

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

**Mémoire présenté pour l'obtention du Diplôme
d'Ingénieur d'état en QHSE-GRI**

**Filière : Sécurité industrielle
Spécialité : QHSE-GRI**

Intitulé :

**EVALUATION DU RISQUE D'EXPLOSION AU
NIVEAU DE LA CENTRALE ELECTRIQUE
EL-HAMMA II**

Etudié par : DAOUD Hichem

Proposé par : KERTOUS Abdelkader

Encadré par : KERTOUS Abdelkader & BOUSBAI Mhamed.

Promotion Juin 2015

REMERCIEMENT :

Louange à Allah, seigneur de l'univers.

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à toute personne ayant concouru et contribué de près ou de loin à faire ce modeste travail, espérons qu'Allah les récompensera pour ce qu'ils ont fait.

Mes remerciements à toute l'équipe HSE de la centrale électrique d'El-Hamma, en particulier à Messieurs Kaci et Redjimi pour leurs accueils et disponibilités, orientations et réponses qui ne cessaient jamais de me les transmettre, mes remerciements aussi aux employés de la salle de commande pour l'aide précieuse qui m'a été donnée.

Mes sincères remerciements sont adressés à mes deux encadreurs Mr Kertous Abdelkader et Mr Bousbai Mhamed pour m'avoir encadré et pris en charge.

Je tiens à remercier Mme Zeboudj Saliha qui a bien voulu présider le jury, Mr Boubakeur Mohamed et Mr Benmokhtar Amine qui n'ont pas hésité à accepter d'examiner mon travail.

Mes remerciements chaleureux à mes chers camarades de filière Qualité Hygiène Sécurité et environnement, et à mes chers enseignants ainsi qu'à tous les étudiants du département.

Mes chaleureux remerciements à tous mes proches et amis qui n'ont jamais cessé à m'encourager et pousser à aller de l'avant et de ne jamais baisser les bras

Table des illustrations :

	page
INTRODUCTION GENERALE.	12
CHAPITRE I : Généralités sur le risque d'explosion.	13
introduction.	14
I. Accidentologie sur les explosions (gaz naturel et hydrogène)	15
I1. Accidents en France.	15
I2. Accidents en France.	15
I3. Accident dans une centrale électrique.	16
II. Le risque d'explosion.	17
II1. Termes et définitions.	17
III. Caractéristique du gaz et de l'hydrogène.	18
III1.Le gaz combustible (méthane).	18
III2.L'hydrogène.	18
IV. Le phénomène d'explosion.	20
1. l'explosion.....	20
2. le mécanisme d'explosion.	20
3. les sources d'inflammation.	21
4. l'hexagone de l'explosion.....	21
5. effets d'une explosion.	22
6. seuils de surpression.....	22
V. Notion de risque.	23
V1. Termes et définitions.	23
VI. Evaluation du risque.	24
VI1. L'évaluation.	24
VI2. L'évaluation du risque d'explosion.....	24
conclusion	25
CHAPITRE II : Méthodes d'évaluation du risque.	26
I. Analyse préliminaire des risques.	27

II. HAZard OPerability (HAZOP).	30
III. Matrice de criticité.	32
IV. Arbre des défaillances.	35
V. Arbre des évènements.	37
VI. Logiciel de Simulation PHAST.	39
CHAPITRE III : Présentation de la centrale électrique :	40
La centrale turbine à gaz production d'électricité El-HAMMA II.	41
I. Présentation de la centrale	41
II. Principales parties constitutives.	43
III. Installations et équipements :	44
III1. La turbine à gaz V94.3A.	45
III2. Mode de fonctionnement.	46
III3. Systèmes de la turbine.	46
III4. L'alternateur.	53
III5. Transformateur.	53
Conclusion.	57
Chapitre IV: Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique.	58
Introduction.	59
I. Analyse préliminaire des risques.	60
I1. Tableau APR.	61
I2. Conclusion APR.....	63
II. Etude semi-quantitative HAZOP.	64
III1. Gaz combustible.	65
a Nœud 1 : séparateur primaire.	66
b Nœud 2 : les filtres.	71
c Nœud 3 : détendeur.	74

d	Nœud 4 : séparateur final.	78
II2.	Circuit Hydrogène.	86
a	Nœud 1 : Corps de l'alternateur.	87
b	Nœud 2 : Stockage de l'hydrogène.	91
III.	Hiérarchisation des risques.	92
a	Pourcentage de gravité de défaillance. Poste gaz.....	93
b	Pourcentage de gravité de défaillance. Poste hydrogène.....	93
IV.	Arbre des Défaillance et calcul des probabilités d'occurrence:	96
IV1.	Circuit Gaz combustible.	97
IV2.	Circulation d'hydrogène, stockage.	104
IV3.	Calcul de probabilités d'occurrence de l'ERC.....	106
V.	Arbre des évènements :	107
V1.	Evènements redoutés secondaires.	108
V2.	Probabilité d'occurrence de l'ERS.	109
VI.	Concept des SIS :	110
VI1.	Définitions et rôles.	110
VI2.	Composition d'un SIS.	110
VI3.	Niveau d'intégrité SIL.	110
SIL requis.		114
VII.	Arbre des conséquences.	112
VIII.	Effets et dommages d'une explosion dans le site d'el-hamma	114
a	PHAST.	114
b	Données à introduire.....	115
c	Résultats du PHAST.	115
-	graphe de surpression poste gaz.....	115
-	cartographie des effets.	116
-	graphe de surpression poste hydrogène.	117
-	cartographie des effets.	118
Analyse et résultats.		119
		120
	Chapitre VI : Mesures empêchant une explosion de se produire	121
I.	Prévention, Action sur les Gaz inflammables.	122
II.	Prévention, Action sur les sources d'inflammation	123
III.	Protection, mesures limitant les effets d'une explosion.	124
Conclusion.		125

Conclusion générale.	126
Bibliographie.	128
Annexe.	129

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : exemples de TAI et PE.....	18
Tableau 2 : propriétés de l'H ₂ et du méthane. (TÜV Bayern Group, juin 2001).....	18
Tableau 3 : exemples de combustibles inflammables ou explosibles.	21
Tableau 4 : outil d'aide pour appliquer la méthode APR	28
Tableau 5 : gravité et cibles identifiées (ACEF environnement).	32
Tableau 6 : Probabilité d'occurrence d'un ERC.	106
Tableau 7 : Probabilité d'occurrence de l'explosion.....	109
Tableau 8 : Données Climatiques.	114

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : Hexagone d'explosion.....	21
Figure 2 : domaine d'explosivité.	21
Figure 3 : exemples de domaines d'explosivité de certains Combustible.	22
Figure 4 : exemple de définition pour l'électricité.....	23
Figure 5 : Exemple de grille de criticité (cfppa.fr/infocampus/).	34
Figure 6: exemple d'arbre de conséquences	35
Figure 11 : vue sur la station d'El-Hamma au cœur d'Alger.....	41
Figure 12 : Plan de situation.....	42
Figure 13 : Plan de masse.....	42
Figure 14 : Schéma de principe de la turbine.	44
Figure 15 : Turbine à gaz.	44
Figure 16: Les étages du compresseur.	45
Figure 17 : la chambre de combustion et les bruleurs.....	45
Figure 21 : Le système d'alimentation en gaz.	48
Figure 22 : circuit de refroidissement de l'alternateur.	51
Figure 23 : Le transformateur.....	54
Figure 24 : La salle de commande.	55
Figure 25 : Matrice de Criticité (cfppa.fr/infocampus/).	92
Figure 26 : pourcentage de gravité des défaillances (poste gaz).....	93
Figure 27 ; pourcentage de gravité des défaillances (circuit hydrogène).....	93
Figure 28 : Arbre des évènements.....	108
Figure 29 : Schéma d'un SIS simple [INERIS DRA 73, 2008].....	110
Figure 30: Graphe de surpression.....	115
Figure 31 : Cartographie des effets (explosion méthane).	116
Figure 32 : Graphe de surpression de l'hydrogène.	118
Figure 33 : cartographie des effets (explosion hydrogène).	119
Figure 34 : Inflammabilité du mélange Air/hydrogène.....	122
Figure 35: ensemble de paramètres du logiciel.....	131
Figure 36: ensemble de paramètres.....	131
Figure 37 : Localisation scénarios dans la cartographie.	132
Figure 38 : Exemple de rapport sur la probabilité de toxicité mortelle.....	132

LISTE DES ABREVIATION :

AdD : Arbre de Défaillances.

AdE : Arbre des Evènements.

ARIA : Analyse, recherche et information sur les accidents.

AT : Arrêt de Travail.

ATEX : Atmosphère explosive.

BLEVE : explosion de vapeur cause par un liquide en ébullition.

(Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion).

BT : Basse tension.

CEM : Collège d'Enseignement moyen.

DEL : Limite des Risques Effets Létaux.

EIE: Etude d'Impact Environnemental.

ENS : Evènement Non Souhaité.

EM : Evènement Majeur.

ERC : Evènement Redouté Central.

ERS : Evènement Redouté Secondaire.

GPL : Gaz et Produit Liquéfié.

H₂ : Hydrogène.

HT : Haute Tension.

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement.

LOPA: Layer of Protection Analysis.

MOC : Minimum Oxygène Content.

MW: MégaWatt.

Nm³: Normale mètre cube.

Liste des Abréviations

NP: Nœud Papillon.

PFD: Probability of failure on Demand.

PhD : Phénomène Dangereux.

RIA : Robinet Incendie Armée.

SEL : Seuil des Effets Létaux.

SELS : Seuil des effets létaux significatifs.

SEI : Seuil des Effets Irréversibles.

SEII : Seuil des Effets Irréversibles, effets Indirectes.

SIS : système instrumenté de sécurité.

SIL : Niveau intégré de sécurité

(Security integrated Level)

SMS : Système de management de la sécurité.

TOR : Tout Ou Rien, (Pour les vannes).

UVCE : explosion d'un nuage de gaz non confiné.

(Unconfined Vapour Cloud Explosion).

V : Vanne.

VCE : Vapour Cloud Explosion.

(Explosion d'un nuage de GAZ).

INTRODUCTION GENERALE

Le domaine de l'énergie joue un rôle majeur dans notre vie, précisément dans la production de l'électricité, qui est l'un des facteurs décisifs dans le développement des pays. La centrale électrique d'El-Hamma qui est d'une importance stratégique pour l'approvisionnement de la capitale et de certaines autres régions du pays, est située en plein cœur de la ville d'Alger, entourée de plusieurs établissements, voies de communication (chemins de fer, autoroute), port d'Alger etc...

Le site de la centrale d'EL-Hamma est un milieu soumis à tous les types de risque, en raison de son environnement immédiat moyens sophistiqués utilisés, des installations complexes fonctionnant avec des produits dangereux, la présence des lignes à haute tension, pouvant induire à des catastrophes, ce groupement nécessite une gestion stratégique et fiable des risques pour assurer la sécurité du site et le voisinage, et de garantir une alimentation continue en électricité du réseau nationale, et d'épargner les coûts que peuvent engendrer un arrêt de l'installation.

Les principales parties de l'installation sont les groupes turbines à gaz, fonctionnant avec le gaz naturel (combustible principale) qui débite à 120000 Nm³/h et qui suit une série d'opérations de traitement avant d'alimenter la turbine ; également de l'utilisation de l'hydrogène (stocké à 120 Bar) comme fluide de refroidissement de l'alternateur à cause de sa faible viscosité faisant de lui le fluide idéal pour le refroidissement, mais cette grande quantité de gaz utilisée peut occasionner des fuites par ces caractéristiques d'être le plus léger des gaz et son large domaine d'inflammabilité et une très faible énergie d'ignition, font de lui comme étant un gaz ayant une faculté à détonner, il y'a lieu alors de déterminer l'ampleur du risque et le degré de criticité de la situation, pour prendre les mesures nécessaires si les risques ne sont pas maîtrisés, pour cela plusieurs méthodes d'évaluation des risques notamment le risque d'explosions sont utilisées, développées par des experts et ingénieurs de sécurité des entreprise pour faire face à ces dangers et prendre les mesures nécessaires et efficaces de prévention et de protection pour se prémunir et assurer le bon fonctionnement de l'installation.

L'objectif du présent travail consiste, en premier lieu, à déterminer et évaluer le risque d'explosion dans la centrale, notamment dans le poste gaz et le circuit d'hydrogène, en utilisant une série de méthodes complémentaires pour cibler les défaillances, les pannes et les causes qui peuvent être à l'origine de l'explosion ainsi que les combinaisons et scénarios menant à la catastrophe, et par la suite, appliquer des méthodes spécifiques à la détermination de la probabilité d'occurrence de ce phénomène dangereux et de son ampleur en le comparant avec les normes internationales relatives à ce besoin, et en dernier, déterminer les effets et les conséquences redoutés, cas d'une explosion, avec une modélisation explicative et interprétative du phénomène et son impact sur le site et sur l'environnement voisin.

CHAPITRE I :

Généralités sur le risque d'explosion

Introduction :

Avant de commencer l'étude d'évaluation, et de présenter les différentes parties constitutives d'une centrale électrique, on verra -dans ce chapitre- et en premier lieu, l'accidentologie des explosions survenus dans les centrales électriques et dont le méthane ou l'hydrogène sont les principaux origines de ces explosions, pour avoir une idée sur le phénomène, et savoir quelle est l'ampleur de dégâts de ce types de phénomène sur les installations et sur l'environnement ;

Après on va mettre en lumière les notions et termes utilisés dans le domaine de l'évaluation du risque d'explosion, avec les définitions relatives à l'explosion, risque, analyse et évaluation.

Et par la suite, on parlera sur les caractéristiques et propriétés des produits combustibles étudiés dans ce projet à l'image du gaz naturel et d'hydrogène et quel est le lien avec ces matières et l'explosion.

I. Accidentologie sur les explosions:

La base de données « Analyse et Recherche et Informations sur les Accidents » (ARIA Développement, juillet 1999), est au service de la prévention des risques par le retour d'expérience, elle a recensé et collecté plus de 37000 évènements et accidents impliquant des activités industrielles et agricoles classées, les évènements non ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement) dont le risque d'explosion est transposable, pollutions accidentelles et plusieurs autres phénomènes ; ci-après cités des exemples d'accidents (explosions) dont l'hydrogène est l'origine pour montrer les importants dégâts et les multiples causes qui peuvent générer une explosion. Parmi eux on cite :

II. En France - 5 cas

ARIA 169 – L'explosion d'hydrogène produit par corrosion dans un réservoir d'acide en travaux fait 1 mort et 2 blessés graves.

ARIA 170 – Une fuite enflammée d'hydrogène sur une canalisation en maintenance tue 4 opérateurs et en blesse 3 autres.

ARIA 176 – 2 opérateurs extérieurs sont tués par une explosion d'hydrogène suite à une fuite de gaz de synthèse dans une unité d'ammoniac.

ARIA 3512 – L'hydrogène produit par réaction d'eau avec du métal en fusion explose et tue 1 opérateur.

ARIA 7956 – Une explosion suivie d'un incendie dans une unité d'hydrogénation tue 1 opérateur.

I2. Dans le monde – 9 cas

ARIA 324 – Dans une raffinerie aux USA, un UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion) dû à la corrosion d'une canalisation par l'hydrogène fait 7 morts et 48 blessés.

ARIA 1792 - Au Japon, une fuite d'hydrogène sur un échangeur d'une raffinerie explose tuant 10 opérateurs.

ARIA 4501 – En Ukraine, fuite de H₂ sur une conduite à 200 m d'un réacteur nucléaire, suivie d'une explosion et d'un incendie, tuant un opérateur.

ARIA 5428 – En Norvège, l'explosion d'hydrogène dans une unité ammoniac fait 1 mort et 2 blessés graves. ARIA 6481- Aux USA, la présence de H₂ dans un réservoir de chlore provoque une explosion tuant 1 opérateur.

ARIA 6716 – Au Japon, une explosion hydrogène / chlore tue 1 employé. ARIA 11934 – Dans une raffinerie américaine, l'explosion d'une canalisation hydrogène / gazole fait 1 mort et 60 blessés.

I3. Explosion dans une centrale électrique :

ARIA 15339 – Aux USA, Une explosion suivie d'un incendie se produit dans une centrale thermique au charbon de 1 200 MW sur l'un des 6 générateurs en cours d'entretien. Trois ouvriers sont tués et 50 autres sont blessés, 38 d'entre eux grièvement brûlés sont hospitalisés. Une explosion due à la **présence d'hydrogène** serait à l'origine du sinistre. En effet, l'hydrogène sous pression, utilisée normalement pour refroidir le système, aurait dû être vidangé avant les **travaux de maintenance**. 2 des 6 chaudières sont arrêtées pendant plusieurs semaines

De ce fait, les points faibles des installations à surveiller sont naturellement les **vannes d'isolement**, les organes de **raccordement** et les **joints** associés avec une considération particulière à accorder au **mode de serrage de ces équipements**.

