé, le Tableau 1 présente environ 80 méthodes et acronymes qui abordent la fiabilité humaine et l'analyse des tâches. [30]

Tableau III-3: Liste des méthodes d'évaluation de la fiabilité humaine et analyse des tâches [30]

N°	Méthode	Description
1	ACIH	Analyse des Conséquences de l'Infiabilité Humaine
2	ACTA	Applied Cognitive Task Analysis
3	AIPA	Accident Initiation and Progression Analysis
4	APJ	Absolute Probability Judgement
5	ASEP	Accident Séquence Évaluation Procédure
6	ATHEANA	A Technique for Human Event Analysis
7	CAHR	Connectionism Approach for Assessing the Reliability of Human actions
8	CARA	Controller Action Reliability Assessment
9	CBDT	Cause-Based Decision Tree method
10	CDM	Critical Decision method
11	CES	Cognitive Environmental Simulation
12	CESA	Commission Errors Search and Assessment
13	CM	Confusion Matrix
14	CODA	Conclusions from occurrences by descriptions of actions
15	COGENT	COGnitive EveNt Tree
16	COSIMO	Cognitive Simulation Model
17	CPA	Critical Path Analysis for Multimodal activity
18	CREAM	Cognitive Reliability and Error Analysis Method
19	DAD	Decision Action Diagrams
20	DNE	Direct Numerical Estimation
21	EPRI	Electric Power Research Institute (EPRI) HRA Calculator
22	FACE	Framework for Analysing Commission errors
23	FLIM	Failure Likelihood Index Method
24	FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
25	FRAM	Functional Resonance Accident Model
26	FTA	Fault Tree Analysis
27	GOMS	Goals, Operators, Methods and Selection Rules
28	HCR	Human Cognitive Reliability
29	HE HAZOP	Human Error Hazard and Operability Study
30	HEA	Human Error Analysis
31	HEART	Human Error Assessment And Reduction Technique
32	HEI	Human Error Identification
33	HEIST	Human Error Identification in Systems Technique

34	HERA	Human error and Recovery Assessment Framework
35	HET	Human error template
36	HFA	Human Factors Analysis
37	HF-RBE	Human Factors Reliability Benchmark Exercise
38	HORAAM	Human and Organisational Reliability Analysis in Accident Management
39	HPES	Human Performance Évaluation System
40	HRAET	Human Reliability Analysis Event Tree
41	HRAG	Human Reliability Assessor's Guide
42	HRMS	Human Reliability Management System
43	HRQ	Human Reliability Quantification
44	HTA	Hierarchical Task Analysis
45	IDA	Influence Diagrams Approach
46	IMAS	Influence Modelling and Assessment System
47	INTENT	Not an acronym
48	ITA	Initial Task Analysis
49	JHEDI	Justification of Human Error Data Information
50	MAPPS	Maintenance Personnel Performance Simulation
51	MC	Matrice de confusion
52	MDTA	Misdiagnosis Tree Analysis
53	MERMOS	Méthode d'Évaluation de la Réalisation des Missions Opérateur pour la Sécurité
54	NARA	Nuclear Action Reliability Assessment
55	OAT / OAET	Operator Action Tree / Operator Action Event Tree
56	OHPRA	Operational Human Performance Reliability analysis
57	PC	Paired Comparisons
58	PEM	Psychological Error Mechanism
59	PHECA	Potential Human Error Causes Analysis
60	PHOENIX	Prediction of Human Operator Error using Numerical Index eXtrapolation
61	PHRA	Probabilistic Human Reliability Assessment
62	SCHEMA	System for Critical Human Error management analysis
63	SHARP	Systematic Human action Reliability Procedure
64	SHERPA	Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach
65	SLIM- MAUD	Success Likelihood Index Method using Multi-Attribute Utility Decomposition
66	SLIM- SARAH	SLIM with Sensitivity Analysis and Reliability Assessment of Humans
67	SPAR-H	Standardized Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis

68	SPEAR	System for Predictive Error Analysis and Reduction
69	SRK	Skill-Rule-Knowledge
70	STA	Sequential Task Analysis
71	STahr	Socio-Technical Assessment of Human Reliability
72	STAMP	System-theoretic model of accidents
73	TAFEI	Task Analysis For Error Identification
74	TAKD	Task Analysis Knowledge Decomposition
75	TEPPS	Technique for Estimating Personal Performance Standards
76	TESEO	Technica Empirica Stima Errori Operatori
77	THERP	Technique for Human Error Rate Prediction
78	TLA	Timeline Analysis
79	TRACEr	Technique for the Retrospective and Predictive Analysis of Cognitive Errors
80	TRC	Time Reliability Correlation
81	TRIPOD	Méthode de sécurité organisationnelle
82	VPA	Verbal Protocol Analysis

I.1. Classification des méthodes :

Les méthodes d'évaluation de la fiabilité humaine peuvent être classées en deux manières :

- classification par générations,
- Classification par type d'approches.

I.1.1 Classification par génération :

La classification par générations est apparue dans les années 90. Plusieurs auteurs ont adopté cette classification.

Il est assez habituel de distinguer deux générations successives de méthodes (transition qui peut être datée des années 90 ans) marquant une évolution significative relative à la manière de prendre en compte les caractéristiques de l'homme et de sa fiabilité. [30]

I.1.1.1 Méthodes de 1^{ère} génération :

La première génération est classiquement dite centrée sur « l'erreur humaine » assimilant l'individu à un élément parmi d'autres du système technique (modèle mécaniste de l'individu). Ces méthodes visent à identifier les défaillances humaines, dépendante d'un contexte, mais sans recherche approfondie des causes de l'erreur.

Ces méthodes proposent une démarche de caractérisation des contextes des missions humaines en référence à un ensemble de tâches génériques et/ou de facteurs de contexte (exemples : défauts de procédures, ou de formation ou d'indications) auxquels sont associés des coefficients ou probabilités d'échec. [30]

I.1.1.2 Méthodes de 2^{ème} génération :

Elles s'intéressent aux processus cognitifs permettant d'expliquer et de prédire les défaillances humaines. Ces méthodes postulent l'existence d'une certaine dépendance entre les différents facteurs de contexte et intègre cet aspect dans l'évaluation. [30]

I.1.1.3 Méthodes de 3^{ème} génération :

Cette génération de méthode a été proposée par Bell et Holroy. Les publications sur les méthodes de 3^{ème} génération sont très peu nombreuses. Selon Bell et Holroyd, cette génération est basée sur la méthode HEART de 1^{ère} génération. Les méthodes de troisième génération s'intéressent à l'environnement organisationnel de travail susceptible de conduire et contraindre l'individu à l'erreur. [30]

Tableau III-4 : La classification des méthodes par génération [24].

	Nom de la méthode	Fondateur	Ann e
Generation 01	THERP (Technique for Human Error Rate Prediction)	Swain	1963
	TESEO (Technica Empirica Stima Errori Operatori),	Bello et Colombari	1980
	SLIM (Success Likelihood Index Method)	Embrey	1983
	HEART (Human Error Assesement and Reduction Technique)	Williams	1985
	HCR (Human Congnitive Reliability)	Hannman	1984
Generation 02	CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method)	Hollnagel Cooper Le	1998
	ATHEANA (A Technique for HumanEvent ANALysis)	Bot	1996
	MERMOS (M thode d'Evaluation de la R alisation des Missions Op rateur pour laS ret)		1998
Generation 03	WPAM (Work Process Analysis Model)	Davoudian	1994
	Tripod	Groeneweg	1998
	I-Risk	Bellamy	1999
	FRAM (Functional Resonance AnalysisMethod)	Hollnagel	2004
	BORA (Barrier and Operational Risk Analysis)	Aven	2004

I.2. Classification par type d'approche :

Ce type de classification a été proposé par PyyP. Les méthodes EFH ou HRA peuvent être classifiées en fonction:

- du niveau de détail des analyses réalisées,
- du type de modélisation cognitive prise en compte,
- de la manière dont elle prend en compte,
 - la dimension temporelle,
 - les facteurs contextuels,
 - les données de fiabilité utilisées. [30]

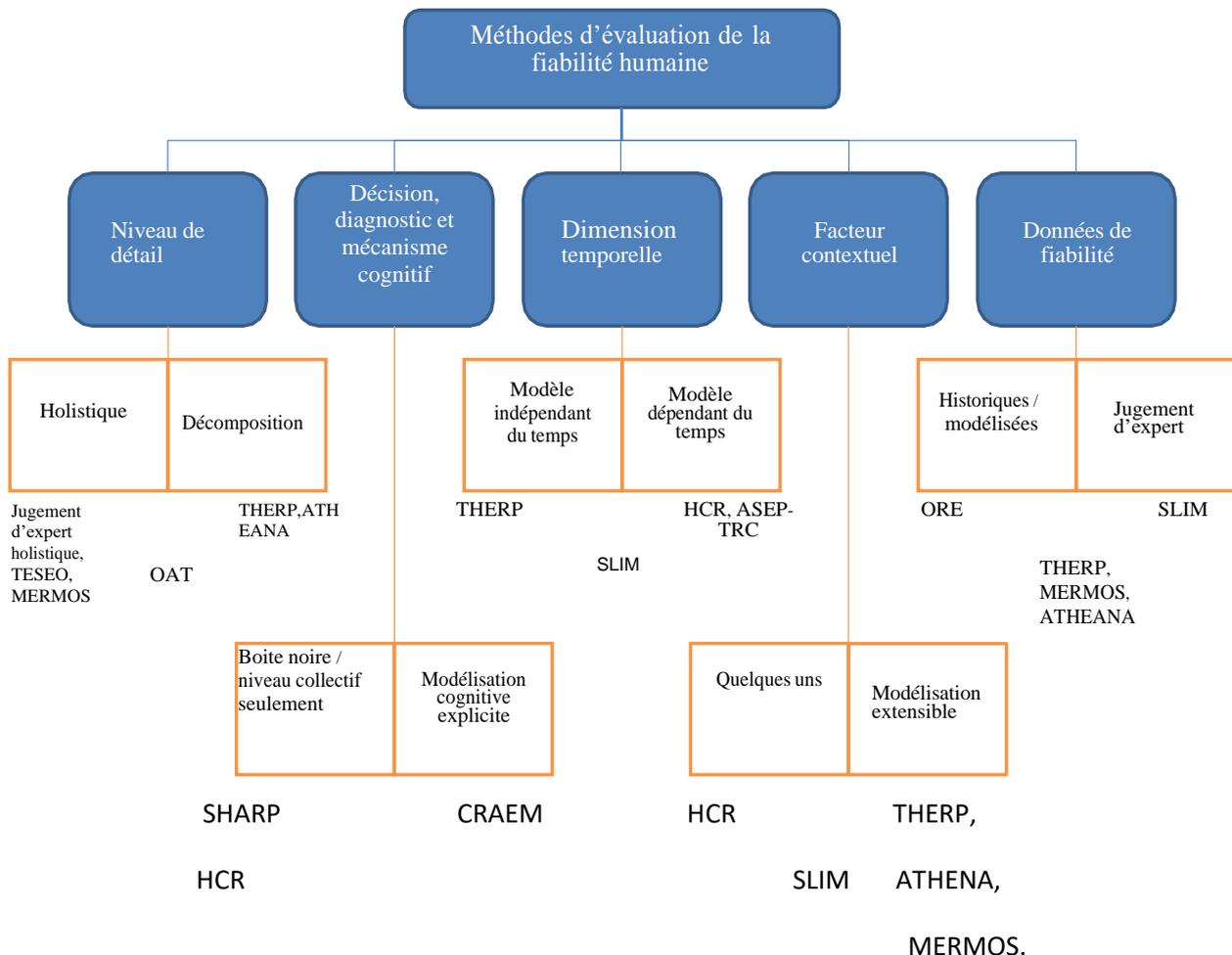


Figure III-11 : Classification des méthodes d'évaluation de la fiabilité humaine selon PyyP. [30]

II. 1.Évaluation de la fiabilité humaine (human reliability analysis) :

Alors, qu'est-ce qu'une évaluation de la fiabilité humaine ? Pour répondre à cette question,

considérons la mission humaine suivante : « Redémarrer un four suite à un arrêt ». Quelles activités implique l'évaluation de la fiabilité humaine pour cet exemple ? Examiner la procédure de redémarrage et évaluer les compétences de l'opérateur est-il suffisant ? Faut-il identifier les erreurs possibles et les conditions conduisant à l'échec et estimer leur probabilité d'occurrence ? Faut-il également prendre en compte la qualité des interfaces de commande et de surveillance ? Le stress joue-t-il un rôle important ? La pénibilité ? Le travail en équipe ? L'organisation du travail ? Existence-ils des valeurs de références ? L'évaluation de la fiabilité humaine peut être réalisée dans le cadre du développement des interfaces homme-machine pour la conception d'un poste de travail, pour la redéfinition des fiches de poste et des compétences associées, ou bien dans le cadre des études probabilistes de sûreté et de risque pour analyser les causes des incidents/accidents et leur probabilité d'occurrence.