De plus de l'application des mesures strictes de sécurité, les travaux de maintenance doivent faire l'objet de prudence et de prise de dispositions pour ne pas engendrer des dégâts comme est le cas de l'accident cité en haut.

Remarque et conclusion:

Les accidents recensés par ARIA impliquant l'hydrogène sont à 80% des incendies et/ou des explosions, dont les conséquences notamment humaines sont souvent très graves.

On remarque que le nombre d'accidents est grand, et dans la plupart des cas les effets et les conséquences sont fatales pour l'entreprise non seulement en pertes matériels coûteuses, mais aussi en pertes humaines, d'où l'obligation de prendre les mesures nécessaires pour ne pas tomber dans le même cas que ces accidents, en tirant le maximum de leçons qui vont constituer un retour d'expérience de cette base de données aidant à faire une bonne analyse de risque.

II. Le Risque d'Explosion :

III. Termes et définition :

- **Explosion** (Norme EN 1127-1): Une explosion est l'évolution rapide d'un système, avec libération d'énergie et production d'effets mécaniques et éventuellement thermiques (graves dégâts humains et matériels, formation importante de gaz et de chaleur) ; Les explosions peuvent être de plusieurs natures, notamment :
 - physique (exemple, éclatement d'un récipient dont la pression intérieure est devenue trop importante)
 - chimique (résultant d'une réaction chimique).

De nombreuses substances sont susceptibles, dans certaines conditions, de provoquer des explosions. Ce sont des gaz, des vapeurs, des brouillards et des poussières inflammables (telles que la farine, sucre, le lait, le charbon, le soufre, l'amidon, les céréales, le bois, les matières plastiques, les métaux...).

• **Atmosphère Explosive** : Une « Atmosphère Explosible » est une atmosphère qui pourrait devenir explosive en raison des conditions locales ou opérationnelles. C'est un mélange d'air et de substances inflammables sous forme de gaz, vapeurs, brouillards ou poussières, dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange non brûlé.

- **Domaine d'explosivité** (INERIS, 1998) : Concentrations de combustible comprises entre la LIE à la LSE.
- **Limite Inférieure d'Explosivité (LIE)** : Concentration minimale dans le mélange en dessous de laquelle celui-ci ne peut être enflammé (pour un gaz, des vapeurs ou des poussières dans l'air).
- **Limite Supérieure d'Explosivité (LSE)** : Concentration maximale dans le mélange au-dessus de laquelle celui-ci ne peut-être enflammé (pour un gaz, des vapeurs ou des poussières dans l'air).
- **Température d'auto-inflammation** : Les sources d'inflammation sont multiples, la présence d'une flamme n'est pas nécessaire pour enflammer une ATEX, Il existe une température au-delà de laquelle l'inflammation d'une ATEX se produit spontanément. Il s'agit de la température d'auto-inflammation (TAI). La Tai est la plus basse à la stœchiométrie.

Tableau 1 : exemples de TAI et PE

	TAI	PE
Méthanol :	385°C	11 °C
Acétone :	465°C	-20°C
Méthane :	535°C	SO
Éthanol :	363°C	12°C
Hydrogène :	500°C	SO
Toluène :	480°C	4°C
Essence :	280°C	-42°C

III. Caractéristiques du gaz naturel et d'hydrogène:

Le Gaz combustible (carrtier Sophie, 2009-2010):

Un gaz combustible est un gaz qui brûle dans l'air ou dans l'oxygène pur. A part de rares exceptions, ces gaz sont composés d'un ou plusieurs hydrocarbures. Les gaz combustibles sont inodores à l'état naturel, on y additionne donc des composés sulfurés possédant une odeur caractéristique et permettant de donner l'alarme en cas de fuite sur une canalisation de distribution ou dans un appareil de gaz.

L'hydrogène (ARIA Developpement, juillet 1999) :

L'hydrogène est le plus petit des atomes et, sous forme diatomique, le plus léger des gaz. A l'état liquide ou gazeux, l'H₂ est particulièrement sujet aux fuites à cause de sa basse viscosité et de sa faible masse moléculaire, du seul fait de sa faible viscosité, le taux de fuite de l'hydrogène liquide est notamment 50 fois supérieur à l'eau, et 10 fois supérieur à l'azote liquide.

Sous forme gazeuse, sa viscosité à température ambiante est également la plus faible de toutes celles des autres gaz ; il traverse ainsi aisément les parois poreuses et fuit très facilement par les moindres interstices. Il peut donc s'échapper d'un appareil ou d'un circuit qui serait étanche vis-à-vis de l'air ou d'un autre gaz.

L'hydrogène et le gaz méthane sont classés parmi les composés «extrêmement inflammables», comme le montrent leurs propriétés comparées à celle de l'essence dans le tableau ci-après :

Tableau 2: propriétés de l'H₂ et du méthane. (TÜV Bayern Group, juin 2001)

Propriétés	Hydrogène	Méthane	Essence
Plage d'inflammabilité dans l'air	4- 75%	5,3- 15%	1-7,6%
Energie minimale d'inflammation dans l'air.	0,02 (mJ)	0,29 (mJ)	0,24 (mJ)
Chaleur de combustion. (kJ/g)	120	50	44,5
TAI. (°C)	585	540	228-501
Coefficient de diffusion dans l'air. cm ² /s	0,61	0,16	0,05

Propriétés de l'atome d'hydrogène : « tendance à fuir en raison de sa petite taille, mais aussi large domaine d'inflammabilité et une très large énergie d'ignition, et possède une faculté à détoner », ce qui le rendent particulièrement dangereux dans les espaces confinés ou semi-confinés (recoins des réservoirs, plafonds...).

IV. Le Phénomène d'explosion:

Les explosions dans les installations industrielles sont souvent spectaculaires et parfois mortelles. Leur prévention fait l'objet de prise mesures stricte et rigoureuse. Ce volet présente les notions fondamentales à connaître sur les explosions et une aide pratique pour s'orienter et s'organiser pour la mise en pratique des études d'évaluation des risques.

a. Une explosion est l'évolution rapide d'un système avec libération d'énergie et production d'effets mécaniques et éventuellement thermiques.

L'énergie libérée peut avoir une origine **physique** ou **chimique**.

- D'origine physique et peut avoir deux scénario :
 - La rupture d'un récipient pressurisé par un gaz. (séparateur, détendeur)
 - La vaporisation brutale d'un liquide surchauffé. (sphère de propane, fuel)
- D'origine chimique et peut surgir en deux situation :
 - L'explosion d'une ATEX.
 - L'explosion qui résulte d'un emballement thermique.

b. Mécanisme de l'explosion :

- pour que l'explosion puisse s'amorcer, le système doit recevoir localement un minimum d'énergie : c'est l'énergie d'inflammation, apportée par la source d'inflammation (c'est aussi l'énergie d'activation de la réaction de combustion).
- la réaction démarre localement : les produits de la réaction (gaz brûlés ou gaz de combustion) sont apportés à haute température dans une zone mince appelée « flamme ».

c. Les sources d'inflammation : les sources les plus fréquentes sont :

- flammes nues (briquet, chalumeau, brûleur...)
- travaux de meulage (étincelles mécaniques)
- étincelles électriques (contacteurs, moteurs...)
- électricité statique (surtout pour les gaz et vapeurs)
- surfaces chaudes (fours, pièces mécaniques qui frottent et s'échauffent...)
- auto-inflammation d'un dépôt de poussières combustibles.
- Foudre.
- Rayonnement haute fréquence.

d. Hexagone d'explosivité : Deux conditions doivent être réunies pour qu'il y ait explosion :

Condition n°1 : Il faut la présence d'un comburant et d'un combustible. Dans un mélange formant une ATEX, l'oxygène de l'air est le comburant, les substances inflammables sous forme de gaz, de vapeurs ou de poussières sont le combustible.

Quelques exemples de combustibles pouvant former une ATEX dans un mélange avec l'air :

Tableau 3 : exemples de combustibles inflammables ou explosibles.

Gaz	Vapeurs	Poussières
Méthane	Sulfure de carbone	Aluminium
Butane	Alcool éthylique	Amidon
Propane	Oxyde d'éthylène	Céréales
Hydrogène	Acétone	Charbon

Condition n°2 : Le mélange doit être explosif. Une ATEX explose par l'apport d'une source d'inflammation, qui peut être une source d'énergie suffisamment importante ou une température suffisamment élevée.

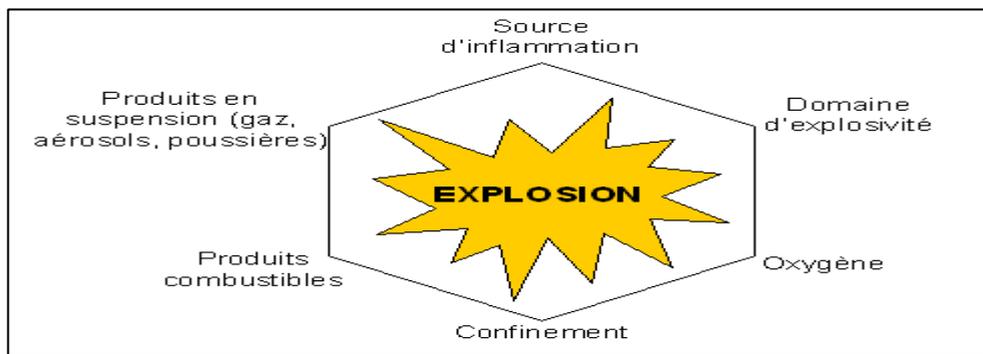


Figure 1 : Hexagone d'explosion.

Six conditions doivent être réunies simultanément pour qu'une explosion soit possible :

- la présence d'un comburant (presque toujours l'oxygène de l'air),
- la présence d'un combustible,
- combustible sous forme gazeuse, d'aérosol ou de poussières (matière en suspension)
- la présence d'une source d'inflammation,
- confinement suffisant.
- Proportions dans le domaine d'explosivité, concentration entre LIE et LSE :

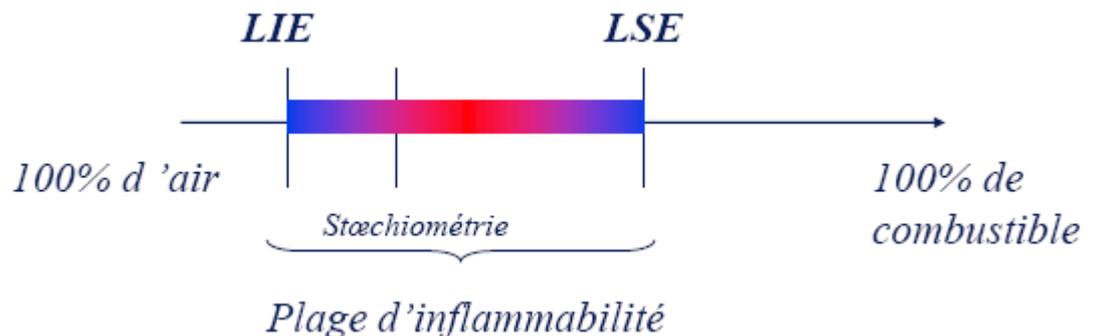


Figure 2 : domaine d'explosivité.

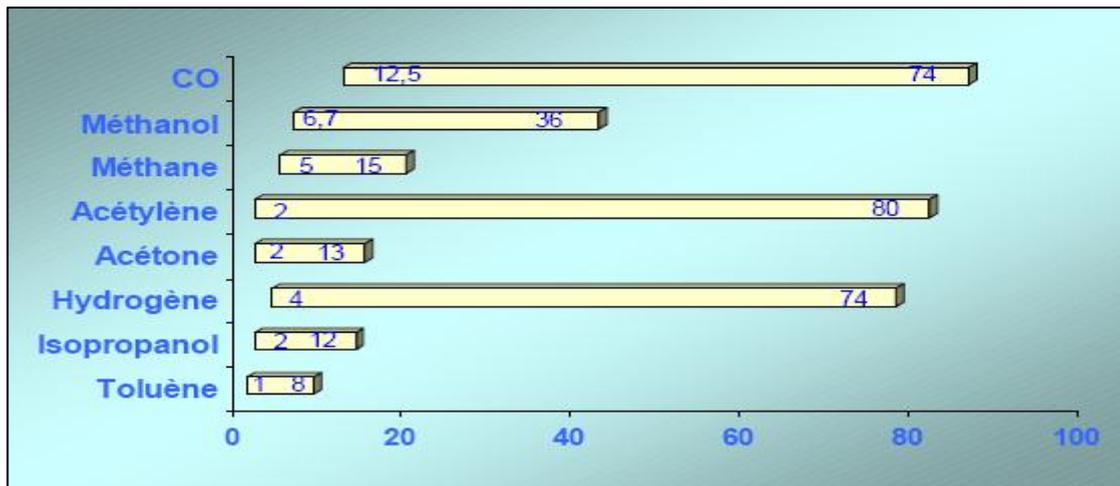


Figure 3 : exemples de domaines d'explosivité de certains Combustible.

e. Effets d'une explosion

Une boule de feu : qui consume ou endommage ce qui se trouve à l'intérieur.

Un rayonnement thermique sur le voisinage immédiat de la boule de feu. Ainsi ce que est émis de ce front de flamme peut atteindre des valeurs de plusieurs centaines de kW/ m².

Une Détonation : l'explosion va générer une onde de choc (détonation), un important déplacement d'air qui va affecter l'environnement proche du réservoir, selon des seuils connus.

Projection de débris : Des débris sont propulsés majoritairement vers les extrémités du réservoir. Cette projection est donc imprévisible et peu parfois atteindre des proportions énormes, à plus d'un kilomètre de diamètre de la source.

f. Seuil de surpression

Les effets de la surpression en cas d'explosion sont :

- sur l'homme :

- 20 mBar : seuil des effets indirects ;
- 50 mBar : seuil des effets irréversibles ;
- 140 mBar : seuil des premiers effets létaux ;
- 200 mBar : seuil des effets létaux significatifs.

- sur les structures :

- 20 mBar : seuil de destruction significative des vitres ;
- 50 mBar : seuil des dégâts légers ;
- 140mBar : seuil des dégâts graves.

Maintenant, Dans la partie « V et VI », on va donner quelques définitions concernant les risques et dangers et éventuellement parler du terme évaluation ainsi que les débauches relatives ; et les différents types et situations redoutées, et par la suite on va éclaircir d'autres notions comme la gravité et la probabilité d'occurrence, dépendant des cibles (personnes, matériels, environnement) pouvant être atteintes ou se trouvant dans une situation dangereuse.

V. Notions de risque :

V1. Termes et définitions :

La confusion persiste entre les termes dangers, dommage et risque. Dans l'acceptation large du terme, « risque » a tendance à recouvrir indifféremment les notions de dangers et de dommage. Dans cette partie on va souligner cette difficulté. Le risque est explicite comme étant « une notion abstraite, inobservable directement, une catégorie de statut intermédiaire entre celle des danger et celle des dommages. Voici les définitions suivantes (INRS, 2005) :

Danger : propriété intrinsèque d'une situation, d'un produit, d'un équipement susceptible de causer un dommage.

Domage : tout évènement non souhaité.

Risque : couple entre « probabilité d'occurrence et gravité des conséquences » appliqué à un évènement non souhaité.

La définition suivante de risque semble faire l'unanimité : le risque est l'éventualité d'une rencontre entre l'homme et un danger auquel il peut être exposé.



Figure 4 : exemple de définition pour l'électricité.

Deux composantes caractérisent généralement le risque :

- **La probabilité** de la survenance du dommage, elle est liée à la fréquence d'exposition et la durée d'exposition, et à la probabilité d'apparition du phénomène dangereux.
- **La gravité** du dommage.

La caractéristique essentielle du risque est d'être un évènement à venir, donc incertain. Cette incertitude est fondamentalement irréductible (« le risque zéro n'existe pas »).

VI. Evaluation du risque :

VII. Termes et définitions :

L'évaluation :

En langage technique, ce terme signifie : « l'utilisation des données factuelles pour apprécier les effets sur la santé de l'exposition d'individus ou de population, matériels ou l'environnement à des situations dangereuses ».

L'évaluation du risque : Pour la norme (ISO 12100), l'évaluation est la phase finale d'un processus de prise de connaissance sur les risques, d'analyse et d'estimation des risques. A ce stade, l'évaluation permet de se positionner et de porter un jugement sur la sécurité d'un équipement, d'une installation ou de tout autre aménagement sur les lieux de travail.

La difficulté reste l'évolution des causes de risques, de plus en plus nombreuses, sournoises et difficiles à pondérer du fait de la complexité des situations.

Les approches d'analyse des risques et l'évaluation à priori des risques :

a . Des contrôles, des vérifications : Approche de type « normative », elle repose sur l'utilisation d'un référentiel. Il s'agit de porter un jugement de conformité.

b . De l'analyse des postes : Approche de types ergonomique, elles se fondent sur l'observation, des entretiens et des mesures.

c . De la modélisation et de calculs probabilistes : Approche de type « sureté », essentiellement appliquées à des systèmes techniques complexes.

Remarque : le dernier type d'approche est celui utilisé dans la suite de travail, puisque il constitue une méthode d'aspect sécuritaire et de sureté. Elle sera combinée avec l'approche analyse des accidents pour former une manière efficace d'évaluation des risques.

L'évaluation du risque rentre dans le système général de gestion de risque, qui consiste à prendre toutes les dispositions possibles pour minimiser le risque. Elle comporte les étapes suivantes :

Comparaison quantitative des risques avec des seuils prédéfinis :

Dans cette étape, le degré de risque déterminé lors de l'analyse des risques est comparé aux seuils d'acceptation. La décision sur l'acceptabilité des risques ne dépend pas seulement des nombres générés mais aussi d'une évaluation attentive du contexte des risques et des facteurs qui n'ont pas été pris en compte par les modèles de quantification.

Classement des risques :

Les risques sont ensuite mis en rang selon la priorité qui leur a été assignée. Le classement des risques peut être divisé selon les zones de responsabilité.

Sélection des risques pour le traitement et la ré- analyse :

La sélection des risques pour le traitement doit impliquer les parties prenantes ainsi que les personnes pour qui la responsabilité du traitement sera probablement affectée. Les décideurs peuvent également découvrir lors de cette étape que les informations actuelles sur les risques sont insuffisantes.

Compilation de la liste des risques pour le traitement :

Dans cette étape, le catalogue des risques est mis à jour avec des informations sur les risques qui ont été sélectionnés pour le traitement. Ces informations devraient inclure :

- L'identification des risques pour le traitement
- La réduction prévue des risques
- Le coût prévu ou l'effort de réduction des risques.

VI2. Evaluation du risque d'explosion :

Les explosions sur les lieux de travail sont souvent spectaculaires et parfois mortelles, elles sont question de sinistres graves qui font des victimes et causent d'importants dégâts matériels. Leur évaluation fait l'objet d'une méthodologie spécifique, elle se fait en plusieurs étapes :

1 - Faire l'inventaire des produits potentiellement explosifs

- Produits liquides et gazeux :
- Densité
- Déterminer si LIE < domaine d'explosivité < LSE
- Point éclair.
- Température minimale d'inflammation (TMI)
- Densité
- Concentration minimale explosives
- Température minimale d'inflammation (TAI) en couche et en nuage
- Energie minimale d'inflammation (EMI) en nuage

2 - Identifier les atmosphères explosives potentielles en fonctionnement normal ou non

- Mesure d'oxygène, du gaz combustible, et de LIE et LSE par balise
- Métrologie des mélanges air/combustible

3 - Analyser les procédés afin de rechercher des conditions favorables à la création d'une atmosphère explosive

- Cette partie va être traitée dans le chapitre suivant utilisant des méthodes précises et connues dans le domaine d'identification des défaillances et des phénomènes dangereux.

4 - Les dysfonctionnements potentiels et garder en mémoire et utiliser les risques passés (statistiques entreprises dysfonctionnements, statistiques nationales et par situation) (retour d'expérience)

5 - Mesurer la fréquence et la durée d'exposition (chaque fois qu'il y a présence d'une Atmosphère explosive) dans l'installation.

6 - Mesure l'ampleur de dégâts générés par une éventuelle explosion.

Conclusion :

Dans ce chapitre, les notions de risque ont permis de comprendre comment présenter et faire une analyse et évaluation de risque suivant l'évolution des phénomènes et événement, et ont permis également de faire un recueil nécessaire de données et d'informations aidant à mieux faire l'évaluation.

Chapitre II :

Méthodes d'évaluation du risque.

Méthodes d'analyse des risques :

Introduction :

La centrale électrique, est lieu où peuvent se trouver tous les types de risque, y compris celui de l'explosion, une analyse de ces risques et dangers s'avère nécessaire, pour cela, plusieurs méthodes sont utilisées pour déterminer les éléments dangereux de l'installation, les substances ou préparations dangereuses, équipements et opérations dangereux, on peut en citer l'APR, l'HAZOP, l'AMDE, l'Arbre de Défaillances, l'Arbre des Evènements et le Nœud-Papillon. Ce sont les plus utilisées dans le domaine d'analyse des risques, et avec lesquelles on a essayé d'identifier et d'évaluer les risques au niveau de la centrale, afin de déterminer si les risques sont maîtrisés ou non, on s'est intéressé également au niveau de dangerosité pour permettre de faire une étude plus détaillée sur le risque d'explosion.

Avant l'analyse des risques, un recueil des informations est une des phases les plus longues du processus de l'analyse mais probablement des plus importantes, il est nécessaire de respecter les étapes suivantes :

- Description fonctionnelle et technique du système (chapitre suivant « III »).
- Description de son environnement.
- Identification des potentiels de dangers internes et externes.
- Analyse des incidents/accidents passé (accidentologie).

Les méthodes d'analyse de risques peuvent être prises individuellement ou de façon combinée (dans cette étude on va les prendre de façon combinée), elles permettent le plus souvent de répondre aux objectifs d'une analyse des risques portant sur un procédé ou une installation.

Il existe deux types de démarche en vue d'analyser les risques : la démarche déductive s'il s'agit de déduire les causes à partir des défaillances (arbre de défaillances), et la démarche inductive s'il s'agit alors d'identifier les conséquences de cette ou ces défaillance (s) sur le système ou son environnement (APR, HAZOP, AdE).

1. L'analyse préliminaire des risques (APR) (E.Bernuchon, juin 2006):

L'analyse préliminaire des risques nécessite dans un premier temps d'identifier les éléments dangereux de l'installation. Ces éléments dangereux désignent le plus souvent :

- Des substances ou des préparations dangereuses.
- Des équipements dangereux.
- Des opérations dangereuses associées au procédé.

L'identification de ces éléments dangereux est fonction du type d'installation étudiée. L'APR peut être mise en œuvre sans ou avec l'aide de liste de risques types ou en appliquant les mots guides HAZOP (dérives de paramètres de fonctionnement).

A partir de ces éléments dangereux, l'APR vise à identifier, pour un élément dangereux, une situation de danger. Une situation de danger est définie comme une situation qui, si elle n'est pas maîtrisée, peut conduire à l'exposition d'enjeux à un ou plusieurs phénomènes dangereux.

L'utilisation d'un tableau de synthèse constitue un support pratique pour mener la réflexion et résumer les résultats de l'analyse. Pour autant, l'analyse des risques ne se limite pas à remplir coûte que coûte un tableau. Par ailleurs, ce tableau doit parfois être adapté en fonction des objectifs fixés par le groupe de travail préalablement à l'analyse.

A titre d'exemple :

Tableau 4 : outil d'aide pour appliquer la méthode APR

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

Pour chaque fonction identifiée dans la phase de description des installations, les produits ou équipements sont passé en revue, en examinant les situations de danger potentielles de manière systématique. Pour cela, il est fait appel à l'expérience et à l'imagination de chacun. L'analyse d'accidents constitue de plus une source d'information à privilégier.

Les démarches systématique est à adapter sous la forme suivantes :

- Sélectionner le système ou la fonction à étudier sur la base de la description fonctionnelle réalisée.
- Choisir un équipement ou produit pour ce système ou cette fonction (colonne 2).
- Pour cet équipement, considérer une première situation de danger (colonne 3).
- Pour cette situation de danger, envisager toutes les causes et les conséquences possibles (colonne 4 et 5).
- Pour un enchaînement cause-situation de danger-conséquence donné, identifier alors les barrières de sécurité existantes sur l'installation (colonne 6).
- Si le risque ainsi estimé est jugé inacceptable, formuler des propositions d'améliorations en colonne 7. La dernière colonne (8) est réservée à d'éventuels commentaires. Elle est

particulièrement importante pour faire apparaître les hypothèses effectuées durant l'analyse ou les noms de personnes devant engager des actions complémentaires.

- Envisager alors un nouvel enchaînement cause-situation de danger-conséquences pour la même situation de danger et retourner au point 5.
- Si tous les enchaînements ont été étudiés, envisager une nouvelle situation de danger pour le même équipement et retourner au point 4.
- Lorsque toutes les situations de danger ont été passées en revue pour l'équipement considéré, retenir un nouvel équipement et retourner au point 3.
- Le cas échéant, lorsque tous les équipements ont été examinés, retenir un nouveau système ou fonction et retourner au point 2.

Limite et avantage :

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

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

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

2. HAZOP (E.Bernuchon, juin 2006) :

L'HAZOP (HAZard and OPerability study) est l'une des méthodes les plus utilisées pour l'analyse des risques industriels. Son intérêt est l'identification et l'évaluation des situations pouvant représenter un risque pour le personnel ou les équipements, et le déploiement des moyens (procédés, équipements) de prévention adéquats.

La méthode HAZOP a été initialement développée pour analyser des systèmes de procédés chimiques. Elle fut ensuite étendue à d'autres types de systèmes industriels. Elle a aussi été transposée dans le cadre d'opérations complexes et de systèmes logiciels.

L'application de la méthode HAZOP présente des similitudes avec l'application de la méthode AMDEC3. Cependant, l'une mettra en évidence les dérives au niveau des installations, sans évaluation de criticité et donnera des recommandations d'élimination de la cause, l'autre sera centrée sur les défaillances des composants d'un système, avec évaluation et recherche des actions correctives en fonction d'un indice de priorité des risques.

Le principe de l'HAZOP est d'associer des mots-clés et des paramètres relatifs à l'installation étudiée pour ainsi déceler des dérives.

Le déroulement de la méthode HAZOP

- Phase préparatoire

On doit évaluer la nécessité et la pertinence de recourir à l'HAZOP, puis de délimiter son périmètre d'application. Le système sera divisé en sous-systèmes appelés "nœuds", l'installation examinée sera appelée "ligne" ou "maille".

- Générer les dérives potentielles

Afin de générer efficacement des dérives potentielles, la méthode HAZOP prévoit d'associer des mots-clés - qui seront représentatifs des types de déviation possible du système sous la forme de propositions conditionnelles - à tous les paramètres pouvant interagir sur la sécurité du système.

L'équipe de travail sélectionne un paramètre de fonctionnement de l'exploitation (ex. la température, le temps, la pression, le débit...) ; choisi un mot-clé définissant une déviation. C'est la combinaison du mot-clé et du paramètre qui constitue la dérive.

Par exemple le paramètre " Pression ", associé au mot-clé de déviance "Supérieur à" et une valeur limite, exprime un risque d'une surpression.

On fixe la liste des dérives plausibles issues des combinaisons paramètres mots-clés pour déclencher l'analyse des causes et conséquences potentielles.

- Identifier les causes et les conséquences potentielles

On réfléchit aux causes et aux conséquences que peuvent entraîner les dérives crédibles générées.

- Identifier les moyens de détection et de prévention

On propose des outils et/ou méthode de détection des dérives et détecte les outils et méthodes de prévention déjà existants.

- Émettre des recommandations

On émet des recommandations d'actions correctives à mettre en œuvre en cas d'apparition de la dérive, ou des recommandations d'actions d'amélioration à mettre en place sur les outils et/ou méthodes de prévention déjà existants.

- Rechercher les dérives jusqu'à épuisement des risques

L'équipe de travail génère toutes les dérives crédibles possibles de la ligne/maille jusqu'à épuisement des risques, identifie les causes, conséquences, moyens de détection et de prévention de chaque dérive et émet ses recommandations.

Les limites de l'HAZOP

Cette méthode est basée sur l'expérience et peut donc plus difficilement être réalisée sur un nouveau système.

Par ailleurs, l'HAZOP ne proposera qu'une analyse simple des dérives potentielles et trouvera ses limites dans la combinaison simultanée de plusieurs dérives. De la même manière, il sera dans certains cas difficile d'établir une liste exhaustive des causes de dérives potentielles, notamment dans les systèmes transverses où les causes d'une dérive seront liées aux conséquences de l'apparition d'une autre.

Toutes fois, les défaillances et les causes extraites du déroulement du processus de HAZOP doivent être hiérarchisées selon leurs gravités et probabilités, de plus, comme il a été indiqué dans les inconvénients, cette méthode n'étudie pas la combinaison entre les défaillances et pannes, d'où la nécessité d'employer les méthodes nécessaire pour effectuer ce travail.

3. Matrice de criticité :

L'une des étapes essentielles de l'évaluation du risque et d'évaluer sa criticité, même que ce soit d'une façon semi-quantitative, mais elle est pratique et efficace pour le hiérarchiser (du plus faible au plus critique), surtout si les moyens de prévention/protection sont limités et que c'est nécessaire d'entreprendre le travail avec le risque ;

Cette méthode se base généralement et en premier lieu sur l'identification des risques et des dangers présents dans l'entreprise avec les méthodes citées ci-dessus, et après les avoir attribué un degrés de gravités et estimé leurs fréquences ou probabilité d'apparition, qui doit être relevé des études de cas déjà fait, et du retour d'expérience des accidents similaires du même domaine comme dans notre cas une installation électrique, et d'une estimation de la gravité par rapport aux cibles du danger comme par exemple l'employé ou la machine générant de grands dégâts ou d'une importance , la criticité est alors déduite de la multiplication de la fréquence et de la gravité qui permettent de les hiérarchiser dans une échelle ;

Tableau 5: gravité et cibles identifiées (ACEF environnement).

Conséquences	Personnes	Environnement	Bien/ Equipements
G4	Accident mortel irréversible d'une partie importante du personnel de la population et/ou conséquences majeures sur les ressources	Conséquence extérieure majeure Pollution à l'échelle régionale/nationale	Dommages majeurs à des équipements dangereux à l'extérieur de l'établissement
G3	Accident mortel et/ou irréversible d'une partie limitée du personnel et/ou de la population et/ou conséquences graves sur les ressources	Conséquence extérieure importante Pollution à l'échelle de la localité	Dommages légers à l'extérieur du site ou dommages importants à d'autres équipements dangereux ou importants pour la sécurité sur le site
G2	Accident corporel avec une, incapacité permanente moyenne ou faible	Conséquences interne importante ou extérieur limitée	Dommages limités à des équipements non dangereux sur site
G1	Accident corporel avec arrêt de travail	Conséquence interne limitée	Dommages limités au site et n'entraînant pas de défaillances significatives

La troisième étape et qui est la plus importante vis-à-vis le traitement du risque, et d'envisager des barrières de sécurité en éliminant le risque, le déplaçant ou le minimisant au plus faible possible, en jouant sur la fréquence (barrière de prévention) ou/et sur la gravité (barrière de protection) ;

Bien évidemment, il y'a des risque que même avec la mise en place des barrières, sont omniprésents, ce sont les risques résiduels que requièrent une gestion à part selon les moyens.

Ainsi, après avoir déterminé la criticité et les moyens nécessaires pour gérer le phénomène dangereux, on peut prédire si les risques sont acceptables ou non, et bien-sur la grille doit être mise-à-jour régulièrement dans la perspective de l'amélioration continue.

Risque (CEI) : Combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences, Combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité

Probabilité d'occurrence d'un accident est assimilée à sa fréquence d'occurrence future estimée sur l'installation considérée. Elle est en général différente de la fréquence historique et peut s'écarter, pour une installation donnée, de la probabilité d'occurrence moyenne évaluée sur un ensemble d'installations similaires.

Dans la feuille suivante, un exemple de matrice de criticité utilisée dans cette étude,

1 Identification			2 Hiérarchisation				3 Traitements						Acceptabilité		
Danger	Cible	Le Risque	Fréquence dudit risque	Gravité dudit risque	Criticité	Traitements sur la fréquence			Traitements sur la gravité			Criticité résiduelle			
						Prévention			Protection						
Identification entre autre par l'analyse papillon			Estimation de la menace ou dommages ()=note				(diminue la fréquence) Traitement des causes			(diminue la gravité) Traitements des conséquences.			Le seuil d'acceptabilité dépend entre autre de la personnalité du chef d'entreprise mais aussi de ses forces (financières, humaines, mobilières et immobilières etc) A vous de les estimer !		
(Le péril n'est qu'une forme aggravée, plus immédiate et plus palpable du danger) * Aléa (connu) * Imprévu (inconnu)		Dommages ou menaces ou impacts	Echelle de Fréquence (nombre paire) Régulière (4) Périodique (3) Rare (2) Exceptionnelle (1)	Echelle de gravité (nombre paire) Insignifiant (1) Mineur (2) Significatif (3) Critique (4)	Risque mineur	Risque significatif	Risque majeur/	Risque critique		Situation critique urgence	Nouvelle Fréquence caractérisée par sa situation			La situation évolue défavorablement	Nouvelle gravité caractérisée par sa situation
										Situation à traiter			Il n'y a pas de progression		
										Situation améliorable			La situation évolue favorablement		
										Situation satisfaisante			La situation optimale a été atteinte		
Justifier le danger (entre autre par les impacts qu'il peut avoir sur la cible). Un danger peut se caractériser par la possibilité de « prédiction »			La fréquence est en rapport avec le cycle de vie de votre produit ou de votre entreprise D'autre part un risque régulier peut être une situation satisfaisante car il se traite facilement	L'échelle doit être une échelle concrète sur une base en lien avec le cas étudié				Après avoir indiqué votre traitement et justifié (techniquement et économiquement et humainement etc.) vous devez estimer la répercussion sur la fréquence et donner ainsi la nouvelle note	Après avoir indiqué votre traitement et justifié (techniquement et économiquement et humainement etc.) vous devez estimer la répercussion sur la gravité et donner ainsi la nouvelle note	Vous pouvez caractériser la nouvelle criticité	Ici vous devez être capable de justifier, pourquoi le risque est acceptable pour l'entreprise. A vous d'estimer le coût de protection et les impacts potentiels.				