L'évaluation de la fiabilité humaine tente d'évaluer le potentiel et le mécanisme des erreurs humaines qui peuvent affecter la sûreté des installations. L'analyse de tâche est souvent une étape centrale de l'évaluation de la fiabilité humaine. [31]

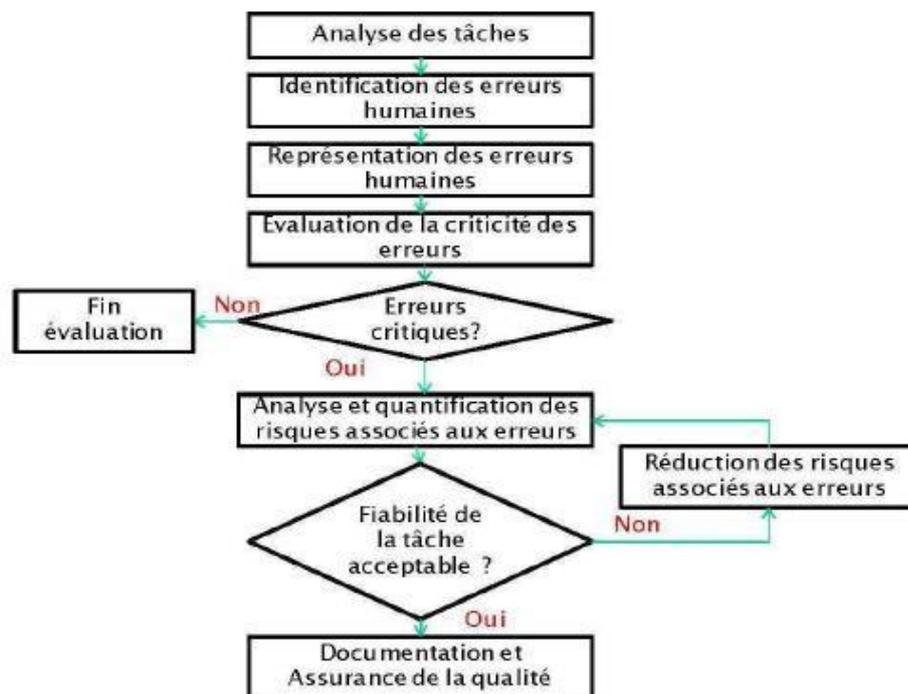


Figure III-12: Démarche générale d'évaluation de la fiabilité humaine. [22]

II.1.1L'analyse des tâches :

visent à déterminer en détail le rôle des opérateurs et leurs interactions avec les systèmes. Exemples de méthodes : analyse hiérarchisée de tâche (HTA – Hierarchical Task Analysis)[22]

Analyse hiérarchique des tâches (HTA : Hierarchical Task Analysis)

Elle consiste à identifier les différentes sous tâches et leurs buts respectifs, cette analyse peut se réaliser à partir : des interviews des opérateurs et des concepteurs, des observations sur les postes du travail, d'analyse des tâches prescrites et des tâches réelles. Cette analyse va nous permettre d'établir une liste de tâches et des buts élémentaires pour une activité donnée.

Ces tâches peuvent ensuite être classées selon quatre grands types de processus mentaux, élaborés à partir du modèle de **RASSMUSSEN**.

- Tâches basées sur les habilités ;
- Tâches de diagnostic basées sur les règles ;
- Tâches basées sur les règles du type : si **X** alors **Y** ;
- Tâches basées sur les connaissances. [23]

II.1.2.L'identification des erreurs humaines ou HEI (Human Error Identification) :

est probablement la partie la plus difficile de l'étude EFH. On se basant sur quelques typologies d'erreurs les plus connues et les plus utilisées dans les études d'analyse de risques. [22]

II.1.3. Représentation des erreurs humaines :

consiste à les représenter avec d'autres défaillances matérielles dans des arbres logiques, tels que l'arbre de défaillance et l'arbre d'événement.[22]

II.1.4.Évaluations des impacts des erreurs humaines :

visent à évaluer l'impact des erreurs sur la sécurité du système. Ce calcul permet de repérer des erreurs critiques pour la sécurité en répondant aux questions suivantes : le risque d'erreur humaine est-il acceptable ? Quels moyens peuvent permettre de réduire ce risque à un niveau acceptable ? [22]

II.1.5 L'analyse et quantification des erreurs humaines :

est la partie la plus développée dans les méthodes identifiées dans la littérature. Exemples de méthodes : • THERP (Technique for Human Error Rate Prediction) • TESEO (Technica Empirica Stima Errori Operatori) • SLIM- (Success Likelihood Index Method). [22]

II.1.6. Réduction des risques d'erreurs humaines :

est nécessaire si leur impact sur le niveau du risque global est jugé trop important. Cette réduction s'applique aux causes des erreurs identifiées ou sur les facteurs de performances utilisés dans la phase de quantification. Des dispositions doivent être prises pour maintenir dans le temps le niveau de performance. [22]

II.1.7. Documentation et l'assurance de la qualité :

est la dernière étape du processus d'une EFH (évaluation fiabilité humaine), pendant laquelle les méthodes et les résultats sont documentés. Les méthodes et les résultats doivent pouvoir être audités par une équipe d'évaluation indépendante. [22]

L'évaluation de la fiabilité humaine peut s'envisager de différentes manières, selon les objectifs et les contraintes à satisfaire. Une analyse des tâches est nécessaire afin de déterminer la contribution de l'opérateur humain dans la réalisation des fonctions de la tâche. Il s'agit ensuite d'identifier les différentes erreurs que l'opérateur peut commettre au moment de la réalisation de son activité. Une analyse quantitative des erreurs humaines est effectuée permettant de calculer la probabilité de leurs occurrences. Cette analyse peut être suivie par une étude des conséquences pour évaluer le risque d'erreur humaine. Le niveau d'acceptabilité du risque est fixé par les objectifs et les contraintes de départ. Ainsi, si le risque d'erreur ou la probabilité d'erreur est qualifié comme étant acceptable, les spécifications finales du système Homme-Machine sont alors abouties. Dans le cas contraire, des recommandations doivent être proposées. Dans le cas où les tâches sont modifiées, leur analyse doit être refaite jusqu'à l'acceptation du risque ou de la probabilité d'occurrence de l'erreur. A partir de cette étude, nous retenons que l'évaluation de la fiabilité humaine tente d'évaluer les erreurs qui peuvent affecter la sûreté des systèmes Homme-Machine.

De nombreuses approches se sont intéressées à l'analyse et l'occurrence de l'erreur humaine. La partie suivante présente différentes manières de les évaluer. [12]

II.2 Méthodes d'analyse de l'erreur humaine :

Dans cette partie, l'objectif n'est pas de les présenter toutes mais de comprendre les différentes démarches développées. Nous classons ces approches en 3 catégories : méthodes à priori, méthodes à posteriori et méthodes dynamiques.

II.2.1 Méthodes a priori :

Cette catégorie de méthodes est basée sur la prédiction de l'erreur humaine.

THERP (*Technique for Human Error Rate Prediction*) : cette méthode a pour objectif de prédire les probabilités de l'erreur humaine et d'évaluer la dégradation des systèmes Homme-Machine due à ces erreurs.

HCR (*Human Cognitive Reliability*) : cette méthode estime la probabilité de non- réponse de l'opérateur en prenant en compte le modèle de Rasmussen.

MERMOS (*Méthode d'Evaluation de la Réalisation des Missions Opérateur pour la Sûreté*) : elle permet l'évaluation de la sûreté de la conduite accidentelle des centrales nucléaires.

CREAM (*Cognitive Reliability and Error Analysis Method*) : basée sur la taxonomie de l'erreur humaine, elle peut être utilisée à la fois pour la recherche des causes des erreurs et pour prédire les performances humaines.

APRECIH (*Analyse PREliminaire des Conséquences de l'Infiabilité Humaine*) : c'est une approche qui permet de comparer les comportements prescrits avec les comportements réels anticipés.

FRAM (*Functional Resonance Analysis Method*) : elle permet de décrire le système sociotechnique par ses fonctions et ses activités plutôt que par sa Structure. Elle a pour objectif de représenter la Dynamique du système par la modélisation des dépendances non linéaires Qu'elle contient et par une représentation originale de la performance des Fonctions et des activités. [12]

II.2.2 Méthodes a posteriori :

Ces approches sont basées sur un modèle de dysfonctionnement. Elles sont considérées comme des méthodes du retour d'expérience permettant d'analyser les incidents ou les accidents et de spécifier de nouvelles parades préventives ou correctives.

MAFERGO (*Méthodologie d'Analyse de la Fiabilité et ERGonomie Opérationnelle*) : cette méthode permet l'analyse de la fiabilité opérationnelle afin de proposer les adaptations nécessaires pour reconcevoir efficacement le système. Elle combine à la fois les aspects de l'ergonomie et ceux de la fiabilité technique en cherchant à réduire la probabilité d'apparition des dysfonctionnements des systèmes sociotechniques.

PRISMA (*Prevention and Recovery Information System for Monitoring and Analysis*) : elle est basée sur l'analyse d'incidents afin de prescrire leurs modes de suivi et les modes de récupération des erreurs humaines.

BASIS (*British Airways Safety Information System*) : elle permet le report et la classification d'incidents pour identifier les facteurs favorisant leur occurrence ou leur évitement.

RECUPERARE : elle consiste à étudier les possibilités de récupération d'incidents modélisés dans une base de données prédéfinie.

APOSCIH (*Analyse à POSTeriori des Conséquences de l'Infiabilité Humaine*) : fondée sur une analyse du retour d'expérience, elle permet de comparer les comportements prescrits avec les comportements réels observés. [12]

II.2.3 Méthodes dynamiques :

Ces méthodes permettent de prendre en compte l'interaction dynamique entre l'opérateur humain et le système technique.

HITLINE (**H**uman **I**nteraction **T**ime**L**INE) : elle est basée sur un modèle de simulation intégrant les facteurs qui influencent la performance humaine et leurs effets sur le comportement humain.