Figure 5 : Exemple de grille de criticité (cfppa.fr/infocampus/).

4. Arbre des évènements :

L'objectif est de décrire les scénarios d'accident à partir d'un événement initiateur. Cette méthode est appropriée lorsque le fonctionnement du système étudié est approximativement chronologique, mais discret. Le fonctionnement du système est qualifié de « discret » dans le sens où les événements considérés sont ponctuels dans le temps. Cette méthode permet de comparer l'efficacité de différentes mesures (de prévention ou de protection) dédiées à la réduction de l'impact d'un événement initial.

Les arbres d'évènement sont conventionnellement construits horizontalement, à partir de la gauche, c'est-à-dire à partir de l'événement initial. Le développement de l'arbre se fait alors chronologiquement, en étudiant le comportement de chaque élément. Un scénario ou un système est formé de plusieurs éléments qui se combinent pour prévenir les conséquences graves. Les arbres d'évènement permettent de déterminer l'enchaînement des événements ainsi que le résultat final : succès ou échec. Les arbres d'évènements sont donc en général binaires, les événements étant supposés soit arrivé, soit non.

La figure ci-dessous représente un arbre d'évènement pour lequel on retient la branche supérieure si le système est dans un état opérationnel quand il est sollicité. L'événement initiateur initie le scénario. Les actions correctrices de l'événement générique peuvent atténuer ou aggraver l'événement initiateur. Une branche particularise les événements génériques en fonction du passé et en fonction de conditions initiales de la séquence. Une séquence est un chemin qui conduit aux conséquences acceptables ou inacceptables.

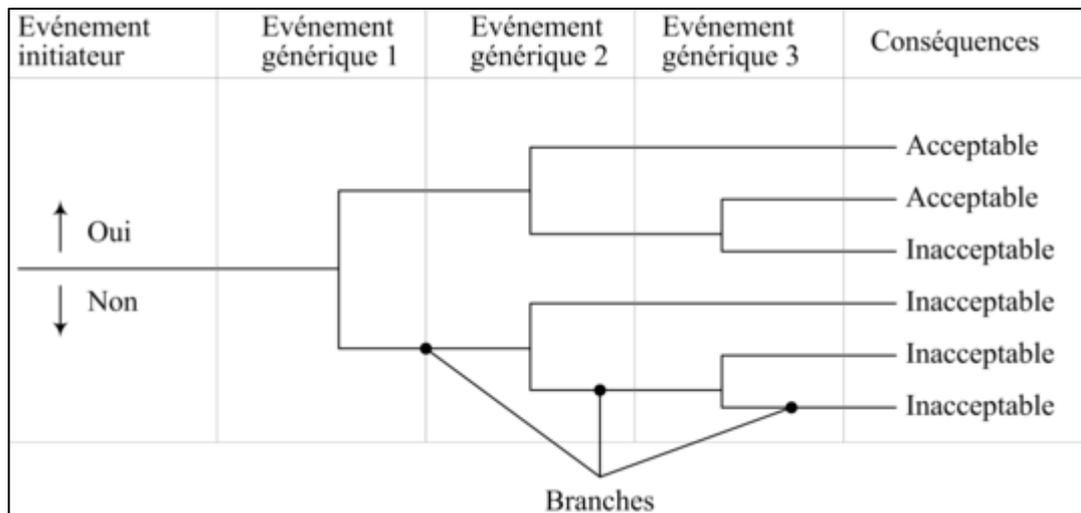


Figure 6: exemple d'arbre de conséquences

L'évaluation quantitative des arbres d'évènements est simple et rapide. Connaissant pour tous les événements les probabilités de se trouver dans une configuration échec ou défaillance, il est facile de calculer la probabilité d'apparition d'un des scénarios de défaillances.

Plus précisément, la méthode se déroule en six phases :

1. Identifier l'événement initiateur : ce peut être la défaillance d'un système, d'un sous-système, d'un composant,... ou un événement extérieur. On détermine ensuite quantitativement la fréquence d'apparition de cet événement.
2. Identifier les mécanismes de prévention, systèmes automatiques de sécurité, alarmes opérateurs, actions de l'opérateur, barrières de sécurité, etc. Leur efficacité s'évalue au travers d'une probabilité de succès / échec.
3. Construire l'arbre, de la gauche (événement initiateur) vers la droite (conséquences) en enchaînant les mécanismes de prévention représentés par des branches : branche supérieure pour le succès, branche inférieure pour l'échec. L'objectif en terme de finesse du niveau de conséquences intervient lors de cette phase :
 - a. On peut avoir un objectif limité aux questions de sécurité : possibilité d'accident grave (explosion par exemple) ou non ? ;
 - b. On peut avoir un objectif un peu plus détaillé : possibilité d'accident grave, production dégradée, production nominale et sans accident ;
 - c. On peut avoir un accident beaucoup plus détaillé : possibilité d'accident grave, possibilité d'accident bénin, arrêt de la production, perte de plus de 80% de la production, perte de 30 à 80% de la production, perte de production inférieure à 30%, retard supérieur à la journée, retard inférieur à la journée, production nominale, par exemple.
4. Estimer les probabilités de chaque branche.
5. Estimer les probabilités de chaque conséquence par combinaison des probabilités des branches.
6. Hiérarchiser les conséquences par probabilités.

Intérêts et limites :

Cette méthode est basée sur une démarche naturelle très facile à s'approprier. Cette méthode permet la recherche de tous les enchaînements d'événements (événements qui doivent être binaires : fonctionnement / panne). La qualité des conclusions dépend de la qualité et de l'exhaustivité de la liste des éléments et comportements potentiels du système pris en compte. Le chiffrage dépend de la disponibilité et de la précision des probabilités des alternatives élémentaires. Elle permet d'estimer l'influence d'un facteur en faisant varier sa probabilité de réalisation. Elle permet de suivre le déroulement d'un scénario accidentel et d'évaluer l'influence des barrières mis en œuvre sur la fréquence des conséquences.

Associée aux arbres de défaillance, elle permet de connaître le nombre d'événements intermédiaires indispensable pour conduire à l'événement redouté (coupe(s) minimale(s)).

Les facteurs d'aggravation peuvent se confondre avec des défaillances. La détermination des facteurs d'aggravation dépend fortement des connaissances de l'analyste. Elle ne permet cependant pas la prise en compte des opérations d'entretien (non chronologique, puisqu'une réparation conduit le système dans un état antérieur à l'état considéré).

5. Arbre des défaillances :

La méthode de l'Arbre des défaillances consiste à analyser et à représenter les causes ayant contribué à l'occurrence d'une défaillance en se basant généralement sur des retours d'expérience. L'arbre des causes est plutôt une méthode pour organiser les informations recueillies à propos d'une défaillance et donc l'analyser, qu'un guide pour recueillir les informations. Le caractère ordonné de la représentation en arbre peut attirer l'attention sur un trou dans les informations.

L'arbre des défaillances se focalise généralement sur la représentation de l'ensemble des combinaisons de causes d'un scénario de défaillance particulier afin d'expliquer la défaillance qui est apparue (contrairement à l'arbre de défaillance qui vise à rechercher l'ensemble des scénarios pouvant conduire à une défaillance). Les différences existant entre les trois arbres les plus couramment utilisés (arbre de défaillance, arbre des causes et arbre d'événement) sont détaillées ci-dessous.

Construction de l'arbre des événements :

On n'utilise généralement que deux symboles pour représenter un fait : le rectangle pour représenter un fait « normal » ; l'ellipse ou ovale ou cercle pour représenter un fait « anormal » ou « inhabituel ». Ces faits sont liés entre eux par des traits qui expriment la relation de cause à effet. Ces traits prennent deux formes : le trait qui relie deux faits ou enchaînement simple ; la fourche qui relie plusieurs faits d'un côté à un fait de l'autre.

La fourche peut, a priori, avoir deux sens : la conjonction : plusieurs faits-causes, ensemble, ont une conséquence ; la disjonction : un fait à plusieurs conséquences.

En général, seule la conjonction est utilisée dans les arbres de cause.

Par convention et par habitude, un arbre de causes est très souvent présenté horizontalement, le fait final étudié étant le plus à droite. La position d'un fait à droite ou à gauche par rapport à un autre n'a de signification que s'ils sont sur une même branche, reliés par une suite continue de traits de même sens (cause vers conséquence). Les positions relatives de deux faits de deux branches différentes n'ont aucune signification.

La première phase de la construction de l'arbre des causes consiste à définir la défaillance. La deuxième phase consiste à remonter pas à pas jusqu'aux causes d'origines. On cherche à chaque pas de construction à répondre à la question « Qu'a-t-il fallu pour que ... ? ».

On vérifie ensuite qu'on répond « non » à la question « Y a-t-il d'autres causes » et à la question « la défaillance que je cherche à expliquer aurait-elle cependant eu lieu si l'une des causes n'avait pas été réalisée ? ».

La construction de l'arbre s'arrête normalement quand on en est arrivé à des causes origines qui ne s'expliquent plus pour le système étudié (circonstances extérieures, hasards, ...).

Intérêts et limites :

Les principaux intérêts de cette méthode sont les suivants :

elle est simple à mettre en œuvre, elle favorise le caractère systématique de la recherche des événements (causes) et de leurs liens logiques, elle aide à mettre en évidence ce qui différencie le scénario étudié du scénario « normal » de référence, c'est-à-dire qu'elle fait la distinction entre les événements normaux et les événements anormaux, elle favorise la recherche et l'évaluation de mesures de prévention ou de protection destinées à éviter le retour de l'événement ou de ses conséquences fâcheuses.

Les principales limites de cette méthode sont les suivantes : elle ne permet pas une représentation chronologique des événements, il s'agit d'une méthode binaire, c'est-à-dire que les événements se produisent ou ne se produisent pas, il n'y a pas de stade intermédiaire, l'arbre des causes ne permet pas de distinguer la différence entre des combinaisons en « OU » et des combinaisons en « ET » entre les différents événements.

Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de reconnaître les méthodes les plus utilisées et employées par les installations et industriels dans les projets d'évaluation des risques de manière efficace et sûre, pour se prémunir des éventuels accidents et dangers par la mise en place des mesures de sécurité prévention/protection et intervention.

Suite à cette brochure, on va présenter un logiciel, qui est un outil largement utilisé et efficace dans le domaine de la modélisation des effets et dommage des phénomènes dangereux, avec lequel on va déterminer le seuil des effets et les conséquences résultants d'une explosion dans un milieu donné.

6. logiciel de simulation de la dispersion (Annexe 2)

PHAST (Process Hazard Analysis software tool) qui peut se traduire par Outil logiciel d'analyse de risque de procédé, est le plus connu et compréhensif des logiciel d'analyse de risques de procédé dans le monde. PHAST examine la progression d'un accident potentiel depuis la libération de l'énergie jusqu'au plus loin point de dispersion utilisant des modèles d'épandage et évaporation de fluides d'un réservoir, et les effets inflammables et toxiques des substances et des gaz.

L'outil d'analyse des conséquences est pris comme standard industriel d'analyse des risques d'inflammabilité, incendie, explosion et toxicité, et est utilisé par près de 800 organisations dans le monde, ce logiciel est développé continuellement depuis 30 ans.

Pour atteindre les objectifs de la gestion des risques, il faut avoir une connaissance approfondie des dangers présents dans l'installation, le PHAST est l'outil rapide et précis dans l'évaluation des menaces et phénomènes dangereux générés par les différents types de danger.

Le PHAST est un outil important qui facilite et aide à mettre au point un ensemble d'équations ou de règles pour décrire un phénomène de façon reproductible et simulable, surtout pour le cas de rejets perturbant l'écoulement atmosphérique, de plus de son large bibliothèque d'information et cas traités.

CHAPITRE III:

Présentation de la centrale électrique EL-HAMMA II

I. La Centrale turbine à gaz Production Electrique EL HAMMA II:

II. Présentation de la centrale (Mizehri, 2012/2013):

La centrale électrique El-Hamma II est Située au cœur d'Alger, à quelques mètres de la côte, elle a été conçue dans le but de garantir à la capitale l'alimentation en énergie électrique.

Elle se trouve au Sud-Sud-Est du centre d'Alger dans le quartier du HAMMA, entre la rue Hassiba Ben Bouali et la voie ferrée qui relie ALGER à Hussein Dey.



Figure 7 : vue sur la station d'El-Hamma au cœur d'Alger.

EL HAMMA II a été mise en service en 2002 par le constructeur italien ANSALDO, Elle est équipé de deux groupes turbine à gaz identique, d'une puissance 209MW chacun et d'un poste d'évacuation de 220KV. Elle peut fonctionner selon deux combustibles : le gaz naturel comme combustible principale et le fuel (gasoil) comme combustible de secours.

Les deux groupe sont installés dans une enceinte et placés dans une salle de machines commune. Cette salle est l'une des répartitions de la centrale EL HAMMA II qui occupe avec son bâtiment administratif, ses ateliers, ses installations anti-incendie, les bacs à fuel et les aéro-réfrigérants des alternateurs, un emplacement de deux hectares.

Aujourd'hui, le groupement TG/centre, est l'un des plus grands groupements de production de l'énergie électrique basée sur des turbines à gaz qui transforme l'énergie thermique en énergie électrique.

Plan de situation :

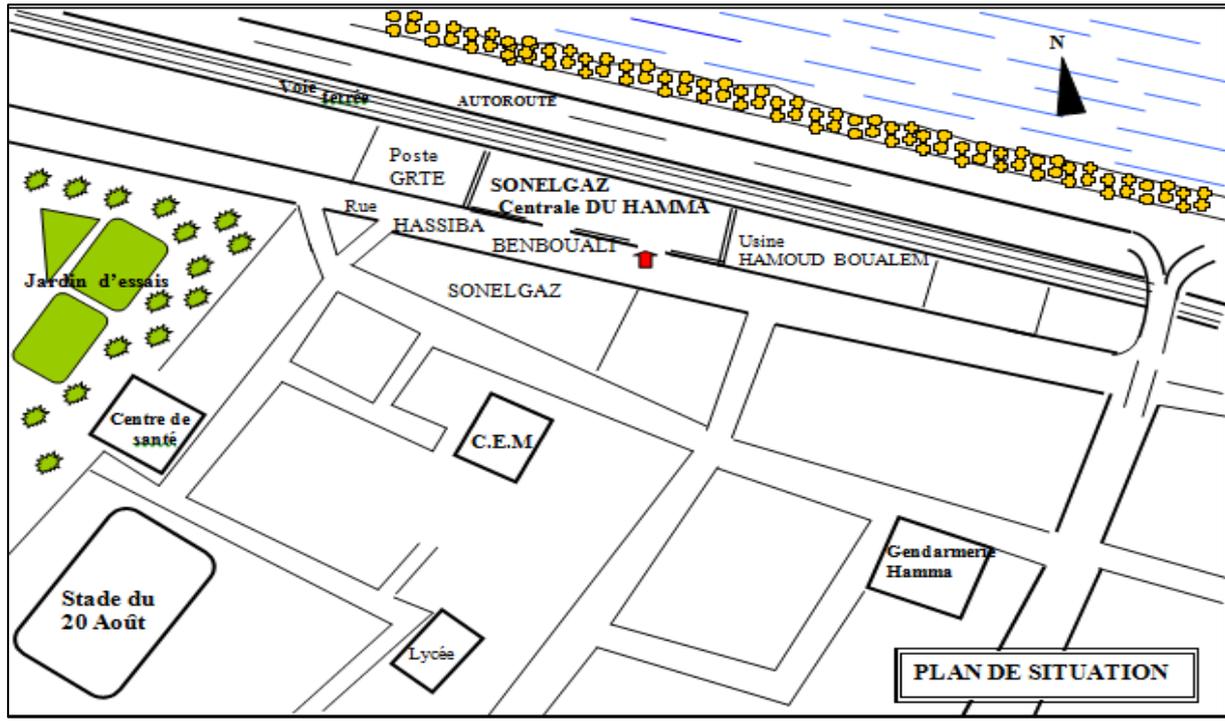


Figure 8 : Plan de situation.