DYLAM (**D**Ynamic **L**ogical **A**nalytical **M**ethodology) : comme HITLINE, la méthode DYLAM se base sur un modèle de simulation en intégrant l'évolution dynamique des variables du procédé piloté et du comportement du système Homme- Machine en conditions normales et dégradées. [12]

II. Synthèse :

Les méthodes de fiabilité humaine ont prouvé leurs succès en termes d'analyse et d'évaluation qualitative et/ou quantitative de l'erreur humaine. Les méthodes présentées dans cette partie peuvent être distinguées selon les modèles dont elles se basent et ainsi, les exigences qu'elles mettent en avant. THERP et HCR sont centrées sur le calcul probabiliste de l'erreur. MERMOS analyse les missions humaines pour évaluer la sûreté de la conduite accidentelle. CREAM s'intéresse davantage aux processus cognitifs en se basant sur un modèle de taxonomie de l'erreur. Elle introduit en plus, la notion de contrôle de la situation par l'opérateur humain. Quant à APRECIH, elle permet de déterminer les modes de dérive comportementale, à partir de l'analyse fonctionnelle du système Homme-Machine, de l'analyse contextuelle et procédurale ainsi que de l'analyse des tâches. En ce qui concerne la méthode FRAM, elle se distingue des autres approches par une prise en compte importante de l'environnement organisationnel de travail susceptible de conduire à l'erreur. Le modèle de dysfonctionnement élaboré à partir d'une analyse d'incidents est représenté à travers les méthodes d'évaluation prospective de l'erreur humaine comme MAFERGO, PRISMA, BASIS,

RECUPERARE et APOSCIH. HITLINE et DYLAM se basent sur un modèle de simulation qui interagit avec d'autres modèles, nécessaires à l'analyse : un modèle de système technique, un modèle de l'opérateur humain et un modèle d'interaction Homme-Machine. Une synthèse des méthodes étudiées est représentée par le Tableau 3. [12]

Tableau III-5: Méthodes d'analyse de l'erreur humaine [12]

	Méthodes	Principe	Objectif	Domaines d'application
Méthodes <i>a priori</i>	THERP, HCR	Probabilité d'occurrence de l'erreur	Analyse quantitative de l'erreur	Nucléaire, ferroviaire
	MERMOS	Evaluation de la sûreté de la conduite accidentelle	Analyse quantitative de l'échec des missions facteurs humains	Nucléaire
	CREAM	Modèle de taxonomie de l'erreur	Analyse cognitive de l'erreur	Informatique
	APRECIH	Modes de dérive comportementale	Analyse de dérives comportementales	Ferroviaire, imprimerie
	FRAM	Modèle fonctionnel de l'opérateur humain	Analyse de la performance des fonctions et des activités	Ferroviaire
Méthodes <i>a posteriori</i>	MAFERGO, PRISMA, BASIS, RECUPERARE, APOSCIH	Modèle de dysfonctionnement	Analyse d'incidents	Imprimerie, métallurgie, conduite de processus chimique, ferroviaire
Méthodes dynamiques	HITLINE, DYLAM	Modèle de simulation	Analyse des comportements dynamiques	---

III. Approches d'évaluation de la fiabilité humaine

III.1 Méthode THERP: (Technique for Human Error Rate Prediction):

III.1.1. Fondement :

THERP (Technique for Human Error Rate Prediction) ou Technique de Prédiction du Taux d'Erreur Humaine est une méthode d'identification, de modélisation et de quantification des événements dangereux dus aux erreurs humaines ou HFEs (Human Failure Events) dans les études probabiliste de sûreté (EPS/PRA) pour le contexte nucléaire. Cette méthode a été développée par Swain A.D., psychologue travaillant pour l'armée américaine au Sandia National Laboratories et a été publiée officiellement en 1983. Auparavant, elle a été communiquée en 1975 par USA, et publiée en 1963 par Swain.

THERP considère les actions humaines du même point de vue que le fonctionnement des équipements. Elle tient compte également de facteurs de performances (Performance Shaping Factors, PSFs) influençant la performance humaine.

Les facteurs de performance PSFs sont divisés en trois classes:

- Les facteurs PSFs externes vis-à-vis de l'individu.
- Les facteurs PSFs internes vis-à-vis de l'individu.
- Les facteurs PSFs de stress et d'expérience.

Ces facteurs de performance PSFs sont utilisés pour ajuster (réduire ou augmenter) les probabilités nominales d'erreurs humaines NHEP (Nominal Human Error Probability) selon les jugements portés par les analystes sur l'environnement de travail, la qualité des interfaces homme-machine ou de l'ergonomie et des procédures, ainsi que les habiletés, l'expérience, la motivation, les aspirations et les éventuels stress de l'opérateur.

THERP aborde les événements humains pré-initiateur et post-initiateur HFEs dans le contexte nominal, i.e. dans les conditions normales. Cette méthode est une méthode d'estimation des taux d'erreur humaine pour évaluer la dégradation du système homme-machine causée par les erreurs humaines en association avec d'autres facteurs comme la fiabilité des équipements et des procédures.

La réalisation de la technique THERP est basée sur une identification des erreurs humaines, des facteurs de performance PSFs et de leurs effets, à l'aide d'une analyse des tâches par une équipe multidisciplinaire animée par un expert du facteur humain. Chaque tâche est divisée ou décomposée en étapes ou tâches élémentaires plus détaillées pour identifier les erreurs pouvant se produire au niveau de chaque étape élémentaire. La décomposition d'une tâche donnée en plusieurs opérations élémentaires est présentée sous forme d'un arbre d'événements illustré dans la figure 4. Les branches représentent des décisions binaires qui contraignent le choix entre l'action correcte (branche gauche) et l'action incorrecte (branche droite) ou erreur. Chaque branche représente une

combinaison d'activités humaines associées à des facteurs de performance i.e. les déterminants présumés de ces activités.

THERP propose 27 tableaux de probabilités d'erreurs humaines pour les actions les plus courantes. Pour illustrer, le Tableau 4 présente un des 27 tableaux de THERP.

Tableau III-6: Probabilités des erreurs d'omission par situation lorsque l'utilisation de procédures écrites est spécifiée. [30]

N°	Situation	Probabilité d'échec HEP ou BHEP
	Lorsque les procédures avec les dispositions de vérification sont correctement utilisées :	
(1)	Liste courte, ≤ 10 éléments Longue	0,001
(2)	liste, > 10 éléments	0,003
	Lorsque les procédures sans les dispositions de vérification sont utilisées ; ou lorsque les dispositions de vérification sont utilisées incorrectement :	
(3)	Liste courte, ≤ 10 éléments Longue	0,003
(4)	liste, > 10 éléments	0,01
(5)	Lorsque les procédures décrites sont disponibles et devraient être utilisées, cependant elles ne sont pas utilisées	0,05

Les valeurs des probabilités d'erreur humaine données sont nominales et génériques. Elles sont basées sur des avis d'experts et sur des données recueillies lors d'activités similaires à celles que réalisent des opérateurs des centrales nucléaires.

La probabilité d'erreur pour chaque étape élémentaire est estimée en tenant compte des facteurs suivants :

- la vraisemblance d'une détection, d'un diagnostic,
- la possibilité d'un rattrapage,

Les conséquences de l'erreur du moment où cette dernière n'est pas corrigée.

- les facteurs de performance internes (expérience, condition physique, ...), externes (poste de travail ou la complexité de travail, conditions environnementales telles que la température, ergonomie, structure organisationnelle...), ou de stress (rapidité de la tâche,

fatigue, pression temporelle...). [30]

Le principe de la méthode est illustré dans la figure 3. [30]

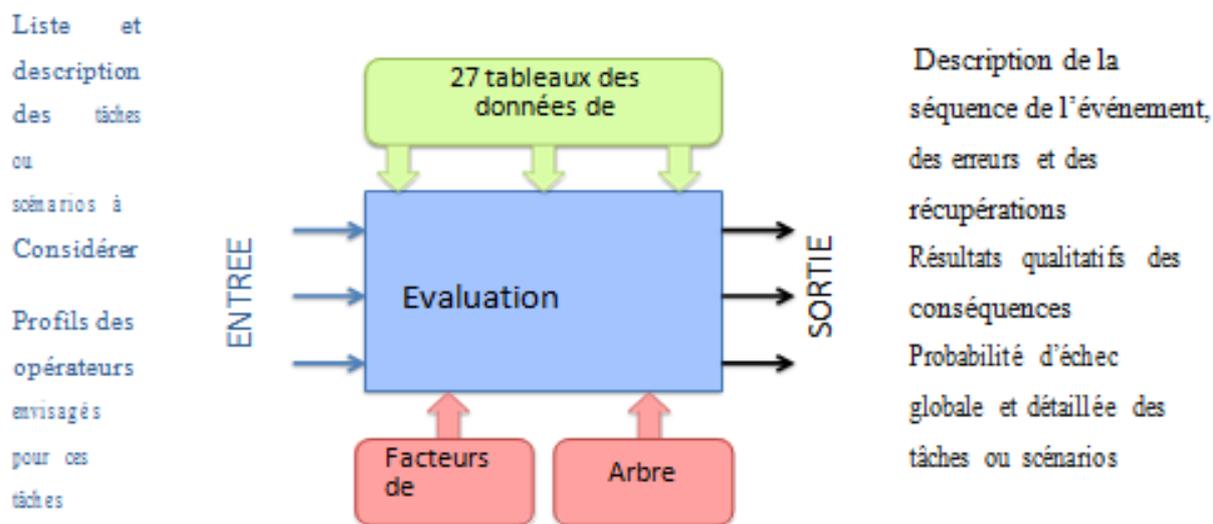


Figure III-13: le principe de méthode THERP [30]

III.1.2 Procédure :

La procédure globale de THERP peut être présentée par cinq étapes suivantes:

1. Définir les défaillances du système à considérer. Cette étape consiste à identifier les fonctions du système qui peuvent être affectées par les erreurs humaines.
 - a) Identifier et lister toutes les opérations humaines concernées et leur relation avec le système, les tâches et les fonctions. Cette étape demande une analyse des tâches de tous les opérateurs et tous les agents chargés de la maintenance.
 - b) Identifier et définir toutes les erreurs qui font l'objet d'une quantification. THERP propose les typologies d'erreurs suivantes :
 - Erreur d'omission EOO (Error Of Omission),
 - Erreur de commission, ou Erreur de réalisation EOC (Error Of Commission):
 - Erreur de diagnostic,
 - Erreur de sélection (mauvais contrôle, mauvaise position et mauvaise commande),
 - Erreur de séquence (mauvais ordre),

- Erreur de planification (trop tôt, trop tard),
 - Erreur qualitative (trop/pas assez).
- c) Estimer la probabilité des erreurs identifiées. Cette étape nécessite une estimation des probabilités nominales à l'aide de 27 tableaux fournis dans THERP, et une identification des conditions de performance PSFs liées aux erreurs et aux scénarios identifiés. La valeur numérique de ces facteurs de performance donnée dans les tableaux de THERP est ensuite utilisée pour ajuster la probabilité nominale des erreurs:

$$P_{\text{erreur}} = P_{\text{erreur_nominale}} * \sum_{K=1}^N PSF_k * W_k$$

OU :

- P_{erreur} = la probabilité de l'erreur humaine ajustée selon le contexte
- $P_{\text{erreur_nominale}}$ = la probabilité de l'erreur humaine nominale correspondante NHEP ou BHEP
- PSF_k = la valeur numérique du facteur de performance PSF_k
- W_k = le poids du facteur de performance PSF_k ou le facteur de correction, sa valeur est estimée par l'analyste entre 0,05 et 1

N = le nombre des facteurs de performance PSFs liés à cette action humaine

Tableau III-7: Exemple de tableau d'estimation des erreurs humaines proposé par Swain

Item	Potential Errors	HEP	EF
(1)	Inadvertent activation of a control Select wrong control on a panel from an array of similar-appearing controls**:	see text, Ch. 13	
(2)	identified by labels only	.003	3
(3)	arranged in well-delineated functional groups	.001	3
(4)	which are part of a well-defined mimic layout	.0005	10
	Turn rotary control in wrong direction (for two-position switches, see item 8):		
(5)	when there is no violation of populational stereotypes	.0005	10
(6)	when design violates a strong populational stereotype and operating conditions are normal	.05	5
(7)	when design violates a strong populational stereotype and operation is under high stress	.5	5
(8)	Turn a two-position switch in wrong direction or leave it in the wrong setting	†	
(9)	Set a rotary control to an incorrect setting (for two-position switches, see item 8)	.001	10 ^{††}
(10)	Failure to complete change of state of a component if switch must be held until change is completed Select wrong circuit breaker in a group of circuit breakers**:	.003	3
(11)	densely grouped and identified by labels only	.005	3
(12)	in which the PSFs are more favorable (see Ch. 13)	.003	3
(13)	Improperly mate a connector (this includes failures to seat connectors completely and failure to test locking features of connectors for engagement)	.003	3

*The HEPs are for errors of commission only and do not include any errors of decision as to which controls to activate.

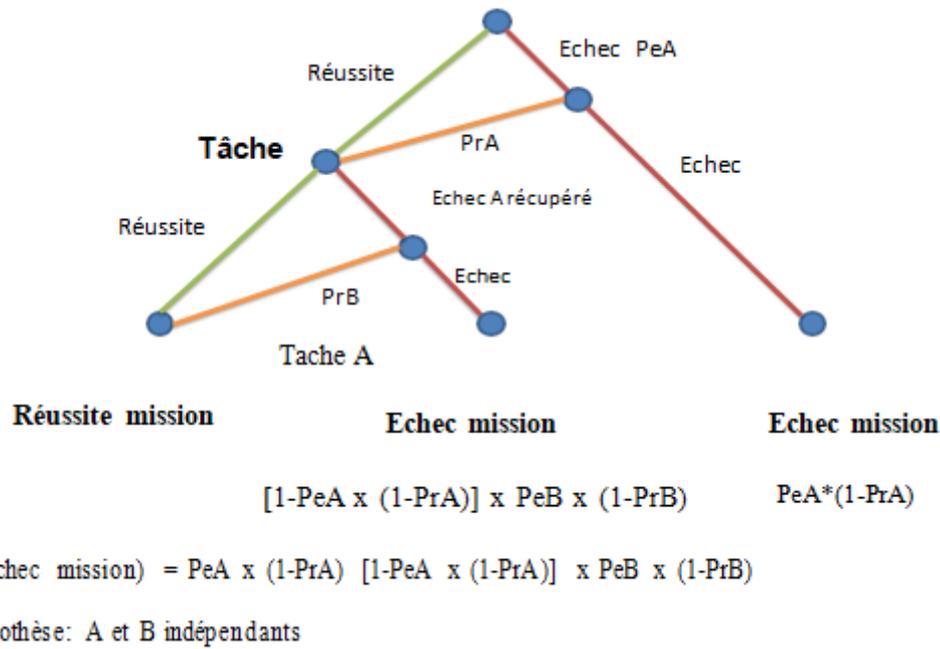
**If controls or circuit breakers are to be restored and are tagged, adjust the tabled HEPs according to Table 20-15.

†Divide HEPs for rotary controls (items 5-7) by 5 (use same EFs).

†† This error is a function of the clarity with which indicator position can be determined: designs of control knobs and their position indications vary greatly. For plant-specific analyses, an EF of 3 may be used.

Estimer la probabilité de la mission humaine globale. Cette quantification peut être conduite de la façon suivante :

- Présenter les erreurs et les rattrapages sur un arbre d'événement du type HRAET (Human Reliability Analysis Event Tree) tel que décrit la figure 4.
- Identifier les possibilités de rattrapage. La probabilité de rattrapage doit être estimée.
- Les différentes combinaisons sont calculées pour estimer la probabilité de la mission humaine globale à l'aide de l'arbre d'événement et des données de fiabilité estimées dans l'étape précédente.



Probabilité d'échec = $1 - S = F_A + F_B + F_C$

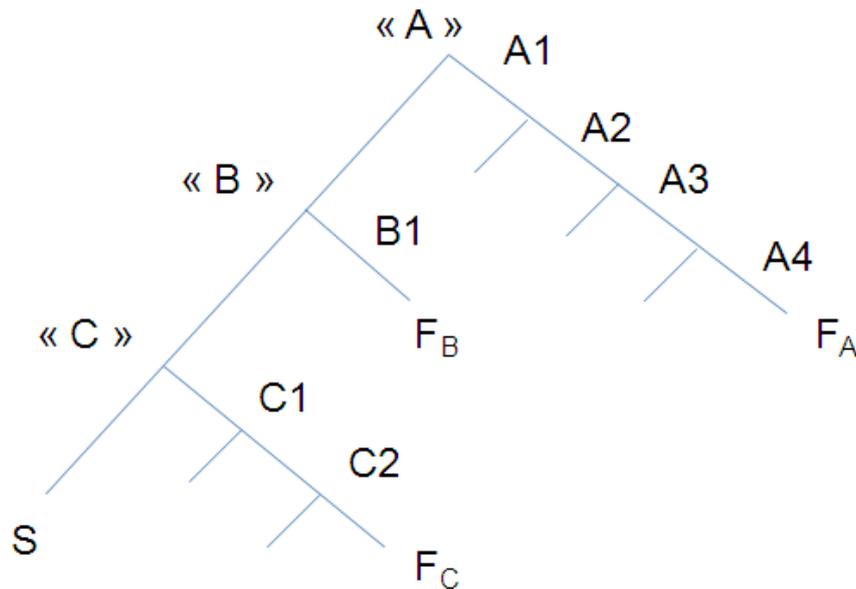


Figure III-14: Les arbres d'événement de THERP appliqués en pratique (S est la probabilité de succès de la mission ; FA, FB, FC sont les probabilités d'échec des étapes « A », « B » et « C »). [30]

4. Déterminer les effets d'erreurs humaines sur le système ou procédé. Cette étape demande généralement d'intégrer l'évaluation de la fiabilité humaine dans l'étude de fiabilité du système.
5. Recommander des modifications du système et recalculer la probabilité de défaillance du système. (La procédure est itérative). [18]

III.1.3 Commentaires

Points forts :

- THERP est une méthode performante avec une bonne auditabilité.
- Le principe est simple et facile à utiliser.
- THERP propose ses propres probabilités des erreurs pour certaines activités génériques. Cela permet de cadrer la probabilité estimée par les experts dans une fourchette plus restreinte, ainsi la méthode augmente la reproductibilité des résultats.
- L'arbre d'événement est une bonne méthode pour présenter les événements et les conséquences de façon claire.
- THERP prend en compte les modes de récupération en cas d'erreur. [30]

Points faibles :

- La méthode exige des ressources importantes, avec des personnes ayant de l'expérience.
- THERP simplifie beaucoup la cognition humaine.
- S'il existe plusieurs modes d'échec différents, il est difficile de les présenter sur l'arbre d'événement.

Nous avons également présent la démarche suivie pour l'élaboration d'une étude de Fiabilité humaine THERP, méthode développée dans l'industrie nucléaire. [30]

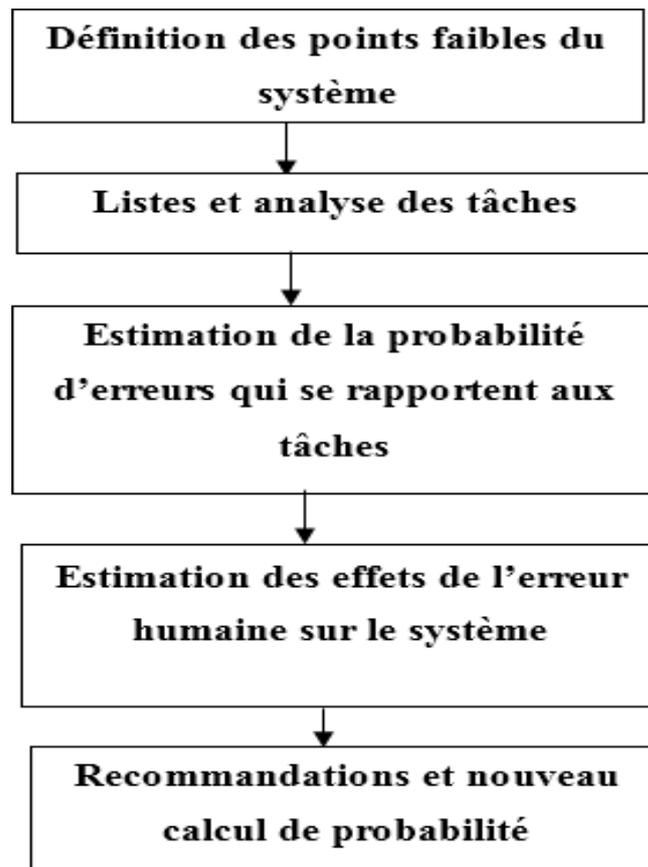


Figure III-15: Démarche de réalisation d'une évaluation THERP. [24]

III.2. Méthode TESEO : (TECNICA EMPIRICA STIMA ERRORI)

Cette méthode a été développée par **BLLO.GC, COLOMBANI, V**, en 1980 au sein de la compagnie pétrolière italienne **ENI**.

Au départ l'objectif de cette technique était l'établissement d'une quantification de l'erreur humaine tout en lui associant une probabilité qui se distinguait par des facteurs liés à :

- La complexité de l'action ;
- Le temps réservé à l'exécution de chaque action ;
- Le mode de conception de l'interface ;
- Le degré de stress de l'opérateur ;
- L'expérience et la formation de l'opérateur. [23]

III.2.1 Principe de la méthode TESEO :

Le calcul de la probabilité est exprimé par la formule suivante :

$$P(E) = K1 * K2 * K3 * K4 * K5$$

Les facteurs **K_i** sont définis comme suit :

K1 : type d'activité – complexité ;

K2 : temps disponible – stress temporel ;

K3 : caractéristiques de l'opérateur (formation expérience) ;

K4 : anxiété due à l'activité (gravité de la situation) ;

K5 : Caractéristique ergonomiques des interfaces et environnement.

Les valeurs de ces facteurs sont données par cinq (05) tables types propres à cette méthode. [23]

Tableau III-8: Facteur de type d'activité de la méthode TESEO, selon (Fadier et al, 1994) [23]

Type d'activité	K ₁
Simple routinière	0.001
Requiert l'attention mais routinière	0.01
Non routinière	0.1

Tableau III-9: Facteurs de stress temporel : de la méthode TESEO, selon (Fadier et al, 1994) [23]

Temps disponible (minutes)	K ₂	
	Tâche routinière	Tâche non routinière
2	10.0	
3		10.0
10	1.0	
20	0.5	
30		1.0
45		0.3
60		0.1

Tableau III-10: Facteurs de caractéristiques de l'opérateur, propres à la méthode TESEO, selon (Fadier et al, 1994). [23]

Qualité de l'opérateur	K ₃
Bien sélectionné – expert bien entraîné	<u>0.5</u>
Connaissance et formation moyenne	<u>1</u>
Peu de connaissance et de formation	<u>3</u>

Tableau III-11: Facteurs d'anxiété de l'opérateur, propres à la méthode TESEO, selon (Fadier et al, 1994). [23]

Niveau d'anxiété	K ₄
Situation d'urgence grave	3
Situation d'urgence potentielle	2
Situation normale	1

Tableau III-12 : Facteurs ergonomiques de l'activité, propres à la méthode TESEO, selon (Fadier et al, 1994). [23]

Facteurs d'ergonomie de l'environnement	K ₅
Excellent climat- excellentes interfaces	0.7
Bon climat – bonnes interfaces	1
Climat moyen – interfaces moyennes	3
Climat moyen – mauvaises interfaces	7
Mauvais climat – mauvaises interfaces	10

Il à noter que lors du calcul de la probabilité, si ce calcul donne une valeur supérieure à 1, la probabilité est considérée comme égale à 1.