Plan de masse :

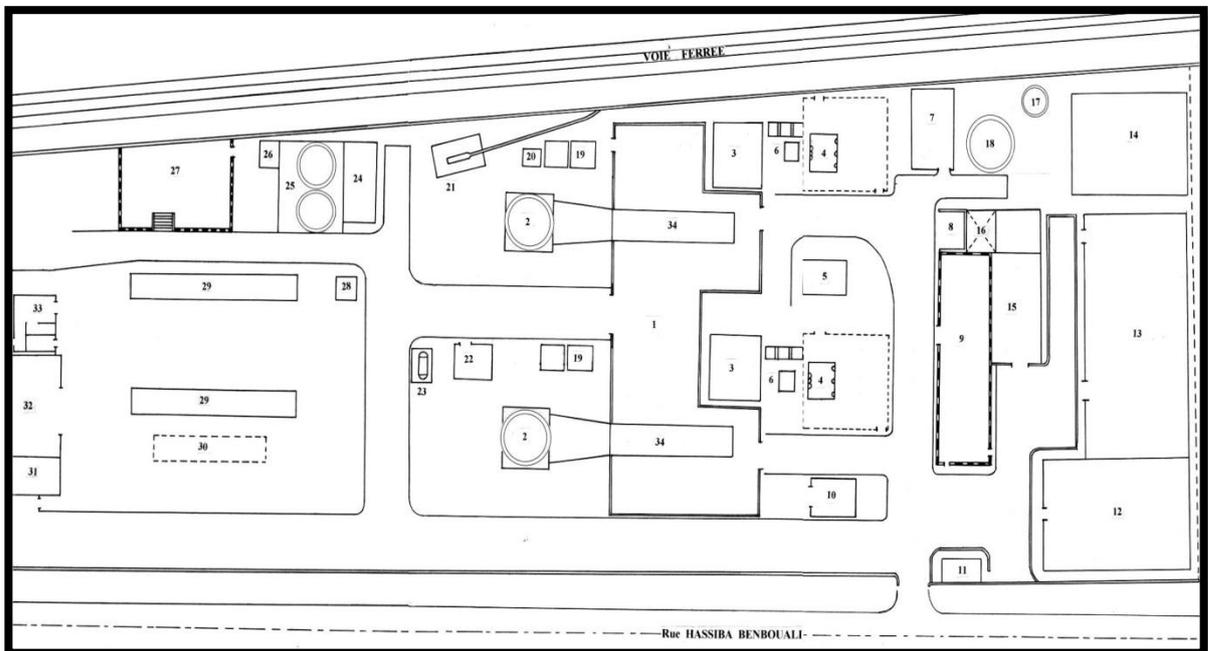


Figure 9 : Plan de masse.

I2. Principales parties constitutives :

Les principales parties constitutives de cette centrale sont :

- **salle des machines** : où sont logés les alternateurs, les turbines à gaz et les différents auxiliaires de la turbine à gaz.
- **les systèmes principaux de la turbine à gaz** :
 - le système gaz naturel.
 - le système gasoil
 - le système d'aspiration et échappement
 - le système de refroidissement turbine à gaz et alternateur.
 - le système air comprimé.
 - le système de ventilation et de climatisation.
 - le système de graissage.
 - le système stockage de gaz H₂/CO₂.
- **Auxiliaires généraux** :
 - poste gaz.
 - poste fuel.
 - groupe diesel et aéro-réfrigérant.
 - source d'alimentation du courant continu.
 - ventilation et climatisation.
 - Eclairage.
 - système de drainage huileux et chimique.
 - système anti-incendie.
 - Eau sanitaire.
- **Le système électrique HT** : Il assure la liaison entre groupes générateurs et le réseau de distribution. Ce système est constitué essentiellement de :
 - Transformateurs élévateurs de tension de puissance nominale ajustable.
 - Des arrivées de l'alternateur en gaine coaxiales comportant des disjoncteurs et sectionneurs de coupure.
 - Des départs comportant également des disjoncteurs et des sectionneurs.
- **La salle de commande** : c'est le cerveau de la centrale, car au niveau de ce point centralisé sont disponibles toutes les commandes, les indications et les informations qui doivent favoriser :
 - la surveillance des états et paramètres.
 - La rapidité et la sécurité des actions.
 - La détection des anomalies.

- L'élimination des défauts.
- L'optimisation des réglages.

I3. Installation et équipements de la centrale :

a. La turbine à gaz V94.3A :

Description : la turbine à gaz se comporte des principales composantes suivantes :

- Alternateur.
- Arbre intermédiaire.
- Compresseur.
- Chambre de combustion.
- Turbine.

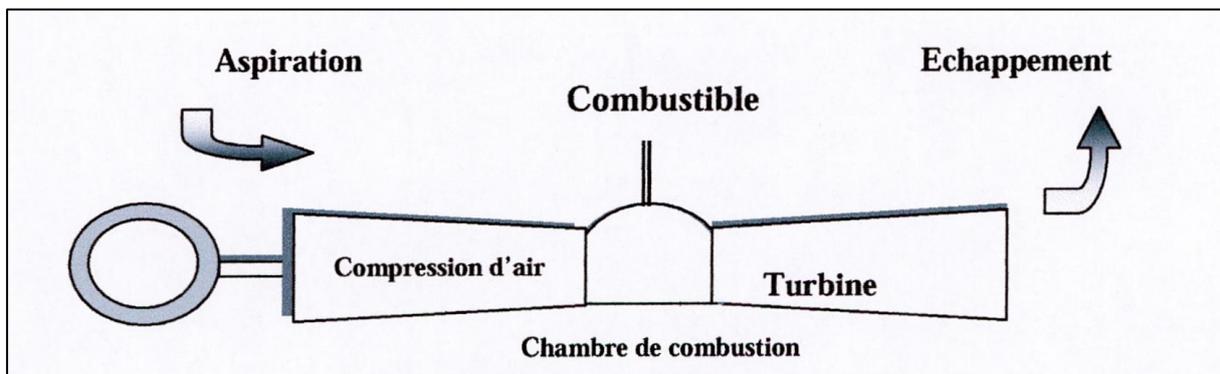


Figure 10 : Schéma de principe de la turbine.

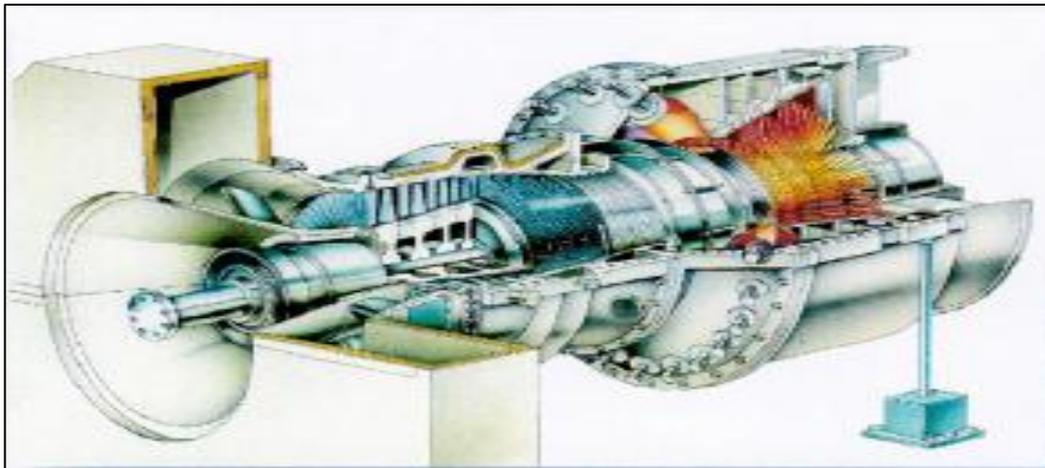


Figure 11 : Turbine à gaz.

Les turbines à gaz sont des machines à un seul arbre. Elles peuvent fonctionner des générateurs dans des centrales à la charge de base et à la charge de crête.

Le compresseur et la turbines ont un rotor commun. Celui-ci est supporté seulement par deux paliers positionnés à l'extérieur de la zone pressurisée.

Le compresseur :

Il est composé de dix-sept étages (16 étages et 01 IGV) et permet de refouler l'air à une pression entre 10 et 16 bars.



Figure 12: Les étages du compresseur.

L'air à la pression atmosphérique et la température ambiante, aspiré à travers le système d'aspiration passe par les 17 étages composés d'aubes de compresseur afin d'arriver à la chambre de combustion.

La chambre de combustion :

La chambre de combustion est conçue de façon à garantir le bon déroulement de la combustion à la présence de l'air du combustible. Elle est équipée de 24 brûleurs hybrides répartis uniformément sur son périmètre afin de garantir une zone de température homogène. Cette structure produit une température relativement uniforme en amont de la turbine.

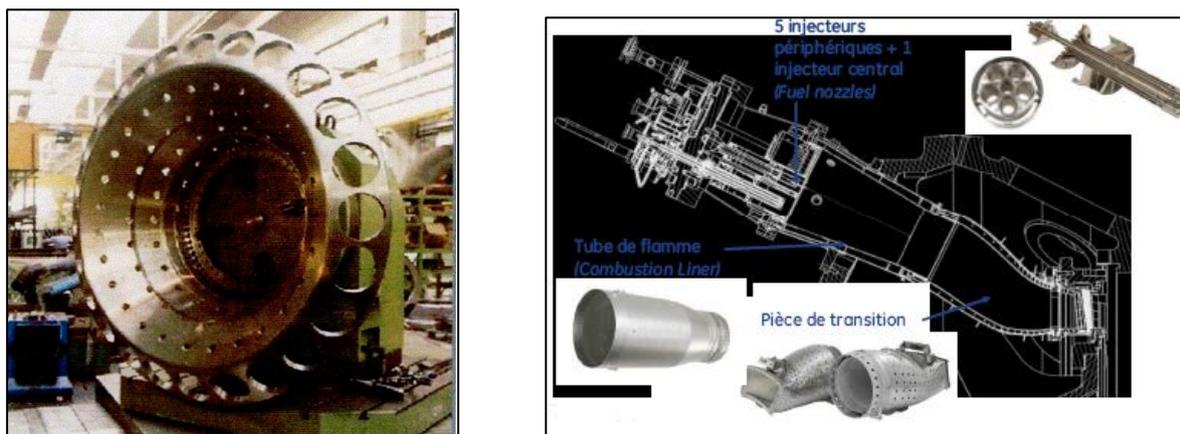


Figure 13 : la chambre de combustion et les brûleurs.

Les brûleurs hybrides sont faits de plusieurs injecteurs dans le but de réaliser des réactions optimales, provoquant plus d'énergie et moins de pollution.

b. Mode de fonctionnement de la turbine à gaz V94.3A

Le système de prise d'air fourni l'air filtré au compresseur de la turbine à gaz. L'air atmosphérique entre dans la chambre de filtration, ensuite passe par le dispositif silencieux, le coude, la conduite verticale pour arriver à l'entrées du compresseur filtré de toute impuretés.

Le compresseur comprime l'air à pression atmosphérique pour atteindre une certaine pression (16 bars) qui arrive à la chambre de combustion.

La chambre de combustion est équipée de 24 bruleurs répartie uniformément sur son périmètre afin d'assurer une zone de température homogène dans la chambre de combustion.

Le combustible et l'air comprimé avec une étincelle cause une combustion qui va donner une énergie thermique.

Les gaz issus de la chambre de combustion se détendent dans la turbine à quatre étages.

La turbine est une machine tournante, son rôle est de produire de l'énergie mécanique (rotation d'arbre) à partir de l'énergie contenue dans un hydrocarbure.

Cette opération est suivie par la création d'une grande quantité d'énergie mécanique faisant entraîner le rotor de la turbine à gaz et donc l'arbre du turboalternateur.

Les gaz chauds sortant de la turbine vont être conduits vers la cheminée d'évacuation à une température environs 570 °C.

L'arbre de la turbine est couplé avec l'alternateur, qui est une machine synchrone fonctionnant comme toutes les machines synchrones à une vitesse dépendante du champ magnétique tournant et du nombre de pôles entraînés par une turbine à gaz.

C'est à travers cet alternateur que se produira l'électricité.

c. Systèmes de la turbine à gaz V94.3A**1. Système anti pompage du compresseur :**

Le système axial de la turbine à gaz est projeté pour fonctionner à la vitesse nominale du générateur de la turbine. Au cours du fonctionnement, la vitesse doit rester inférieure à une tolérance établie par rapport à la vitesse du projet. Par des vitesses inférieures à la plage admissible, les étages frontaux de compresseur seraient chargés d'une manière aérodynamique si haute que les flux d'air se sépareraient à la surface des palettes du compresseur suite à la déclaration excessive.

Comme résultat, les étages des compresseurs surchargés ne sont plus aptes à générer l'augmentation nécessaire de la pression, le compresseur oscille et les flux d'air deviennent instables.

La chute des flux cause un flux périodique inverse, étant caractérisé en apparence par des oscillations périodiques et prononcées de la pression à l'étage final du compresseur, de même que par une importante vibration du générateur de la turbine et par un bruit pulsant, synchrone avec fluctuations. Cela met en danger les palettes du compresseur, étant soumises soit à des fortes contraintes de flexion alternées qu'à des hautes températures.

Car la turbine doit fonctionner par les plages de vitesse non acceptables dont au-dessous au cours du démarrage et de l'arrêt, l'air doit être dégagé à partir de positions sélectionnées du compresseur de manière à empêcher l'oscillation du compresseur. Le refoulement au-dessous de la fréquence (au cours duquel la vitesse de la turbine aussi descend au-dessous de la vitesse nominale). Les soupapes de purge sont donc ouvertes alors que la vitesse descend au-dessous de la limite déterminée.

2. Système de lavage compresseur :

Ce système est utilisé pour l'alimentation de dépôts de l'aubage du compresseur par un fluide de nettoyage et donc pour un rinçage du compresseur par de l'eau déminéralisée. Les résidus sur palettes réduisent l'efficacité de la production de l'installation. Le nettoyage des palettes est nécessaire car les filtres de la structure de prise n'éliminent que les particules grossières.

Les turbines de la centrale d'El HAMMA II sont équipées, en tant que configuration standard, par un système de nettoyage des aubes pouvant être mis en fonction :

- **Lavage en ligne :**

Ce lavage s'exécute à la vitesse de fonctionnement, on n'utilise que l'eau déminéralisée.

- **Lavage hors ligne :**

Ce lavage s'exécute avec le convertisseur de démarrage puisque la turbine à gaz est en arrêt. On utilise une solution de lavage avec de l'eau déminéralisée.

3. Système de drainage :

La solution de nettoyage pulvérisée dans le compresseur de la turbine au cours des opérations de nettoyage est collectée dans plusieurs endroits dans la turbine à gaz. Ce liquide est éliminé par le système de drainage avant le nouveau démarrage de la turbine.

4. Système du gaz combustible (Sonalgaz Production Electricque SPE.Spa, 2008) :

Ce système a comme but l'alimentation de la centrale en gaz naturel provenant de Hassi-R'Mel. C'est le système principal utilisé dans cette centrale. L'ensemble du poste gaz de détente, les réchauffeurs, le skid de séparation et de filtration et le skid de comptage sont montés sur une plate-forme en béton :



Figure 14 : Le système d'alimentation en gaz.

Caractéristiques principales :

Débit poste de détente	120.000 m ³ h ⁻¹
Pression amont détente	35/70 Bar
Pression aval détente	30/32 Bar
Nombre de ligne total	4
Nombre ligne détente par turbine	1
Débit maximal par ligne	1
Nombre de réchauffeurs du gaz par turbine	2 (1 en service, 1 en stand-by).

Les éléments principaux sont : (Schéma en annexe1)

- Réservoir condensat.
- Séparateur primaire (026).
- Filtre à gaz. (à cartouche G6).
- Système de comptage du gaz.
- Réchauffeur.
- Quatre de ligne de détente (Rampes) avec chacune un réducteur primaire, Monitor et un séparateur final.

5. Système de l'huile combustible (gasoil) :

Ce système huile combustible (gasoil) est un système de secours, il fournit l'huile combustible aux bruleurs et contrôle le volume de combustible injecté dans la chambre de combustion. Au cours de l'arrêt, il arrête de manière stable et fiable le débit de l'huile combustible.

Comme le système gaz combustible, le système de l'huile combustible alimente les centrales (les deux groupes) selon deux modes :

- **Mode diffusion :**

Quand la température d'échappement mesurée par les thermocouples placé dans l'échappement est inférieure à 430°C, la soupape de la ligne de diffusion s'ouvre.