II.2.2 Avantages de la méthode TESEO :

- Technique très facile et rapide ;
- A travers laquelle, on peut connaître très vite le retombées des améliorations de tels facteurssur la probabilité d'erreur évaluée ;

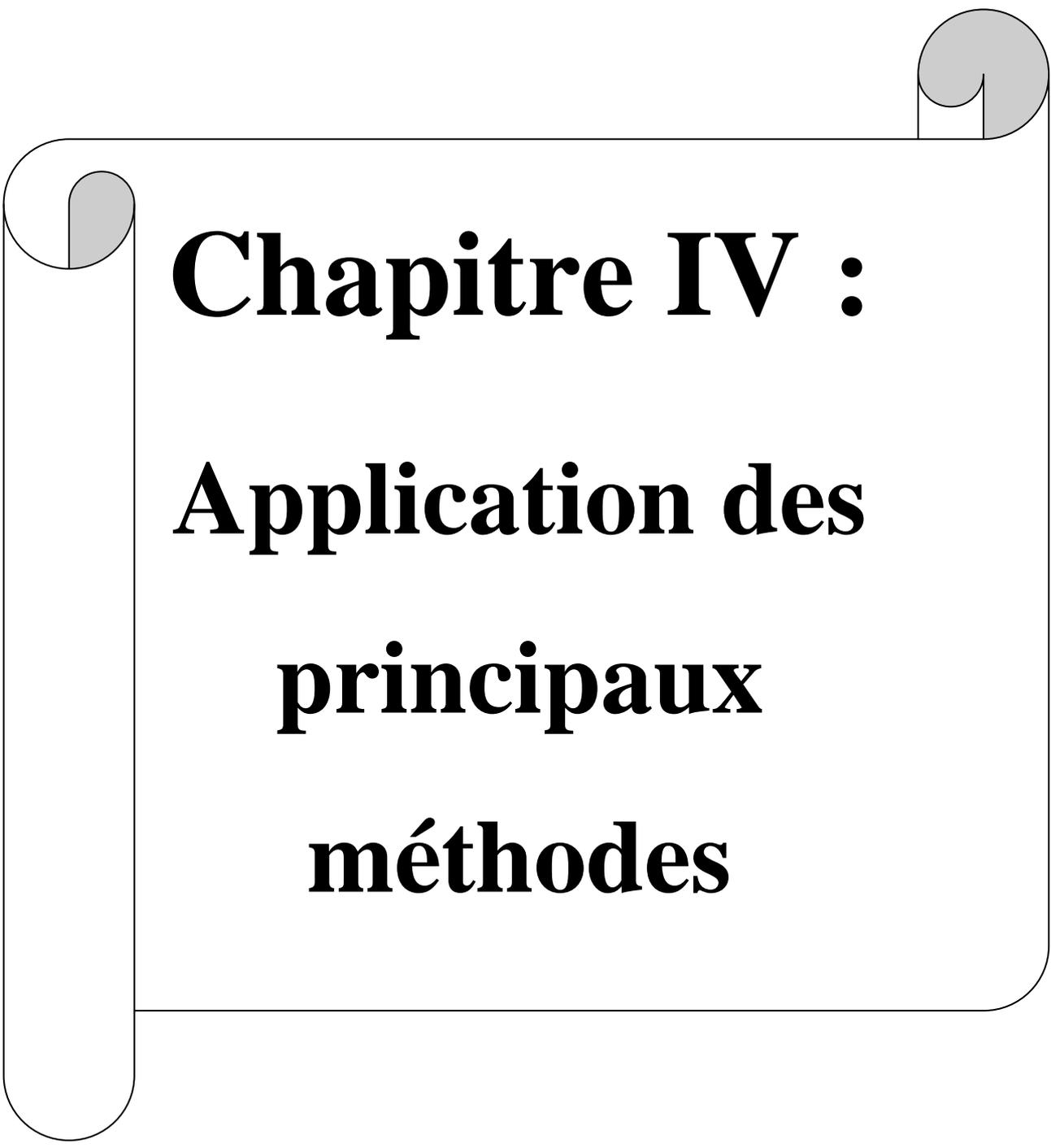
- La reconnaissance facile de la tâche concernée par l'évaluation ;
- Elle est adaptable surtout aux salles de contrôle ;
- Elle a un coût réduit par rapport aux autres méthodes ;
- Elle permet une excellente comparaison entre les différentes conceptions des systèmes homme- machine. [23]

III.2.3 Limites de la méthode TESEO :

- Les valeurs données par les tables sont subjectives et ne sont pas établies sur des bases solides ;
- Ce modèle n'a pas été validé beaucoup par des études expérimentales sur le terrain ;
- Cette technique est inadaptée à la quantification diagnostics complexes. [23]

Conclusion :

Les méthodes de l'évaluation de la fiabilité humaine sont un outil précieux pour évaluer les performances des individus dans différents domaines .en combinant différentes approches, il est possible d'obtenir une vision plus complète et précise de la fiabilité humaine, ce qui contribue à renforcer la sécurité et l'efficacité des activités humaines.

A decorative scroll graphic with a black outline and grey shaded corners, framing the text.

Chapitre IV :

Application des

principaux

méthodes

Introduction

Les industriels visent à réduire la probabilité de la survenance de situations d'urgence pendant le déroulement de leurs opérations, mais reconnaît toutefois que de telles situations peuvent se produire et qu'il est indispensable de mettre en place des plans efficaces pour faire face à de telles urgences, qui sont en même temps conformes à la loi et complètement opérationnels. En raison de l'extrême importance de ces plans, nous sommes intéressés dans le cadre de ce chapitre à l'évaluation de leurs performance et les mettre aux plus hauts niveaux d'efficacité afin de réduire ou de limiter les conséquences des urgences et des crises ou, dans certains cas de les empêcher de se produire à partir des méthodes d'analyse THERP et TESEO qui visent à réduire les erreurs et les défaillances humaines qui provoquent des accidents majeurs dans les cas d'urgence.

I. Application de méthode THERP sur un scénario proposé

I.1 Exemple :

Déterminer la probabilité d'erreur sans récupération de l'activité suivante: démarrer un véhicule, sachant que le conducteur est déjà placé sur son siège.

Solution :

L'activité est considérée comme séquentielle et décomposée de 4 sous-activités indépendantes, et ce de la manière suivante:

1. Mettre le contact : Détecter le démarreur, Détecter la pédale d'accélération. Insérer la clef de contact, Tourner la clef, Accélérer.
2. Embrayer : Détecter la pédale d'embrayage, Appuyer sur la pédale.
3. Mettre la première vitesse : Détecter la boîte de vitesse, Enclencher la première vitesse.
4. Débrayer : Détecter la pédale d'embrayage, Détecter la pédale d'accélération. Relâcher la pédale, Accélérer.

Chaque sous-activité comprend des tâches élémentaires pour lesquelles les probabilités moyennes d'occurrence d'erreur peuvent être déterminées à partir des tables prédéfinies de THERP (on se limitera ici à exploiter la table données présentée ici).

- Probabilité d'erreur pour Mettre le Contact « MC » :

$$P_{EH}(MC) = 1 - ((1 - 0.003) * (1 - 0.0005) * (1 - 0.01) * (1-0.001) * (1-0.001)) = 0.0154$$

- Probabilité d'erreur pour Embrayer « E » :

$$P_{EH}(E) = 1 - ((1-0.0005) * (1-0.001)) = 0.006$$

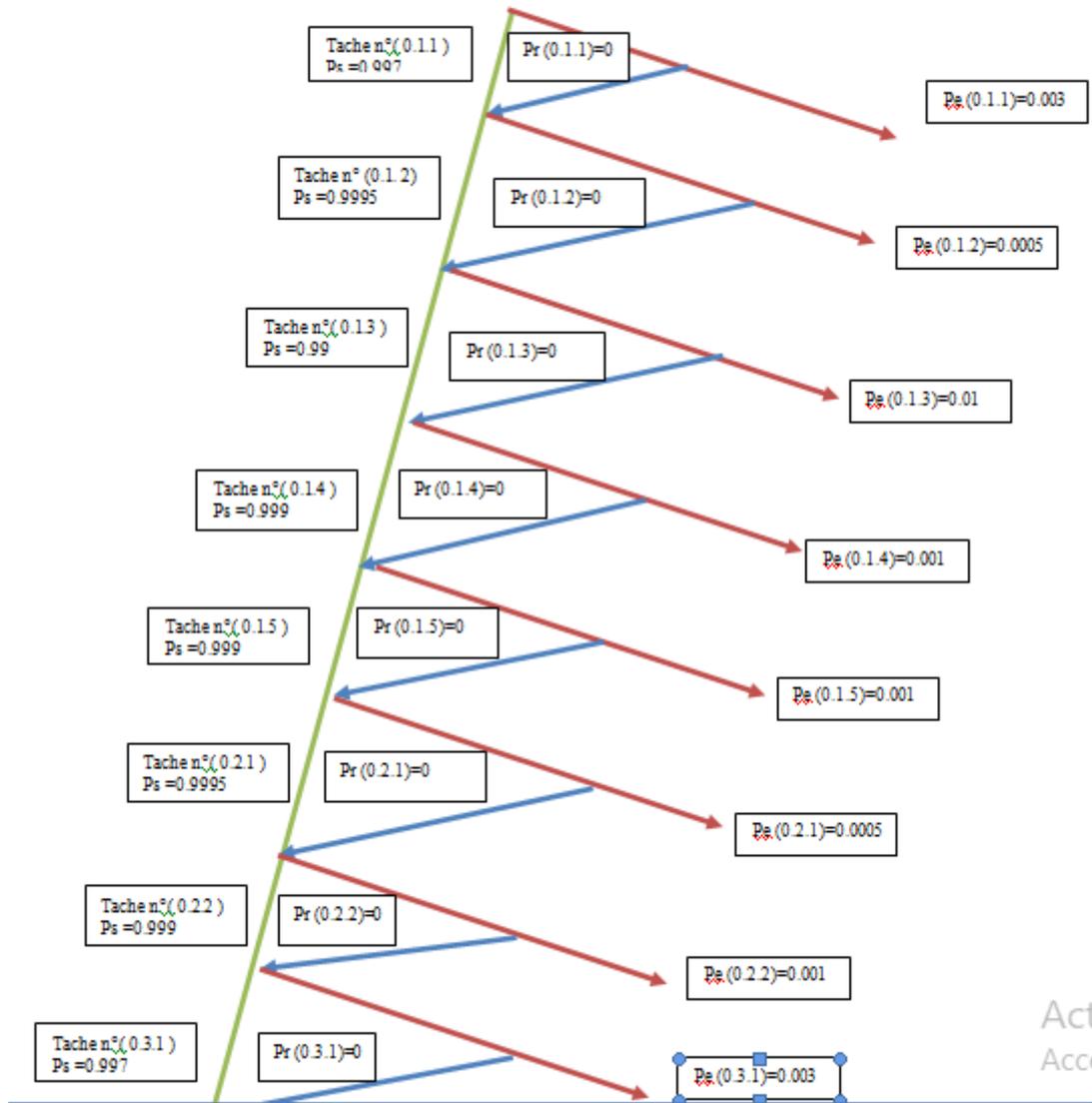
- Probabilité d'erreur pour Mettre la Vitesse « MV):

$$P_{EH}(MV) = 1 - ((1-0.003) * (1-0.0005)) = 0.0035$$

- Probabilité d'erreur pour Débrayer « D »:

$$P_{EH}(D) = 1 - ((1 - 0.0005) * (1 - 0.0005) * (1 - 0.003) * (1-0.003)) = 0.0154$$

Dans les études de fiabilité humaine, on a souvent des événements dépendant (tâche dépendant d'une autre tâche). La représentation de cette dépendance est plus aisée avec un arbre d'événements.



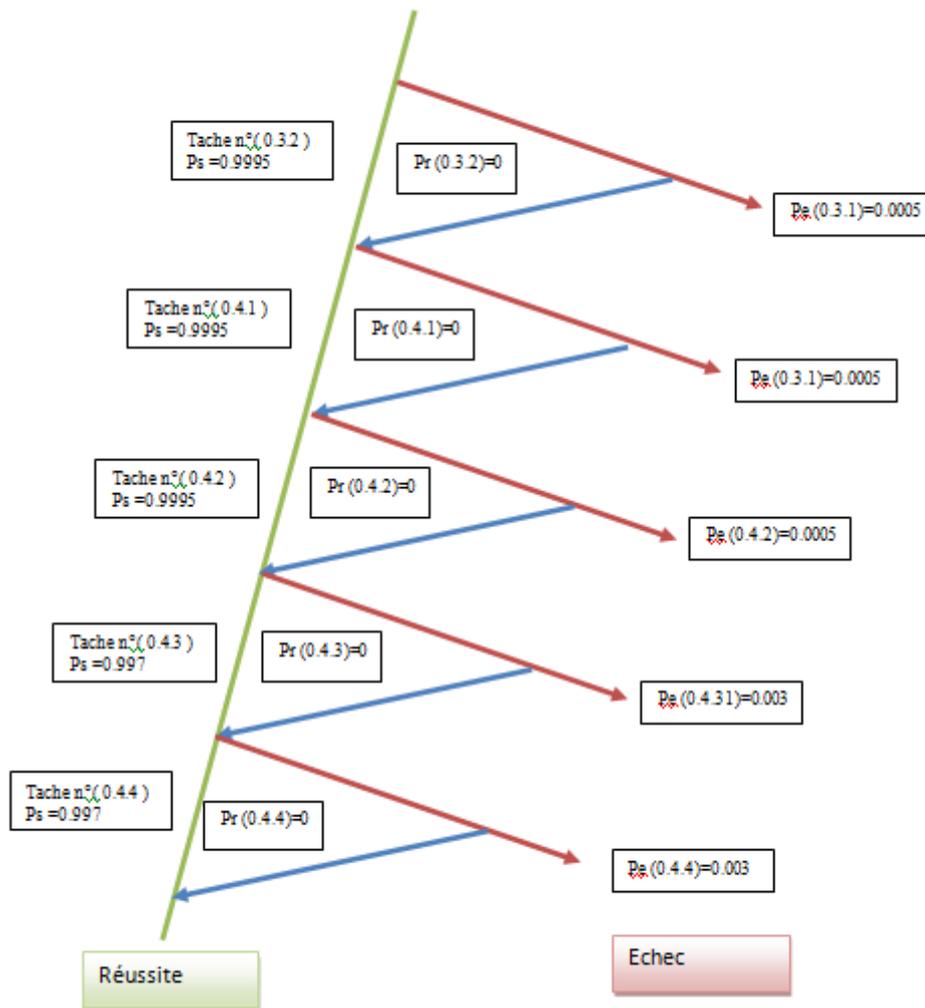


Figure IV-16: Arbre d'événement THERP de la mission «démarrer un véhicule».