- **Mode pré mixte :**

Quand la température d'échappement mesurée par les thermocouples est supérieure à 480°C, la soupape de la ligne pré mixte s'ouvre (la soupape de la ligne de diffusion reste ouverte).

Quant à la ligne de retour, elle permet le retour de l'huile combustible non-brulée. Suite à des raisons techniques, seulement une partie de l'huile brule et une autre partie peut rester dans la chambre de combustion et cela va laisser des résidus sur les palettes puisque le combustible est liquide, ce qui réduit l'efficacité et la production de l'installation, donc cette ligne de retour garantie le retour de l'huile combustible restant dans la chambre de combustion précisément dans les bruleurs.

6. Système de l'eau « purging » :

Le système d'épuration de l'eau a la fonction de débiter une quantité d'eau (déméralisée) suffisante pour plusieurs buts. L'épuration nettoie les bruleurs et empêche la cokéfaction due aux résidus de l'huile.

L'eau épurée est aussi utilisée pour les procédures de refroidissement et de nourrissage des différents systèmes de l'huile combustible. L'eau épurée est employée alors que le système de pré mixage ou de diffusion huile combustible sont arrêtés.*

7. Système air étanchéité pour les bruleurs :

Un flux d'air d'échappement refroidi activement est alimenté à travers les lances du brûleur de manière à empêcher le surchauffe des extrémités des bruleurs huile combustible et donc les fuites elles-mêmes.

L'air de décharge du compresseur est utilisé en tant que air de protection étanche. L'air servi à ce but est extrait de l'échappement du compresseur et passé moyennement un tuyau à travers l'échangeur de chaleur.

Ce système empêche le passage du gaz naturel dans la ligne de l'huile combustible au niveau des bruleurs dans le cas du fonctionnement à gaz naturel. Dans l'autre cas (fonctionnement à huile combustible), ce système empêche le passage de l'huile combustible dans les lignes du gaz naturel.

8. Système de refroidissement :

Refroidissement de la turbine :

Le système de refroidissement de la turbine refroidit le rotor et l'aubage de la turbine sans faire appel à un système de refroidissement externe. L'aubage de la turbine doit être refroidi afin d'éviter un dépassement de températures admissibles des matériaux.

- **1^{er} étage :**

L'air de refroidissement destiné au 1^{er} étage de la turbine est soutiré à l'échappement du compresseur.

- **2^{ème} étage :**

L'air de refroidissement destiné au 2^{ème} étage d'aubes fixes de la turbine est soutiré du 15^{ème} étage du compresseur.

Les aubes mobiles sont refroidies par de l'air soutiré en aval du 14^{ème} étage du compresseur.

- **3^{ème} étage :**

Les aubes du 3^{ème} étage sont refroidies de la même manière que celles du 2^{ème} étage.

- **4^{ème} étage :**

Une simple conduite amène l'air soutiré du 5^{ème} étage du compresseur à l'enveloppe de la turbine.

L'air de refroidissement sert aussi d'air de barrage et empêche les gaz chauds de pénétrer dans les parties creuses de l'enveloppe de la turbine.

Refroidissement de l'alternateur :

Lors du fonctionnement du générateur il se chauffe selon la puissance fournie au réseau. Il existe plusieurs causes de l'échauffement : les pertes par frottements dans le palier et entre les balais et les bagues, résistance à la rotation du rotor dans le fluide de refroidissement...etc.

Pour ne pas atteindre des températures qui ne peuvent qu'endommager le bobinage on utilise un circuit appelé « circuit de refroidissement » entraînant un fluide (air, eau, hydrogène).

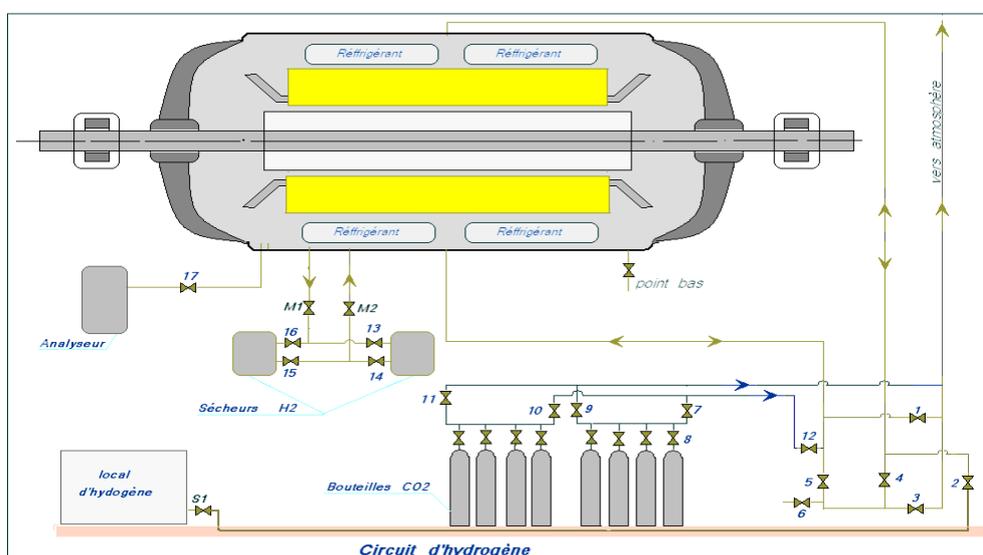


Figure 15 : circuit de refroidissement de l'alternateur.

Une unité standard à gaz est employée sur les générateurs. Tous les composants de l'unité sont montés sur un traîneau et relié par une tuyauterie à la fourniture du gaz et au générateur. L'unité avec gaz a pour but de maintenir automatiquement la pression requise de l'hydrogène ainsi que sa pureté pendant le fonctionnement.

On refroidit l'hydrogène par l'eau déminéralisée dans des aéro-réfrigérants. Quand l'eau traverse l'échangeur, elle absorbe la chaleur de l'hydrogène qui reçoit la fraîcheur et la transmet au générateur. Au moment où le générateur doit être vidangé de l'hydrogène lors d'une révision, ce dernier est tout d'abord chassé par CO₂ et ensuite le CO₂ est chassé par l'air.

L'emploi du CO₂ vise à éviter, à tout moment, la formation des hydrogène-air qui pourrait exploser pendant le remplissage ou lors de la vidange.

9. Système d'aspiration :

Le système d'admission pourvoit à l'envoi de l'air d'entrée, après son filtrage à un degré spécifique de pureté, au compresseur pour l'utilisation.

L'air en entrée pénètre dans la chambre de filtration et après cela, le dispositif silencieux, le coude, la conduite verticale et le soufflant jusqu'à l'arrivée à l'admission du compresseur.

Un dessécheur d'air a été intégré dans le système de l'air d'admission où sa fonction consiste à réduire l'humidité d'air pendant une longue période d'inactivité de la turbine.

La section de filtration se compose de trois étages :

- Pré filtres haute capacité.
- Tampons filtres/coalescences.
- Filtres haute efficacité/ fins.

10. Système de l'ensemble du gaz d'allumage :

La turbine à gaz peut fonctionner en utilisant deux combustibles :

Si on utilise le gaz naturel, les brûleurs seront alimentés par du gaz naturel obtenu de ligne d'alimentation principale lors du démarrage

11. Système d'échappement :

Ce système a pour but de mener le gaz chaud à la cheminée d'évacuation.

En aval de la turbine il y a un ensemble de six thermocouples situés entre le diffuseur et le joint d'expansion, ils sont utilisés pour évaluer les prestations de la turbine à gaz lors de la mise en service.

12. Système de l'huile de graissage :

Ce système alimente au palier du compresseur et au palier de la turbine, de même que les paliers des deux générateurs. D'une part, il garantit que le film d'huile se forme dans les paliers pour séparer les arbres de rotation des crapaudines des roulements et donc puisse minimiser la friction. D'autre part, le flux d'huile refroidit les roulements. Et en outre, toute particule ou contaminant solide contenu dans l'huile est rejeté des roulements et éliminé par filtrage dans un autre endroit du système de l'huile de lubrification.

Pour augmenter la pression de l'huile de lubrification jusqu'au niveau demandé pour l'alimentation aux roulements, sont prévues plusieurs pompes. La pompe principale de l'huile alimente l'huile aux roulements au cours du fonctionnement normal. Les autres pompes sont : la pompe auxiliaire, d'un projet identique à celui de la pompe principale. Et la pompe d'urgence légèrement plus petite et commandée par un moteur CC (courant continu).

13. Système de l'huile hydraulique :

Ce système est utilisé pour positionner les disques des soupapes du combustible et pour ouvrir les soupapes d'arrêt d'urgence.

L'unité d'alimentation d'huile hydraulique a pour but d'alimenter l'huile hydraulique nécessaire au fonctionnement des commandes des soupapes à la pression souhaitée, dans une quantité suffisante, à la température optimale et dans des conditions de propreté adéquates.

d. L'alternateur :

L'alternateur joue un rôle important dans la production de l'énergie électrique, c'est une machine synchrone fonctionnant à une vitesse dépendante du champ magnétique tournant et du nombre de pôles entraînés par une turbine à gaz.

C'est l'élément responsable de la transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique. L'excitation de l'alternateur s'effectue par une excitatrice statique.

L'alternateur devient moteur lorsqu'il est alimenté en courant alternatif via le convertisseur de démarrage. Il fonctionne selon deux phases :

- **Phase 01**

C'est la phase de démarrage, dans ce cas l'alternateur fonctionne en mode moteur, il est alimenté en courant alternatif. Il reste ainsi jusqu'à la vitesse sous tension, après cela le convertisseur de démarrage de désengage :

- **Phase 02**

Après le désengagement du convertisseur de démarrage, l'excitatrice entre en fonctionnement, elle alimente le rotor de l'alternateur en courant continue ce qui permet de générer du courant alternatif aux bornes de l'alternateur.

e. Les transformateurs :

C'est une machine statique à induction servant à transformer un courant alternatif en un autre système d'intensité et de tensions différentes.

Le transformateur de puissance est un transformateur élévateur de tension qui sert à transmettre l'énergie produite par l'alternateur au réseau 225KV.



Figure 16 : Le transformateur.

Les bobines des transformateurs sont constituées par du fil rond isolé et séparées par des isolants.

Lors du fonctionnement normal d'un transformateur, des pertes par effet Joule et par courant de Foucault sont toujours constatées, elles tendent à enlever sa température. Afin de maintenir cette dernière en dessous d'une valeur dangereuse, un système de refroidissement est associé à chaque transformateur selon sa puissance.

Le principe de fonctionnement des transformateurs se base sur l'emploi de plusieurs bobines sur un même circuit magnétique. Lorsque les bornes primaires, sont reliées à une source de courant alternatif, elles créent dans le noyau du circuit magnétique un flux alternatif dont les variations provoquent dans les bobines secondaire une force électromotrice d'induction alternative de même fréquence que celle du courant d'alimentation.

Les différents transformateurs disponibles au niveau de la centrale sont :

- transformateur de soutirage.
- Transformateur de réseau
- Transformateur d'excitation.
- Transformateur du démarrage.
- Transformateurs auxiliaires généraux.

f. Le vireur :

Son rôle est de faire tourner le rotor de la turbine à gaz après la mise à l'arrêt pour éviter l'échauffement des paliers, ainsi que la déformation de l'arbre à cause d'un refroidissement inégal. Pour cela, le vireur assure une vitesse minimale de l'arbre à 120 tr/min. il faut aussi faire tourner l'arbre par le vireur après un arrêt total de la turbine à gaz avant la mise en marche.

Le vireur fonctionne avec de l'huile de graissage fournie par la pompe de soulèvement.

g. Le convertisseur de démarrage :

Pour démarrer le groupe il faut faire tourner l'arbre à 3000 tr/min et l'alternateur devient moteur. Sans oublier que lors du démarrage on a une insuffisance d'air et de combustible. Pour cela, le convertisseur de démarrage va assurer la rotation de l'arbre à 2100 tr/min, à ce moment-là, l'alternateur redevient générateur et la turbine poursuit elle-même son accélération jusqu'à la vitesse de synchronisation, et y'aura suffisamment de l'air pour la combustion. La synchronisation automatique avec le réseau électrique stable est possible en 20 secondes.

h. Les systèmes de contrôle-commande de la centrale :

- La salle de commande :

Tous les équipements de la centrale d'El HAMMA II sont commandés et supervisés par la salle de commande, au niveau duquel toutes les commandes sont centralisées.

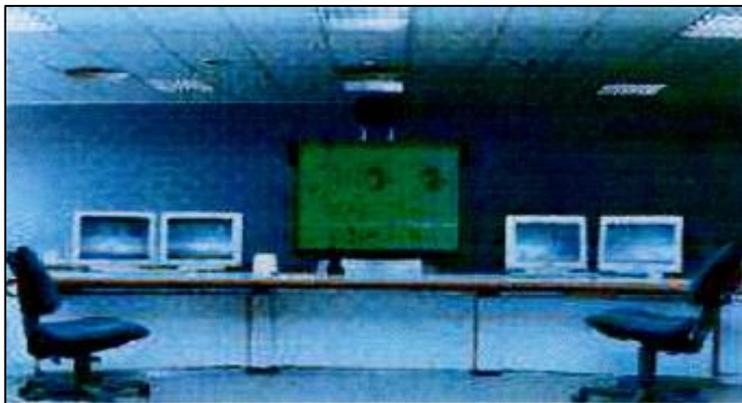


Figure 17 : La salle de commande.

Le travail dans cette salle se fait par groupe, ce qui permet d'assurer la bonne surveillance des états et des paramètres, ainsi que l'optimisation des réglages, la rapidité et la sécurité des actions, elle permet aussi la détection des anomalies et l'élimination des défauts.

- Poste contrôle commande :

C'est un poste qui contient tous les éléments électriques et les commandes de démarrage de toutes les machines dans la centrale, au fonctionnement normal et à l'arrêt de sécurité des turbines à gaz. C'est un lien entre la salle de commandes et les différents équipements de la turbine à gaz.

i. Alimentation des auxiliaires de la centrale :

Une partie de l'énergie produite destinée à l'alimentation des auxiliaires de chaque groupe, pendant le fonctionnement normal, est fournie par le transformateur du groupe auxiliaire.

La distribution d'électricité aux auxiliaires de la centrale est composée de deux systèmes principaux:

- **Système alimentation courant alternatif** : est composé d'un niveau de tension moyenne et d'un niveau de basse tension.
- **Système alimentation courant continu** : qui est composé de batterie, chargeur de batterie et panneaux de distribution.

j. Le système électrique HT :

Le système électrique fournit une continuité maximum de service et aussi pour assurer le fonctionnement de l'équipement essentiel de la station en condition d'urgence.

Il assure la liaison entre les groupes générateurs et le réseau de distribution.

Ce système consiste essentiellement en :

- Deux transformateurs élévateurs de tension de puissance nominale ajustable.
- Des arrivées de l'alternateur en gaines coaxiales comportant des disjoncteur et sectionneurs de coupure.
- Des départs comportant également des disjoncteurs et des sectionneurs.

k. Le diesel de secours :

Le groupe diesel est un ensemble de machine destinées à produire l'énergie électrique indispensable au lancement d'un des groupes de la centrale et à l'alimentation de ses auxiliaires généraux assurant la bonne marche de la centrale durant toute cette phase.

Conclusion :

La centrale turbine à gaz d'El HAMMA II est l'une des sites industriels de production de l'énergie électrique les plus importants en Algérie.

On a vu la complexité des systèmes de fonctionnement et les différentes matières dangereuses utilisées à l'image du gaz naturel, l'hydrogène, le fuel, l'acide pour les batteries etc... de plus, il est certain qu'une installation ayant comme machine principale la turbine, est entourée de plusieurs risques surtout que sa vitesse de rotation dépasse les 3000 tour/mn est ayant comme combustible le gaz ou le fuel (secours), et ayant comme fluide de refroidissement l'hydrogène, circulant dans conduites en grande pression, et suivant des chemins complexes.

Il en ressort le besoin est de faire une analyse des risques, pour cibler les lieux de dangers et de faille, pour être un outil d'aide à la gestion de ces risques pour prévenir des accidents pouvant être fatale à l'installation et l'entreprise.

Chapitre IV :
Evaluation du risque d'explosion.

Introduction :

Les risques d'explosion de gaz doivent être analysés dans les installations de stockage (poste-gaz, stockage d'hydrogène), de transport en canalisation (circuit de refroidissement de l'alternateur, alimentation en gaz combustible), de combustion (chambre de combustion), cette analyse devra préciser la possibilité qu'une atmosphère explosive se forme, dans un endroit donné, dans des conditions normales ou accidentelles (défaillances, fuites, corrosion).

La méthodologie générale d'une analyse de risque en premier est de définir le système et ses risques, la collecte des informations et la connaissance des fonctions du système constituant une étape primordiale pour déterminer les modes de défaillances et déviations possibles, les éléments dangereux et les conséquences sur le système et son l'environnement. L'analyse de ce système et les méthodes utilisées se divisent en deux :

- Qualitatives : classement des évènements selon leur importance relative et leur modes d'apparition.
- Quantitatives : avec l'attribution de probabilités d'occurrence et la quantification du degré de criticité.

Les méthodes utilisées dans ce travail sont les plus connues et les plus utilisées dans le domaine d'analyse et évaluation du risque, **elles sont appliquées de façon combinée**, les résultats d'une méthode vont être utilisés comme données de base pour la méthode suivant, l'étude ou l'analyse du risque commence par ici :

I. Analyse Préliminaire des Risques :

L'APR comme son nom l'indique « préliminaire », permet de faire un examen rapide des situations dangereuses, et de cibler les installations et locales qui comporte un potentiel de danger, elle est faite au début d'une étude d'analyse pour constituer une plateforme d'aide à d'autres études plus fine.

Le déroulement de cette méthode se fait comme suit :

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

Installation où équipement	Situations de danger	Causes	Conséquences	Sécurité existante
Poste gaz	- Fuite de gaz	<ul style="list-style-type: none"> - Corrosion. - Défaut d'étanchéité. - Erreur humaine. - Acte de sabotage. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incendie. - Explosion 	<ul style="list-style-type: none"> -Détecteur de GAZ. -Protection cathodique. -Mise à la terre.
	- Détente accidentelle.		<ul style="list-style-type: none"> - gelure 	<ul style="list-style-type: none"> -Matériel anti déflagrant (ADE). -Caméras de surveillance. -Habilitation des agents.
Poste fuel (diesel)	- fuite d'une quantité chauffée.	<ul style="list-style-type: none"> - Corrosion. - Défaut d'étanchéité. - Travaux de maintenance. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incendie. - Pollution du sol. - Emanation de fumée toxique. 	<ul style="list-style-type: none"> -Rétention étanche. -Moyens de détection. -Moyens d'extinction (déluge, extincteurs, - mousse).
Huiles hydraulique (graissage)	<ul style="list-style-type: none"> - Fuite d'huile chaude sous pression. - Dégagement accidentel. - Combustion incomplète. 	<ul style="list-style-type: none"> - Usure du fût. - Corrosion. - Choc sur le fût. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incendie. - Dégagement de gaz toxiques (CO, CO₂, H₂S). - Irritation voie respiratoire. - Lésions cutanées. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle des lieux. - Maintenance périodique.

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

Na OH	<ul style="list-style-type: none"> - Réaction avec l'eau ou milieu humide. - Dégagement de chaleur. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ouverture accidentelle. - Milieu humide. 	<p>Incendie. Lésions caustiques. Provoquer un incendie des matériaux combustibles.</p>	
-Turbine -TG mobiles	Défaut d'allumage dans la chambre de combustion. Inflammation du nuage de gaz.	<ul style="list-style-type: none"> - Défaut d'allumage. - Erreur humaine. - Présence d'une source d'ignition. 	<ul style="list-style-type: none"> - Explosion. - Jet de flamme. - Effet thermique. - Effet de surpression 	
Local des batteries	<ul style="list-style-type: none"> - Fuite d'acide. - Déversement d'acide. - émanation d'H₂ 	<ul style="list-style-type: none"> - Corrosion. - Usure des batteries. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution. - Lésion des voies respiratoires. 	
Transformateurs	<ul style="list-style-type: none"> - Fuite d'huile. - Ignition. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvais serrage. - Corrosion. - Vibrations. - Haute température. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incendie. - Pollution du sol. 	
Stockage d'hydrogène	Formation d'un nuage d'H ₂ .	<ul style="list-style-type: none"> - Corrosion. 	<ul style="list-style-type: none"> - Explosion. - Rayonnement thermique. - Effet de surpression. 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Présence source d'ignition. 	<ul style="list-style-type: none"> - Court-circuit. - Foudre. - Travaux de maintenance. 		

Conclusion de l'analyse préliminaire des risques :

L'étude qui a été faite a montré que le pratiquement tous les postes ou toutes les salles ont leur propres risques, et que ça requiert plusieurs moyens de prévention/protection et une amélioration de la politique sécurité, pour maîtriser ces risques.

L'étude a montré aussi que les poste suivants : poste gaz, salle des machines, le stockage et le circuit d'hydrogène possèdent le plus grand nombre de risque, mis à part leur importance, c'est des parties essentielles dans l'installation, les dégâts que peuvent avoir lieu ont un impact néfaste sur les humains et sur l'unité.

Par la suite, le risque d'explosion réside beaucoup plus dans le poste gaz, lors des différentes opérations de traitement du méthane : séparation primaire et finale des condensats et des impuretés, filtration, réchauffage, détente, Et tout le matériel et équipement qu'on utilise, ainsi que dans la chambre de stockage et circuit d'hydrogène qui fait refroidir l'alternateur.

C'est deux poste requiert une plus fine de sources de danger et de risque afin de venir à bout de l'évaluation et la maîtrise des risque ; l'étude HAZOP s'avère nécessaire pour un tel besoin ou l'utilisation des déviations des paramètres telles que : pression, température, débit, composition nous permet de voir quelles sont les causes et conséquences de tels phénomène.

II. Etude HAZOP :

Introduction :

L'étude détaillée pour compléter l'évaluation du risque d'explosion va être faite avec de la méthode HAZOP qui est une étude plus fine, plus concrète, qui se base sur l'analyse précédemment faite dans l'APR, et emploie des termes qui aident à bien décortiquer l'installation pour trouver le plus de problèmes ou risques possibles dans le milieu de travail.

Les termes employés sont la combinaison entre paramètres et déviations.

Chaque cas ou chaque partie de l'installation est traitée différemment, et l'on a attribué des paramètres et déviations propres à l'équipement et au fluide donné ; par exemple les paramètres choisies pour les séparateurs, détendeurs ... sont température, pression etc... et pour le l'utilisation de l'hydrogène les paramètres choisies sont composition, débit, ainsi de suite...

L'étude semi-quantitative HAZOP a été faite pour deux circuits : GAZ combustible et Hydrogène.

Pour une étude plus concrète, la HAZOP est combinée avec la matrice de criticité dont la mesure ou on va attribuer un degré de gravité et une probabilité à chaque évènement, ces chiffres sont pris en basant sur le document interne de l'entreprise (Etude de dangers station électrique Fkirina) ainsi qu'après discussion avec l'équipe HSE de la centrale,

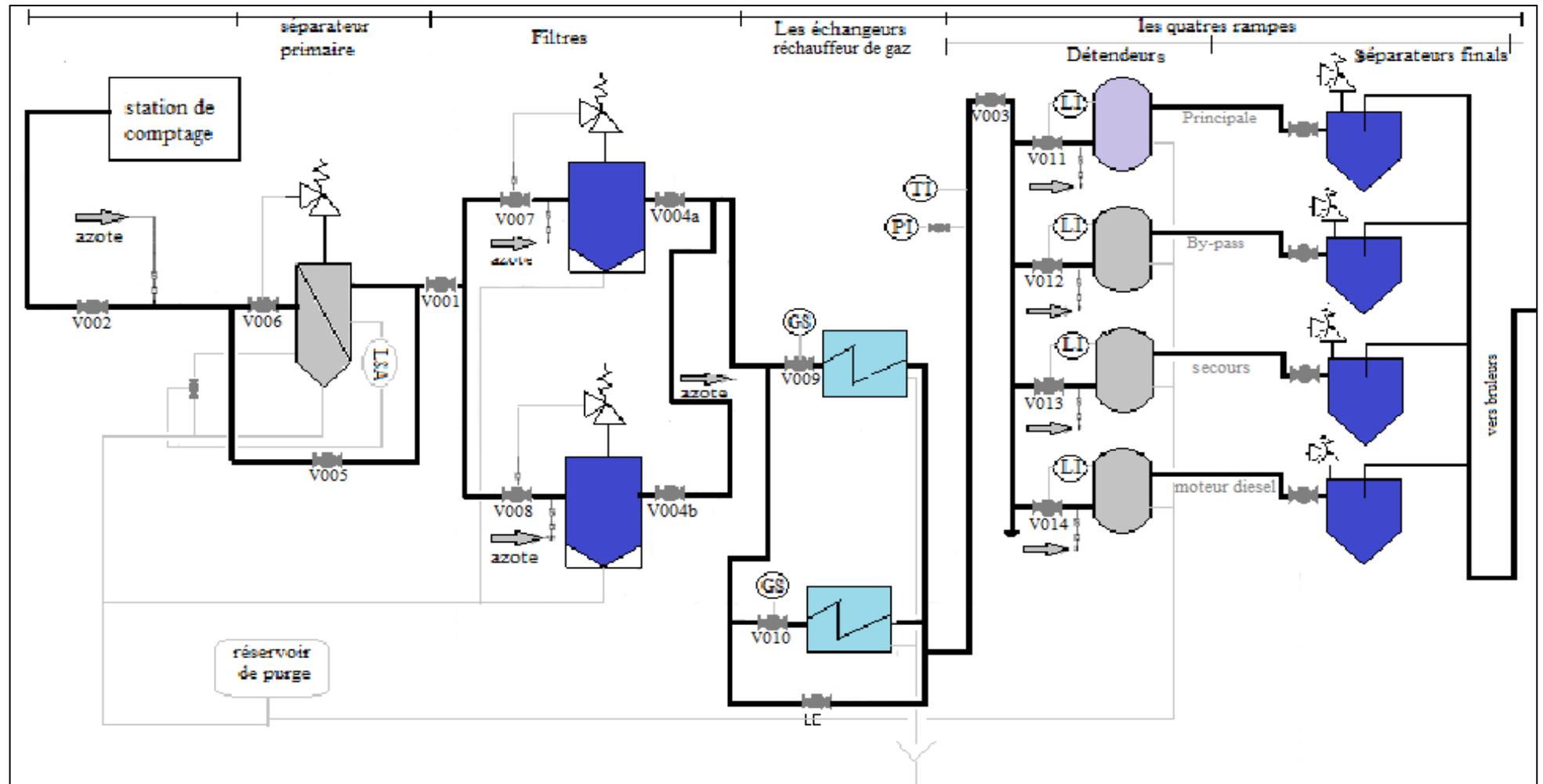
Gravité	Description	Couleur
4	Décès, fatalité, Arrêt permanent, impact sur la communauté.	Rouge
3	Blessé évacué à l'hôpital, Arrêt plus de 7 jours, rejet, incendie, explosion	Violet
2	Personne blessés, Arrêt de 2 à 7 jours Dommages dépassant 10M DA	Jaune
1	Dommages mineurs, Arrêt à court terme. Premier secours	Vert

Probabilité	Description	Couleur
4	Plus qu'une fois par an (1/an)	Rouge
3	Une fois tous les 20 ans Plus de $(5 \cdot 10^{-2})$	Violet
2	Une fois/100ans Plus de (10^{-2})	Jaune
1	Une fois/500ans Plus de $(2 \cdot 10^{-3})$	Vert

L'étude est présentée comme suit :

III. Circuit GAZ combustible :

La fonction du système gaz naturel est d'alimenter les deux turbines à gaz avec un gaz à la pression et au débit demandé, débarrassé de toutes impuretés.



Nœud N°1 : séparateur primaire.

La fonction du séparateur a pour fonction de débarrasser le gaz d'alimentation des impuretés liquides et solides.

Pour l'étude HAZOP de ce cas, les paramètres avec les déviations employés sont :

- **Débit** : pas de débit, débit faible, haut débit d'alimentation.
- **Température** : pas de température (non envisageable), faible température, haute température.
- **Pression** : pas de pression (pas d'alimentation), faible pression, haute pression.

L'attribution des niveaux de gravité (1, 2, 3, 4) se fait par rapport aux conséquences que peuvent engendrer les défaillances.

L'attribution des taux de probabilité (1, 2, 3, 4) se fait par rapport à la fréquence d'occurrence de la déviation. (Toujours est-il que ces fréquences sont tirés du document référentiel ; fréquence des évènements initiateurs d'accident)

Les causes et les conséquences de ces déviations sont présentées dans les tableaux suivants :

Partie Pratique

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
Débit	Pas de débit	L'alimentation en gaz par gazoduc ne se fait pas.	-Perte niveau risque d'arrêt installation.	- Réserve en gaz suffisante. (autonomie 20min). - Utilisation de combustible de secours.		3	1
		Fermeture intempestive de la vanne V006.	- Montée en pression dans la ligne. Risque de rupture de la ligne	- système d'alimentation secondaire (by-pass).	- Vérifier temps de fermeture de la vanne V006, taux de défaillance.	3	1
			- Perte de niveau dans le séparateur. risque d'arrêt de l'installation.		-régulation du niveau de séparateur avec la vanne.	3	1
		Rupture ligne entrée unité	- épandage du gaz inflammable et incendie.	- détecteur de gaz - système d'arrosage.	- Revoir la conception de la ligne.	4	1
			- Perte niveau, risque d'arrêt installation.	- vérification périodique de la résistance des conduites d'alimentation.		3	1
	Faible débit	vanne partiellement fermée.	- Perte de niveau par le temps.			2	2
		Ouverture intempestive de la purge, régulateur défaillant.	- épandage du gaz inflammable et feu.	- détecteur de gaz - système d'arrosage. - Tourné opérateur.		3	2

Partie Pratique

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

	Haut débit	- Ouverture intempestive de la vanne.	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise séparation. - Passage du gaz contenant des condensats. - Fuite de gaz. - Risque d'explosion si source d'ignition. 	<ul style="list-style-type: none"> - Arrêt alimentation en amont. - Déclenchement de l'installation. - Détecteur de gaz et alarme dans la salle de commande. 		4	1
			Montée en pression.	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle de pression. - Ouverture de purge. 		2	1
			- Apport accidentel en condensats.	- Niveau élevé du liquide.	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionnement adéquat du ballon avec by-pass. - Evacuation vers réservoir de purge. 		2

Partie Pratique

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

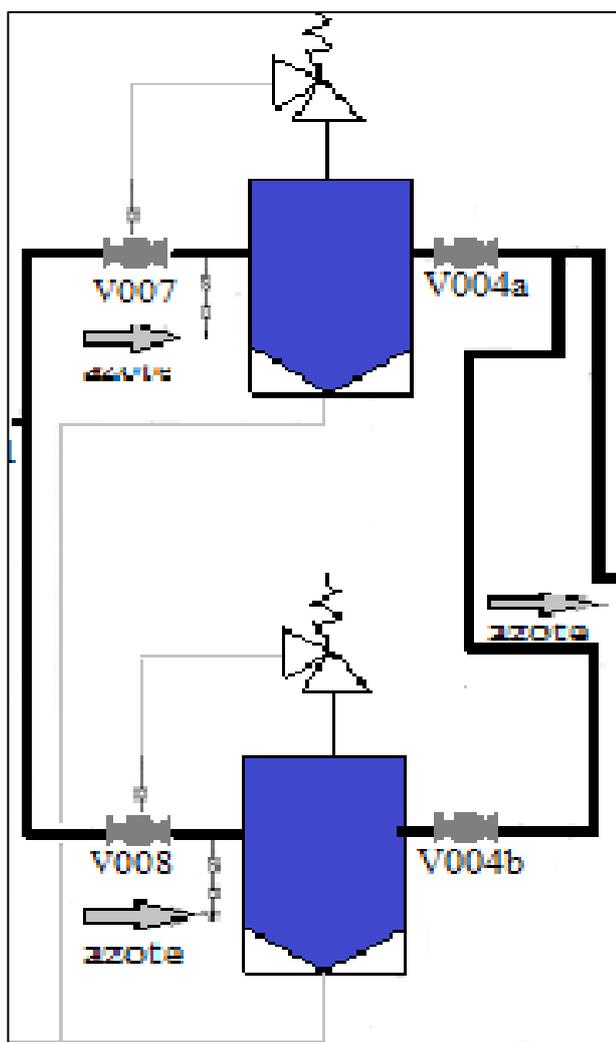
Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
pression	Pas de pression	Pas d'alimentation GAZ (pas de continuité d'alimentation)	Perte pression d'alimentation, risque d'arrêt installation.	Réserve en combustible secondaire suffisante.		3	1
	Moins de pression	Fuite au niveau des joints, des vannes, corrosion des conduites.	<ul style="list-style-type: none"> - Epanchage du gaz. - Incendie. - Explosion. 	<ul style="list-style-type: none"> - DG. - Contrôle débit. - Contrôle de pression. - Vannes EP (calibrée à plus de 46 bars) 	Vérification de l'état des joints de serrage,	4	2
		Torchage excessif.					
	Surpression	Augmentation de la température (été, incendie extérieur dans la salle des machines).	- Montée en pression dans la ligne.	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle de pression. - Vannes électropneumatique (calibrée à moins de 76 bars) - Système d'arrosage. 		3	3
- Rupture ligne et épanchage du gaz.							