- Pe : probabilité d'erreur;
- Pr : probabilité de rattrapage ;
- Ps : probabilité de succès.

La probabilité de succès de cette mission est de l'ordre de 99.7%. Donc, la probabilité d'échec de cette mission est de l'ordre de 0.3%.

I. 2 Descriptif de la mission facteur humain choisie pour cette étude de cas :

La mission facteur humain choisie pour illustrer l'application des différentes méthodes s'intitule «Redémarrer un four suite à un arrêt du système» ou «Réchauffer un four». Cette mission est issue de l'ouvrage décrivant la méthode CREAM. Supposons que le four doit être redémarré pour une échéance donnée et doit être maintenu pour une durée donnée, tous les retards dus à des défaillances d'une des étapes élémentaires de la mission sont considérés comme échec de la mission. Toutes les

défaillances menant à des pertes économiques ou humaines sont aussi considérées comme échec de la mission. Les hypothèses retenues pour l'évaluation de cette mission sont les suivantes:

- ✓ Il n'existe ni support procédural, ni formation ou entraînement spécifique pour la tâche «Réchauffer un four».
- ✓ Cette tâche n'est pas considérée comme importante, au moins du point de vue de la sécurité, bien que les conséquences puissent être très graves.
- ✓ Tout opérateur peut être amené à réaliser la tâche, quelle que soit sa formation (Apprentis, apprentissage à partir de son collègue plus expérimenté, etc....).

Donc, l'organisation doit être considérée comme insuffisante. Par ailleurs, le temps de réponse nominal pour le diagnostic T1/2 (PSFs nominal) est de 30 min. Le diagnostic considéré consiste à s'assurer de la conformité de l'installation avant le redémarrage et à sélectionner les actions appropriées. La mission peut être analysée selon la méthode d'analyse hiérarchisée des tâches (HTA –Hierarchical Task Analysis) et est présentée dans la Figure suivante :

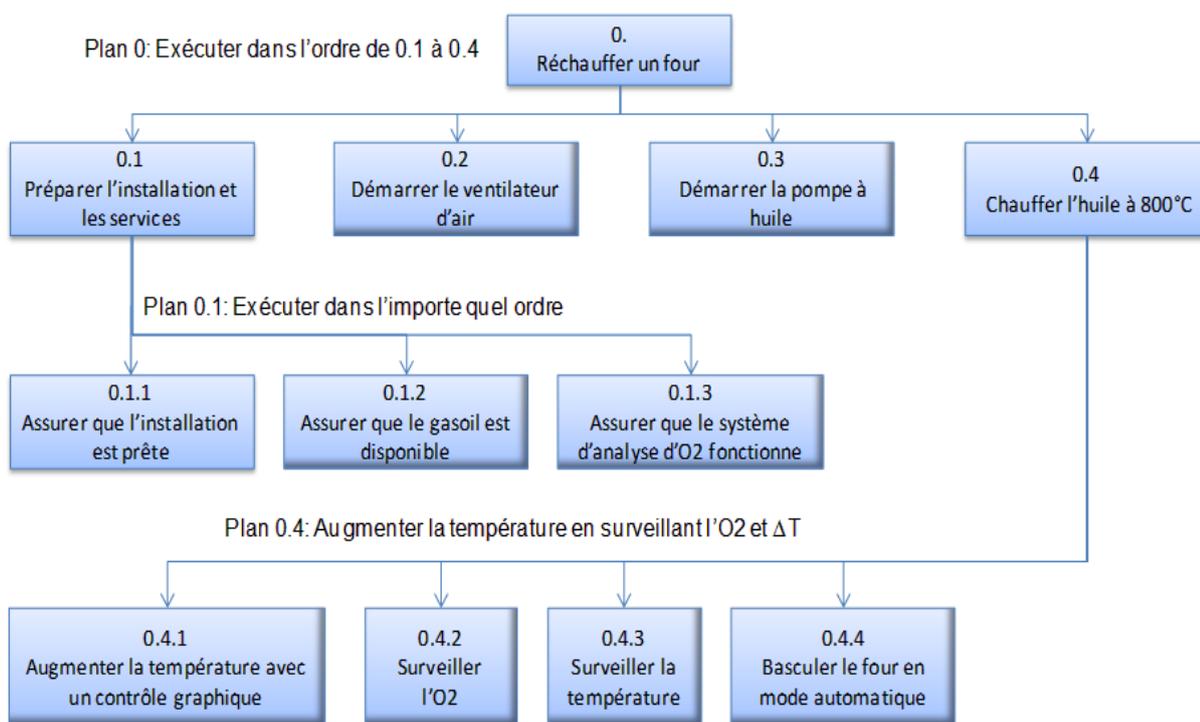


Figure IV-17 : Analyse de tâche hiérarchisée HTA de la mission «Réchauffer un four»

La liste des opérations humaines est fournie dans le Tableau 13

Tableau IV-13: Les étapes de la mission «Réchauffer un four»

N° de l'étape		Objectif	Étape ou activité de la tâche
0.1	0.1.1	Préparer l'installation et les services	Assurer que l'installation est prête
	0.1.2		Assurer que le gasoil est disponible
	0.1.3		Assurer que le système d'analyse d'O ₂ fonctionne
0.2		Démarrer le ventilateur d'air	Démarrer le ventilateur d'air
0.3		Démarrer la pompe à huile	Démarrer la pompe à huile
0.4	0.4.1	Chauffer l'huile à 800°	Augmenter la température avec un contrôle graphique
	0.4.2		Surveiller l'O ₂
	0.4.3		Surveiller la température
	0.4.4		Basculer le four en mode automatique lorsque la température atteint 800 °C

I.3. Application de la méthode THERP :

I.3.1. Identification des erreurs potentielles et estimation des probabilités des erreurs en tenant compte des facteurs de performance PSFs :

Les résultats de cette étape sont donnés dans le Tableau 02.

Tableau IV-14: Les erreurs et leurs probabilités estimées

Erreurs et récupération	Probabilité estimée = BHEP x PSF	Commentaires
Pe (0.1.1)	0.01x 2 = 0.02	T20-6(3) et T18-1(1) (i.e. erreur n° 3 du tableau 20-6 et facteur de performance n° 1 du tableau 18-1 donnés dans le Handbook [88]) :c'est un contrôle dans les conditions d'opération normales. Facteur de performance: niveau de stress bas et inexpérience
Pr (0.1.1)	0	Pas de rattrapage
Pe (0.1.2)	0.02x 2 = 0.02	T20-6(3)et T18-1(1): c'est un contrôle dans les conditions d'opération normales. Facteur de performance: niveau de stress bas et inexpérience.
Pr (0.1.2)	0	Pas de rattrapage
Pe (0.1.3)	0.03 x 2 = 0.02	T20-6(3) et T18-1(1): c'est un contrôle dans les conditions

		d'opération normales. Facteur de performance: niveau de stress bas et inexpérience
Pr (0.1.3)	0	Pas de rattrapage
Pe (0.2)	$0.005 \times 2 = 0.01$	T20-12(4)et T18-1(1): supposons que la défaillance des matériels est négligeable, et que le contrôle est bien conçu. Facteur de performance: niveau de stress bas et inexpérience.
Pr (0.2)	0.9	La possibilité de redémarrage du ventilateur est prévu
Pe (0.3)	$0.005 \times 2 = 0.01$	T20-12(4)et T18-1(1): supposons que la défaillance des matériels est négligeable, et que le contrôle est bien conçu. Facteur de performance: niveau de stress bas et inexpérience.
Pr (0.3)	0.9	La possibilité de redémarrage de la pomme à l'huile est prévue
Pe (0.4.1)	$0.009 \times 4 = 0.036$	T20-11(6), T20-12(10)et T18-1(4): c'est une combinaison des deux actions, surveiller et manipuler le contrôle de température. Facteur de performance: niveau de stress étape par étape et inexpérience.
Pr (0.4.1)	0.9	La possibilité de rattrapage est importante
Pe (0.4.2)	$0.001 \times 2 = 0.002$	T20-11(1): supposons que l'indicateur du niveau d'O2 soit digital. Facteur de performance: niveau de stress bas et inexpérience.
Pr (0.4.2)	0.9	La possibilité de rattrapage est importante
Pe (0.4.3)	$0.001 \times 2 = 0.002$	T20-11(1): supposons que l'indicateur de température soit digital. Facteur de performance: niveau de stress bas et inexpérience.
Pr (0.4.3)	0.9	La possibilité de rattrapage est importante
Pe (0.4.4)	$0.009 \times 4 = 0.036$	T20-11(6) et T20-12(10): c'est une combinaison des deux actions, surveiller et manipuler le contrôle de température. Facteur de performance: niveau de stress étape par étape et inexpérience
Pr (0.4.4)	0	Pas de rattrapage: i.e. absence d'alarme de température haute et de vérification

Pe : probabilité d'erreur;

Pr : probabilité de rattrapage;

BHEP : probabilité d'échec basique;

PSF : le facteur de performance identifié selon le contexte

I.3.2. Étape03: Estimer la probabilité globale de la mission :

Les erreurs et les rattrapages identifiés et quantifiés sont présentés sur un arbre d'événement THERP dans la Figure 3.

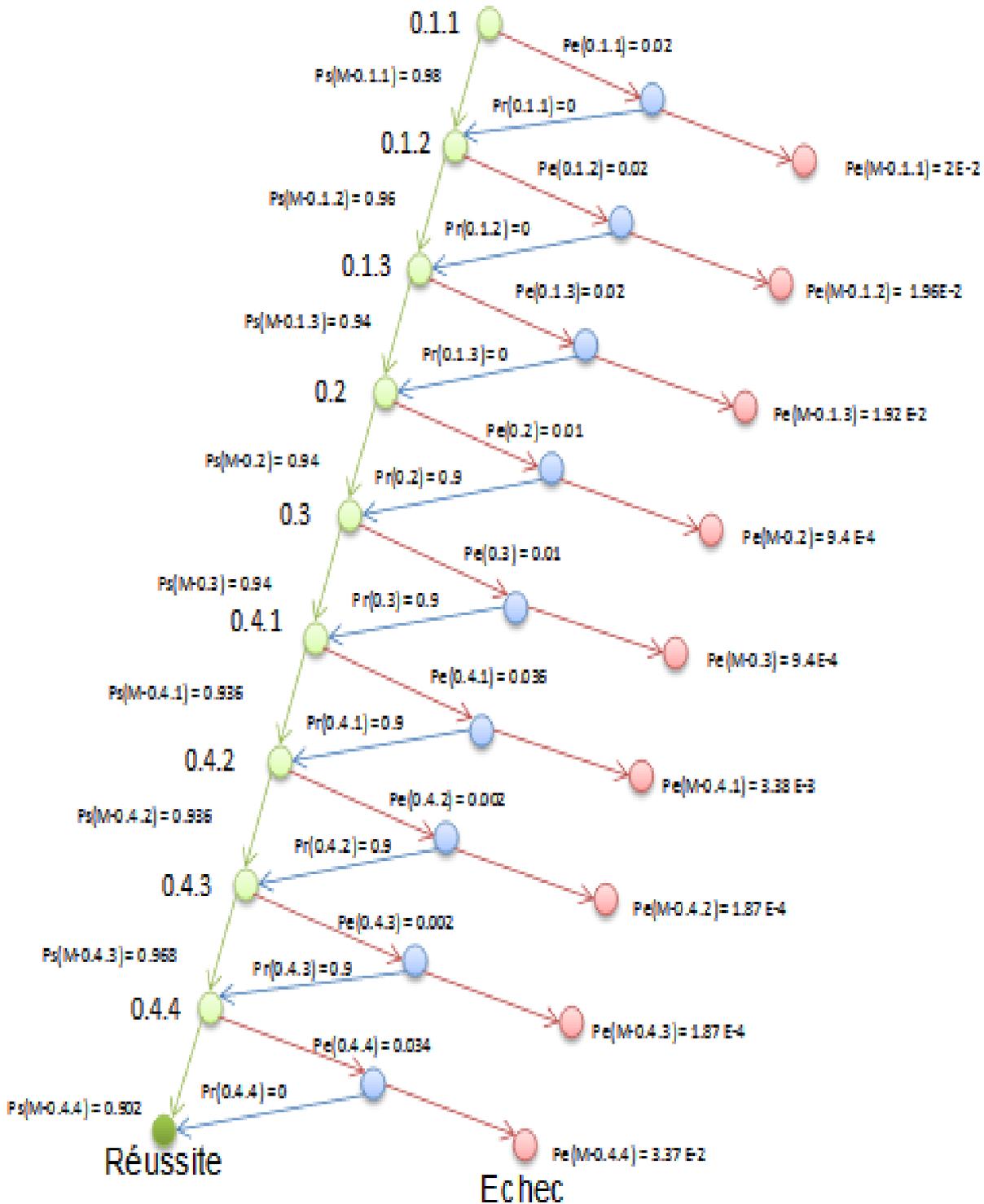


Figure IV-18: Estimer la probabilité globale de la mission

La probabilité de succès de cette mission est de l'ordre de 90%. Donc, la probabilité d'échec de cette mission est de l'ordre de 10%

I.3.3 Conséquences et recommandation :

L'erreur de chaque étape de la mission peut conduire à des conséquences différentes. L'échec de l'étape 0.1 conduit généralement aux conséquences sur la disponibilité du système. Par contre, les erreurs commises dans l'étape 0.4 peuvent provoquer des conséquences plus graves sur l'intégrité du système et sur la sécurité des personnels. En plus, la probabilité d'échec de ces deux étapes est la plus élevée. Des moyens supplémentaires pour limiter les risques dus à ces deux étapes paraissent être nécessaires, par exemple:

- ✓ Une procédure complète de la mission,
- ✓ Système d'alarme sur la température du four,
- ✓ Système d'arrêt d'urgence en cas de la température haute du four.

II. Application de la méthode TESEO :

Pour calculer la probabilité d'erreur humaine par la méthode **TSEO**, nous devons déterminer la valeur des facteurs, en observant et nous enquêtant sur les accidents de travail par des questions de type (la qualité de l'opérateur, type de travail, facteur ergonomique, le niveau émotionnel, facteur d'exigence temporelle).

Exemple 1 « accident N°1 : chute de personne » :

Pendant la réparation d'un dysfonctionnement de portail de la base de vie 1000 studios la victime « responsable administrative » s'est tombé de la nacelle de 5 mètres de hauteur.

Identification de la valeur des facteurs d'après les cinq (5) tables motionnés dans le troisième chapitre selon (Fadier et Al 1994) :

Facteur 1 « K1 » :

Type de tâche : c'est une tâche non routinière. Donc (K1=0,01)

Facteur 2 « K2 » :

Facteur d'exigence temporelle : le temps disponible est 10 minutes. Donc (K2=null).

Facteur 3 « k3 » :

Facteur de compétence : l'expérience est 37 ans, Bien sélectionné – expert bien entraîné. Donc (K3=0,5).

Facteur 4 « K4 » :

Facteur émotionnel : situation d'urgence potentiel. Donc (K4=2).

Facteur 5 « K5 » :

Facteur ergonomique de travail : Climat moyen – interfaces moyennes. Donc (K5=3).

Pour Le calcul de la probabilité d'erreur humaine est exprimé par la formule suivante :

$$P(E)=K1*K2*K3*K4*K5.$$

Donc :

$$P(E)= 0,01*0,5*2*3=0,03.$$

$$P(E)=0,03 \quad 3\%$$

Alors la probabilité d'erreur humaine dans cette situation est 3%.

Exemple 2 « accident N°2 : Électrisation » :

Pendant un inspection préventive d'un disjoncteur électrique (vérification de l'état de matériel la victime (agent HSE) vérifie les câbles sans porté les équipements de la protection individuelle(EPI), ou à l'endroit ce dernier a posé la main sur un câbles électriques dénudé, il a été brulé.

Identification de la valeur des facteurs d'après les cinq (5) tables motionnés dans le troisième chapitre selon (Fadier et Al 1994) :

Facteur 1 « K1 » :

Type de tache : c'est une tache simple routinière. Donc (K1=0,001)

Facteur 2 « K2 » :

Facteur d'exigence temporel : La durée de cette opération est estimée à une 60 minute. Donc (K2=null).

Facteur 3 « k3 » :

Facteur de compétence : l'enceinté est 5 ans, Connaissance et formation moyenne Donc (K3=1).

Facteur 4 « K4 » :

Facteur émotionnel : situation normal. Tache routinière et inspection préventive planifié selon un planning Donc (K4=1).

Facteur 5 « K5 » :

Facteur ergonomique de travail : Climat moyen – mauvaises interfaces Donc (K5=7).

Pour Le calcul de la probabilité d'erreur humaine est exprimé par la formule suivante :

$$P(E)=K1*K2*K3*K4*K5.$$

Donc :

$$P(E)= 0,01*1*1*7=0,07.$$

$$P(E)=0,07 \quad 7\%$$

Alors la probabilité d'erreur humaine dans cette situation est 7%.

Conséquence et recommandation :

L'erreur de chaque étape de la mission peut conduire à des conséquences différentes, comme les accidents de travail qui peuvent provoquer des conséquences plus graves sur l'intégrité du système et sur la sécurité des personnels. En plus, la probabilité d'échec de ces deux exemples peuvent être élevée lorsque la valeur des facteurs qui les contrôlent ne correspond pas aux conditions de travail. Des moyens supplémentaires pour limiter les risques dus à ces deux étapes paraissent être nécessaires,

Conclusion :

Par ce chapitre on a complété notre projet par l'application de la méthode THERP et TESEO en réalisant les étapes principales d'une étude de dévaluation de la fiabilité humaine. On a établie une analyse quantitative pour une tâche donnée l'estimation de la probabilité d'erreur humaine. En terminant par la proposition des recommandations nécessaires pour prévenir les erreurs et les défaillances humaines qui provoquent des accidents majeurs dans les cas d'urgence.

Conclusion générale :

Le souci de la fiabilité existe depuis fort longtemps, probablement depuis que l'homme a conçu et forgé ses premiers outils. Il a constaté que pour tout système industriel il est nécessaire de faire recours plus au moins grands aux concepts et aux techniques permettant d'assurer la fiabilité.

L'étude de la fiabilité peut être abordée selon différents créneaux et selon le concept de base à prendre en considération : le système, l'environnement...l'opérateur. Ainsi, les opérateurs font partie intégrante du système de travail, leurs comportements modifient les conditions d'utilisations des systèmes. L'écart entre le comportement prévu et le comportement réalisé est due essentiellement aux différentes situations qui peuvent modifier ce qui est prévu tel que : variabilité et complexité, absence d'information, stress...

En effet, la fiabilité humaine mérite une attention particulière, pourvu que l'opérateur soit considéré au cœur du système de travail, il est doublement concerné, donc il est primordial d'appliquer des méthodes pour quantifier son comportement.

Le travail présenté par notre mémoire de fin d'étude se focalise sur l'application de deux principales méthodes d'évaluation de la fiabilité humaine. IL a permis de réaliser une analyse quantitative de l'erreur humaine ainsi que d'appliqué les principaux points de cette étude sur deux applications, Nous avons conclu notre étude par des recommandations nécessaire pour prévenir les erreurs et les défaillances humaines qui provoque des accidents majeur.

On peut dire que la fiabilité d'un système dépend de la fiabilité humaine.

On peut dire aussi, que le facteur humain reste un élément clé de la sécurité. Même si sa performance diminue dans certains cas engendré par les erreurs.

En quelque sorte, les erreurs humaines reflètent les problèmes plus profonds existants dans un système. En effet, agir sur l'erreur permet de connaître les carences d'un système, ce qui permet de recueillir et d'analyser préventivement ces erreurs.

Bibliographie

- [1] J. Groeneweg. « Controlling the controllable. Preventing business upsets, » . fifth edition. Global Safety Group Publication. 528 p. 2002.
- [2] A.R. Hale, & A.I. Glendon. « Individual behaviour in the control of danger, » . Elsevier, Amsterdam, 1987.
- [3] R. Amalberti. « L'erreur humaine en perspective, Risques erreurs et défaillances: approche interdisciplinaire, » . publications de la MSH-ALPES, mai 2001, 71-106 .
- [4] K. Guenachi. « Le facteur humain et la sûreté de fonctionnement dans le management intégré , » . University of Oran, Laboratory Sciences Risk Industrial Technology and Environment, Laboratoire d'informatique d'Oran LIO. Sonatrach aval Oran. le 30/01/2012.
- [5] J. CLARHAUT. « Prise en compte des séquences de défaillances pour la conception de systèmes d'automatisation, » pour l'obtention du Doctorat de l'université des Sciences et des technologies de Lille . le 23mars 2009 .
- [6] N. RAHAL, H.F.MOUFFOK. « Elaboration d'une approche FDMS pour l'optimisation des performances d'un système de sécurité, » . Pour l'obtention de diplôme de Master. Université Oran 2 Institut de Maintenance et Sécurité Industrielle. Année 2021/2022.
- [7] L. Aggabou. « Support de cours SIE 205, destiné au Master 1 Sûreté Interne d'établissement , » Université Batna2 Institut d'hygiène et sécurité Département de sécurité. 2019/2020.
- [8] T. TOUATI. « Contribution à l'étude de la sûreté de fonctionnement d'une station d'épuration- cas de la station d'épuration de Ain El Houtz- Tlemcen, » . Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master En Hydraulique. 21/09/2017.
- [9] B. HASSANI. « étude qualitative des scénarios de défaillance de la pompe 2000 de l'entreprise certaf , » . Mémoire fin d'étude pour l'obtention de diplôme de Master en Génie-Mécanique. université aboubeker belkaid-telmcen. 01/10/2014.
- [10] S. Quéva « méthode d'évaluation de la réactivité et de l'adaptabilité humaines dans le contrôle des risques , » . Présentée à L'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis Pour l'obtention du DOCTORAT. Le 30 JUIN 2008 .
- [11] B. S. Dhillon. « human reliability error, and human factors in engineering maintenance with reference to aviation and power generation, » . CRC press, taylor et francis groupe 2009 .

- [12] W. BEN YAHIA. « Contribution à la sécurité d'un système Homme-Agroéquipement : Spécification d'un générateur de plans d'actions alternatifs pour l'analyse d'erreurs humaines, ». Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Valenciennes et Du Hainaut-Cambresis. 06/02/2012.
- [13] A. Villemeur . « Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité, facteur humain, informatisation, ». Eyrolles, 1988.
- [14] E. Hollnagel. «Risk + barriers = safety ? Safety Science, ». vol.46, pp.221-229, 2008.
- [15] NF EN ISO 12100-1/A1. « Sécurité des machines – Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 1 : Terminologie de base, méthodologie, ». Editée par International Standards Organization (ISO), 2009 .
- [16] L. KADMIRI. « les facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle, fondements et perspectives , ». Université Abdelmalek Essaadi. 04/07/2020
- [17] l'Australian Commission on Safety and Quality in Health Care. « pourquoi la prise en compte des facteurs humains est importante pour la sécurité des patients, ». Guide Pédagogique de l'OMS pour la sécurité des patients. 2006.
- [18] Le facteur humain – la faiblesse préférée des fraudeurs (<https://sis-id.com>); consulté le 02/05/2023.
- [19] L. Kadmiri et H. Achelhi. « Le comportement sécuritaire de l'opérateur humain dans le contexte de la sécurité industrielle, ». revue internationale du chercheur.2020.
- [20] IESF. « Gestion des risques : facteurs humains et organisationnels, ». 2017.
- [21] D.FRANÇOIS, S.MARCEL, I. BIOSSTER. « facteurs humaine et organisationnels de la sécurité industrielle, ». Fondation pour un culture de sécurité industrielle. TOULOUSE .FRANCE ,2010.
- [22] S. RAHMOUNI. « les facteurs humaines de la fiabilité »institut D'hygiène Et Sécurité Industrielle, ». Université Batna-2 .2019/2020.
- [23] A. LAIDOUNE Abdelbaki . « Essai d'analyse de l'influence des facteurs socioculturels sur la fiabilité humaine dans les systèmes sociotechniques :les entreprises pétrolières algériennes fiabilité ,» . Thèse de Doctorat science En Hygiène & Sécurité Industrielle Institut d'Hygiène & Sécurité Industrielle . Université de Batna2 . 09/03/2017.
-

- [24] A. BENZENOUNE . Mémoire de master en QHSE-GRI « Étude de la Fiabilité humaine et des défaillances de cause commune Cas : Système d'arrêt d'urgence RPS d'un réacteur nucléaire, ». Mémoire de master en QHSE-GRI .09/03/2017.
- [25] J.Leplat, G.Terssac .« Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes, ». Toulouse : Octarès p 385.1990.
- [26] A. D . Swain. « A Note on the Accuracy of Predictions Using THERP, ». Human Factors Society Bulletin,1982.
- [27] J.M. FAVERGE. « Une analyse fonctionnelle dualiste des activités des cellules d'un système, ». Revue philosophique (cité par de Montmollin 1967).
- [28] V. Keyser , M. N.Beauchesne. « Analyser les conditions de travail.Paris, ».Entreprise moderne d'éditions.1982.
- [29] B. S. Dhillon. « humain reliability, error,and human factors in power generation, ». University of Ottawa –Canada. 2014.
- [30] R . PERINET, T.N. VU, « État de l'art des méthodes d'évaluation probabiliste de la fiabilité humaine, ». Direction des Risques Accidentels Verneuil-en-Halatte (Oise). 2011.
- [31] A. D. SWAIN, H. E. Guttman . « handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications final report, ». NUREG/CR-1278, Washington, D.C. : US Nuclear Regulatory Commission .august 1983.

Annex:

Tableau 15: les factures de performance utilisés pour évaluer la fiabilité humaine

Facteur de performance	Méthodes						
	THERP	TESEO	HEART	SLIM	HCR	ATHEANA	CREAM
Caractéristiques de tâches	5 PSF externes sur tâche & équipements	Facteur K1	EPC-10, 25, 28, 34, 35	1 PSF	SRK	PSF-6, 13, 15	
Expérience, formation ou compétence	1 PSF interne	Facteur K3	EPC-15	1 PSF	PSF-1		
Adéquation entre la tâche et la compétence de l'opérateur			EPC-1, 20, 24, 27, 38	1 PSF		PSF-1, 6, 7	CPC-8
Caractéristiques physiques et psychologiques de l'opérateur	1 PSF interne et 1 PSF stress	Facteur K4	EPC-29, 30	1 PSF	PSF-2		
Contraintes de temps	1 PSF stress	Facteur K2	EPC-2	1 PSF		PSF-4, 7	CPC-6
Facteur ergonomique, environnemental et l'interface homme-machine	4 PSF externes sur situation et sur tâche & équipements, 1 PSF stress	Facteur K5	EPC-6, 22, 23, 33	1 PSF	PSF-3	PSF-3, 10, 12, 16	CPC-2, 3
Organisation, équipage et effectifs	4 PSF externes sur situation et sur tâche & équipements, 1 PSF stress		EPC-8, 31, 36, 37	1 PSF		PSF-7, 8, 9	CPC-1, 7, 9
Information	1 PSF externe sur instruction		EPC-3, 4, 5	1 PSF		PSF-4, 14	
Procédures	2 PSF externes sur instruction		EPC-16, 21, 26, 32	1 PSF		PSF-2	CPC-4
Autres supports ou aides fournies	1 PSF externe sur instruction		EPC-7, 13, 14, 17				
Culture	1 PSF externe sur situation		EPC-9				
Risque perçu	1 PSF stress		EPC-12	1 PSF			
Clarté et comptabilité des objectifs fixés			EPC-11, 18				

Tableau 16: A

rule-based actions by control room personnel after diagnosis of an abnormal event* (from Table 12-3)

Item	Potential Errors	HEP	EF
	Failure to perform rule-based actions correctly when written procedures are available and used:		
(1)	Errors per critical step without recovery factors	.05	10
(2)	Errors per critical step with recovery factors	.025	10
	Failure to perform rule-based actions correctly when written procedures are not available or used:		
(3)	Errors per critical step with or without recovery factors	1.0	--

* Note that this model pertains to the CR crew rather than to one individual.

Tableau 17:B

Table 20-5 Estimated HEP per item (or perceptual unit) in preparation of written material* (from Table 15-2)

Item	Potential Errors	HEP	EF
(1)	Omitting a step or important instruction from a formal or ad hoc procedure** or a tag from a set of tags	.003	5
(2)	Omitting a step or important instruction from written notes taken in response to oral instructions†	Negligible	
(3)	Writing an item incorrectly in a formal or ad hoc procedure or on a tag	.003	5
(4)	Writing an item incorrectly in written notes made in response to oral instructions†	Negligible	

* Except for simple reading and writing errors, errors of providing incomplete or misleading technical information are not addressed in the Handbook.

The estimates are exclusive of recovery factors, which may greatly reduce the nominal HEPs.

** Formal written procedures are those intended for long-time use; ad hoc written procedures are one-of-a-kind, informally prepared procedures for some special purpose.

† A maximum of five items is assumed. If more than five items are to be written down, use .001 (EF = 5) for each item in the list.

Tableau 18: C

Table 20-6 Estimated HEPs related to failure of administrative control (from Table 16-1)

Item	Task	HEP	EF
(1)	Carry out a plant policy or scheduled tasks such as periodic tests or maintenance performed weekly, monthly, or at longer intervals	.01	5
(2)	Initiate a scheduled shiftly checking or inspection function*	.001	3
	Use written operations procedures under		
(3)	normal operating conditions	.01	3
(4)	abnormal operating conditions	.005	10
(5)	Use a valve change or restoration list	.01	3
(6)	Use written test or calibration procedures	.05	5
(7)	Use written maintenance procedures	.3	5
(8)	Use a checklist properly**	.5	5

* Assumptions for the periodicity and type of control room scans are discussed in Chapter 11 in the section, "A General Display Scanning Model." Assumptions for the periodicity of the basic walk-around inspection are discussed in Chapter 19 in the section, "Basic Walk-Around Inspection."

** Read a single item, perform the task, check off the item on the list. For any item in which a display reading or other entry must be written, assume correct use of the checklist for that item.

Tableau 19: D

Table 20-7 Estimated probabilities of errors of omission per item of instruction when use of written procedures is specified* (from Table 15-3)

Item**	Omission of item:	HEP	EF
When procedures with checkoff provisions are correctly used [†] :			
(1)	Short list, <10 items	.001	3
(2)	Long list, >10 items	.003	3
When procedures without checkoff provisions are used, or when checkoff provisions are incorrectly used ^{††} :			
(3)	Short list, <10 items	.003	3
(4)	Long list, >10 items	.01	3
(5)	When written procedures are available and should be used but are not used ^{††}	.05 [#]	5

* The estimates for each item (or perceptual unit) presume zero dependence among the items (or units) and must be modified by using the dependence model when a nonzero level of dependence is assumed.

** The term "item" for this column is the usual designator for tabled entries and does not refer to an item of instruction in a procedure.

† Correct use of checkoff provisions is assumed for items in which written entries such as numerical values are required of the user.

†† Table 20-6 lists the estimated probabilities of incorrect use of checkoff provisions and of nonuse of available written procedures.

If the task is judged to be "second nature," use the lower uncertainty bound for .05, i.e., use .01 (EF = 5).

Tableau 20: D

Table 20-10 Estimated HEPs for errors of commission in reading and recording quantitative information from unannunciated displays (from Table 11-3)

Item	Display or Task	HEP*	EF
(1)	Analog meter	.003	3
(2)	Digital readout (< 4 digits)	.001	3
(3)	Chart recorder	.006	3
(4)	Printing recorder with large number of parameters	.05	5
(5)	Graphs	.01	3
(6)	Values from indicator lamps that are used as quantitative displays	.001	3
(7)	Recognize that an instrument being read is jammed, if there are no indicators to alert the user	.1	5
	Recording task: Number of digits or letters** to be recorded		
(8)	< 3	Negligible	-
(9)	> 3	.001 (per symbol)	3
(10)	Simple arithmetic calculations with or without calculators	.01	3
(11)	Detect out-of-range arithmetic calculations	.05	5

* Multiply HEPs by 10 for reading quantitative values under a high level of stress if the design violates a strong populational stereotype; e.g., a horizontal analog meter in which values increase from right to left.

** In this case, "letters" refer to those that convey no meaning. Groups of letters such as MOV do convey meaning, and the recording HEP is considered to be negligible.

Tableau 21: F

Table 20-12 Estimated probabilities of errors of commission in operating manual controls* (from Table 13-3)

Item	Potential Errors	HEP	EF
(1)	Inadvertent activation of a control Select wrong control on a panel from an array of similar-appearing controls**:	see text, Ch. 13	
(2)	identified by labels only	.003	3
(3)	arranged in well-delineated functional groups	.001	3
(4)	which are part of a well-defined mimic layout	.0005	10
	Turn rotary control in wrong direction (for two-position switches, see item 8):		
(5)	when there is no violation of populational stereotypes	.0005	10
(6)	when design violates a strong populational stereotype and operating conditions are normal	.05	5
(7)	when design violates a strong populational stereotype and operation is under high stress	.5	5
(8)	Turn a two-position switch in wrong direction or leave it in the wrong setting	†	
(9)	Set a rotary control to an incorrect setting (for two-position switches, see item 8)	.001	10 ^{††}
(10)	Failure to complete change of state of a component if switch must be held until change is completed Select wrong circuit breaker in a group of circuit breakers**:	.003	3
(11)	densely grouped and identified by labels only	.005	3
(12)	in which the PSFs are more favorable (see Ch. 13)	.003	3
(13)	Improperly mate a connector (this includes failures to seat connectors completely and failure to test locking features of connectors for engagement)	.003	3

* The HEPs are for errors of commission only and do not include any errors of decision as to which controls to activate.

**If controls or circuit breakers are to be restored and are tagged, adjust the tabled HEPs according to Table 20-15.

† Divide HEPs for rotary controls (items 5-7) by 5 (use same EFs).

†† This error is a function of the clarity with which indicator position can be determined: designs of control knobs and their position indications vary greatly. For plant-specific analyses, an EF of 3 may be used.

Tableau 22: G

Table 20-11 Estimated HEPs for errors of commission in check-reading displays* (from Table 11-4)

Item	Display or Task	HEP	EF
(1)	Digital indicators (these must be read - there is no true check-reading function for digital displays)	.001	3
	Analog meters:		
(2)	with easily seen limit marks	.001	3
(3)	with difficult-to-see limit marks, such as scribe lines	.002	3
(4)	without limit marks	.003	3
	Analog-type chart recorders:		
(5)	with limit marks	.002	3
(6)	without limit marks	.006	3
(7)	Confirming a status change on a status lamp	Negligible**	
(8)	Misinterpreting the indication on the indicator lamps	Negligible [†]	

*"Check-reading" means reference to a display merely to see if the indication is within allowable limits; no quantitative reading is taken. The check-reading may be done from memory or a written checklist may be used. The HEPs apply to displays that are checked individually for some specific purpose, such as a scheduled requirement, or in response to some developing situation involving that display.

** If operator must hold a switch in a spring-loaded position until a status lamp lights, use HEP = .003 (EF = 3), from Table 20-12, item 10.

[†] For levels of stress higher than optimal, use .001 (EF = 3).