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

Paramètre	Déviaton	Causes	Conséquences	Prévention/protection	Recommandations	G	P
Température	Faible température	Hivers	<ul style="list-style-type: none"> - Givrage des vannes. - Givrage des conduites. - Bouchage des conduites. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle de la T° d'entrée. - Température minimale 10°C. - Réchauffage. 	Augmenter le débit de l'eau de réchauffage du gaz. Ou augmenter la température.	3	3
			<ul style="list-style-type: none"> - Baisse de pressions. - Effet de sous-pression. 				
	Haute T°C	Eté canicule. Incendie externe.	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de pression. - Détente agressive du gaz. - UVCE 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle de T°C. - Contrôle de P°. - Réseau anti-incendie. 	3	3	

Fin de l'étude HAZOP pour le cas de séparateur primaire.

Nœud N°2 : les filtres.



Les filtres ont pour fonction de séparer le gaz d'alimentation des impuretés solides plus fines en arrivée.

Pour l'étude HAZOP de ce cas, les paramètres avec les déviations employés sont :

- **Débit** : pas de débit, débit faible, haut débit d'alimentation.
- **Température** : pas de température (non envisageable), faible température, haute température.
- **Pression** : pas de pression (pas d'alimentation), faible pression, haute pression.

L'attribution des niveaux de gravité (1, 2, 3, 4) se fait par rapport aux conséquences que peuvent engendrer les défaillances.

L'attribution des taux de probabilité (1, 2, 3, 4) se fait par rapport à la fréquence d'occurrence de la déviation. (Toujours est-il que ces fréquences sont tirés du document référentiel ; fréquence des événements initiateurs d'accident)

Les causes et les conséquences de ces déviations sont présentées dans les tableaux suivants

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
débit	Pas de débit	Bouchage des filtres (Seuil de filtration 5µm).	Pas d'alimentation, Arrêt de l'installation.	Basculement vers la deuxième ligne. Contrôle des filtres, changement en cas de bouchage.	Choix des filtres lors de l'approvisionnement.	3	2
		Fermeture intempestive de la vanne.				3	1
		Rupture de la ligne d'alimentation des filtres.	Epannage du gaz inflammable. Risque d'incendie ou d'explosion.	Détecteur de Gaz Protection anti-incendie.		4	1
	Faible débit	Vannes partiellement ouverte. L'alimentation doit se faire à 100% de la capacité.	Baisse de débit d'alimentation, Perte de charge.	Possibilité d'actionner manuellement les vannes.		3	2
		Favorise les Fuites. Défaillances des vannes.	Epannage produit, incendie ou explosion.	Tournée opérateur. Détecteur de Gaz.		3	2
	Haut débit	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de l'alimentation. - Défaillance contrôle des vannes. - Fonctionnement en pointe. 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la pression. - Risque de fuite. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alarme. - Contrôle de pression. - Contrôle de débit. (120000 Nm³.h⁻¹) 		4	2

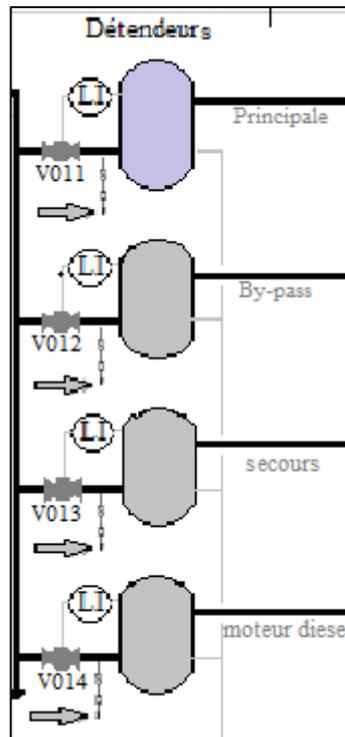
Partie Pratique

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Prévention/protection	Recommandations.	G	P
pression	Moins de pression	Rupture de la ligne alimentation.	Epanchage de gaz inflammable. Risque d'incendie ou explosion.	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle du débit. - Détecteur de Gaz. - Protection anti-incendie. 		4	1
		Fuite au niveau des points faibles des vannes, purge ouverte.					3
	Surpression	Augmentation de la T°. Feu externe	Rupture de la ligne d'alimentation.	Protection anti-incendie.		4	1
		Vannes fermée et alimentation forcée.	fuite dans les points fragiles (défaillance, corrosion)	Décharge vers soupapes.			

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Prévention/protection	Recommandations	G	P
	Faible température	Hiver	baisse de pression.	Réchauffage après les filtres. Pas de conséquences significatives.	température d'alimentation est de 10°C.	2	3
	Haute T°C	- Été canicule.	<ul style="list-style-type: none"> - Expansion rapide. - Augmentation de la pression. 	<ul style="list-style-type: none"> Contrôle de pression et de T°. Décharge vers soupapes. 		2	3

Nœud N°3 : détendeur



Le détendeur a pour but de décompresser le gaz en haute pression à une valeur plus basse et de la maintenir constante aux différentes conditions de débit.

Pour l'étude HAZOP de ce cas, les paramètres avec les déviations employés sont :

- **Débit** : pas de débit, débit faible, haut débit d'alimentation.
- **Température** : pas de température (non envisageable), faible température, haute température.
- **Pression** : pas de pression (pas d'alimentation), faible pression, haute pression.

Partie Pratique

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
Débit	Pas de débit	-Fermeture de la vanne. -Bouchage des conduites au niveau des filtres.	- Pas d'alimentation. - Arrêt de l'installation.	- 3 rampes de secours. - Fonctionnant à 50% de la capacité chacune.		2	2
		Arrêt d'alimentation.				3	2
	Faible débit	-Favorise la Fuite de gaz dans les points fragiles. -Formation d'un nuage de gaz.	- Epanchage de gaz. - Incendie, explosion.	Détecteur de GAZ. Compteur de quantité de gaz, calcul des pertes. Système de détection des fuites.		3	2
		-Fermeture incomplète de la vanne (défaillance).	- Baisse de pression de service. -Arrêt de l'installation.	Contrôle des vannes, maintenances.		2	2
	Haut débit	- Apport excessive en alimentation. - ouverture intempestive de la vanne.	- Augmentation de la pression.			3	2

Partie Pratique

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

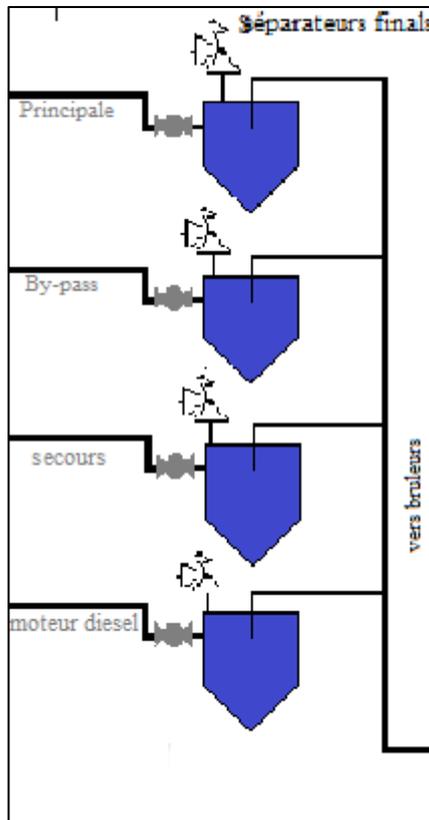
Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
pression	Pression faible	Débit très faible. Ouverture incomplète de la vanne.	Baisse d'alimentation. Risque d'arrêt installation			2	2
		Fuite au niveau des points fragiles, (défaillance vannes, corrosion dans la conduite)	Epanchage de gaz. Création d'un mélange favorable, Risque d'incendie ou d'explosion.	Détecteurs de Gaz, Réseau anti-incendie, Alarme. Maintenance des vannes pneumatiques.		3	3
		Purge ouverte	Baisse d'alimentation.	Alarme dans la salle de contrôle.		3	2
	Haute pression	Défaut de régulation de la pression, niveau de pression inconnu pour le réguler	-Augmentation de la pression de service. -UCVE. -Mélange non stœchiométrique dans la chambre de combustion.	Vannes d'interception avec position dans la salle de commande. Soupapes d'arrêt de surpression.		4	2

Partie Pratique

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
Température	Faible Température.	-Froid extérieur. (hiver)	Givrage des vannes. Point fragile. Givrage des conduites. Fuite de gaz. Epanchage des gaz	-Contrôle de température dans la salle de commande. -Utilisation des autres rampes en cas de bouchage des conduites d'eau.		3	3
		-mauvais chauffage dans la chaudière. -mauvaise régulation de température.				2	2
	Haute Température	-été canicule.	Augmentation de la pression. Expansion rapide du gaz. Favorise les fuites et épanchage de gaz. Risque d'incendie ou explosion.	-régulation de la température. -Contrôle de pression. -Détecteur de gaz		3	3
		-incendie extérieur				4	1

Nœud N°4 : le séparateur final



Le séparateur final constitue la dernière opération de traitement du gaz en séparant les dernières impuretés liquides et solides apparues après la détente et baisse de température.

Pour l'étude HAZOP de ce cas, les paramètres avec les déviations employés sont :

- **Débit** : pas de débit, débit faible, haut débit d'alimentation.
- **Température** : pas de température (non envisageable), faible température, haute température.
- **Pression** : pas de pression (pas d'alimentation), faible pression, haute pression.

L'attribution des niveaux de gravité (1, 2, 3, 4) se fait par rapport aux conséquences que peuvent engendrer les défaillances.

L'attribution des taux de probabilité (1, 2, 3, 4) se fait par rapport à la fréquence d'occurrence de la déviation. (Toujours est-il que ces fréquences sont tirés du document référentiel ; fréquence des événements initiateurs d'accident).

Les causes et les conséquences de ces déviations sont présentées dans les tableaux suivants

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
Débit	Pas de débit	Pas d'alimentation, Fermeture des vannes en amont du séparateur final.	Pas d'alimentation vers turbine, Arrêt de l'installation.	Contrôle des filtres, et changement périodique, ou changement en cas de nécessité.		3	1
		Bouchage des filtres finisseurs.	Baisse de la quantité de gaz d'alimentation.			3	1
	Débit faible	Précipitation des débris qui mènent au bouchage des filtres. (teneur de gaz en particules)	Baisse de débit d'alimentation, mélange non stœchiométrique dans la chambre de combustion. Risque d'arrêt de l'installation			4	1
		Défaillance de la vanne en amont. (ouverture incomplète)	Augmentation de la pression dans le séparateur final.	Contrôle et maintenance des vannes. Alarme dans la salle de commande, Possibilité d'ouvrir les vannes manuellement.		3	2
	Haut Débit	Alimentation forcée en gaz. Défaillance des vannes, ouverture intempestive.	Augmentation de la charge ou de la cadence de l'alimentation, précipitation des débris dans les filtres, élévation du niveau des condensats dans le séparateur.	Contrôle du niveau des condensats. Régulation du débit d'alimentation et de la pression (vannes électropneumatiques régulé avec P° et T°).		3	1

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

			Mauvaise séparation du gaz.			2	2
			Problème au niveau de la turbine qui tourne à 3000tr/min. Provocation de points fragiles dans le séparateur, la turbine et les vannes.			3	1
		Augmentation de la pression et/ou de la température.	Risque de « UVCE ». Incendie en cas de fuite et présence d'une source d'ignition.	Décharge vers torchage. Régulation de la pression et de la température.		4	3

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
pression	Basse pression	Faible débit d'alimentation	Risque d'arrêt de l'installation. Mélange non stœchiométrique dans la chambre de combustion à cause de la basse pression de service.	Régulation du débit d'alimentation. Utilisation des autres lignes d'alimentation (rampes).		3	2
		Fuite au niveau de la vanne, ou dans la conduite. Défaillance de la vanne en amont.	Risque d'incendie ou d'explosion. Mauvaise séparation des condensats.	Contrôle des vannes. Maintenance. Détecteur de gaz. Alarme au niveau de la salle de commande.		2	3
		Torchage excessif.		Utilisation des autres lignes d'alimentation (rampes).et maintenance de la ligne active.		2	2

Partie Pratique

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

	Haute pression	Augmentation de la température. Eté canicule ou incendie extérieur.	Favorise les fuites. Expansion rapide des gaz, risque d'éclatement des vannes et des conduites, Risque d'explosion.	Détecteurs de Gaz. Régulation de la pression. Système d'arrêt et dépressurisation en aval. Système d'arrosage et anti-incendie.		4	3
		Fermeture intempestive de la vanne en aval et alimentation forcée. Système de torchage défaillant.	Arrêt de l'installation.	Utilisation des autres d'alimentation. Maintenances. Régulation du débit par rapport à la pression		3	2

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
température	Faible Température.	-Froid extérieur. (hiver)	Givrage des vannes. Point fragile. Givrage des conduites. Fuite de gaz. Epanchage des gaz.	-Contrôle de température dans la salle de commande. -Utilisation des autres rampes en cas de bouchage des conduites d'eau.		3	3
		Haute Température	-été canicule.	Augmentation de la pression. Expansion rapide du gaz. Favorise les fuites et épanchage de gaz. Risque d'incendie ou explosion.	-régulation de la température. -Contrôle de pression. -Détecteur de gaz	2	3
		-incendie extérieur				4	2

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

Nœud N° 5: le brûleur.

En plus des paramètres : débit, température et pression, on ajoute un 4^{ème} paramètre qui est la **composition**, composition du mélange gaz-comburant(O₂), les déviations possibles sont telles que la proportions d'un composant soit plus au moins que l'autre, et on étudiera les causes et conséquences relatives :

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
Débit	Pas de débit	Absence d'alimentation en gaz.	Pas de gaz brûlé. Arrêt de l'installation	Trois lignes d'alimentation en gaz des brûleurs.		4	1
		Fermeture des vannes en amont.				2	2
	Faible débit	Fuite dans les conduites.	En cas de présence de source d'ignition (flamme) explosion et détérioration de la turbine et des machines.	Détecteurs de gaz. Calcul du débit pour détecter les fuites. Alarme dans la salle de commande.		3	2
		Bouchage des brûleurs par accumulation des débris non filtrés.	Accumulation des gaz dans les brûleurs. Augmentation de la pression. Risque de détérioration des brûleurs.	Changement périodique des filtres. Contrôle des brûleurs nettoyage dans la période d'arrêt pour maintenance.		3	1
	Défaillances des brûleurs	Fuite de gaz dans les côtés, énorme risque d'explosion incendie, détérioration de la turbine. Epanchage du gaz.	Contrôle du débit de gaz qui sort des bouches des brûleurs. Conception à avoir un mélange stœchiométrique gaz et oxygène.		4	2	

Partie Pratique

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

	Haut débit	Augmentation de débit d'alimentation suite à une défaillance de la vanne. Ouverture intempestive ou défaillante.	Quantité énorme de gaz dans la chambre de combustion. Accumulation de gaz non brûlé	Contrôle et maintenance des vannes. Comptage et régulation du débit de gaz pour avoir un mélange stœchiométrique (gaz+air).	Accentuer les périodes de maintenance	4	2
		Défaillance au niveau des injecteurs de gaz.	Risque d'explosion. Mélange défavorable pour la combustion suite à l'excès du combustible sur le comburant, risque d'arrêt de l'installation.			4	1

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
pression	Basse pression	Détente excessive du gaz dans le détendeur. Pression inférieur à 30 bars.	Risque d'arrêt de l'installation (pression de service non atteinte). Dépressurisation au niveau de la turbine, retour de du gaz.	Régulation de la pression au dépend du débit au niveau du détendeur. Fermeture des vannes en gaz de baisse de pression, et purge de gaz si nécessaire. Régulation de la température et de la pression avec la chaudière.		2	2
		Ouverture intempestive de la vanne	Baisse de température, risque de givrage des injecteurs, détérioration et arrêt de l'installation.			3	2
		-incendie extérieur				4	1
	Haute pression	Augmentation de la température extérieure Ou de la température du gaz lors de l'échange de chaleur.	Augmentation de la pression. Favorise les fuites. Surpression dans les conduites menant aux injecteurs.	Détecteur de gaz. Contrôle du débit pour détecter les fuites.		4	3

Partie Pratique

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
température	Faible Température.	-Froid extérieur. (hiver)	Givrage des vannes. Point fragile. Givrage des conduites. Combustion difficile du gaz. Baisse du rendement.	-indication de la température dans la salle de commande.		2	3
		-mauvaise régulation de température.				2	3
	Haute Température	-été canicule.	Augmentation de la pression. Expansion rapide du gaz. Favorise les fuites et épandage de gaz. Risque d'incendie ou explosion.	-régulation de la température. -Contrôle de pression. -Détecteur de gaz		3	3
		-incendie extérieur				4	1

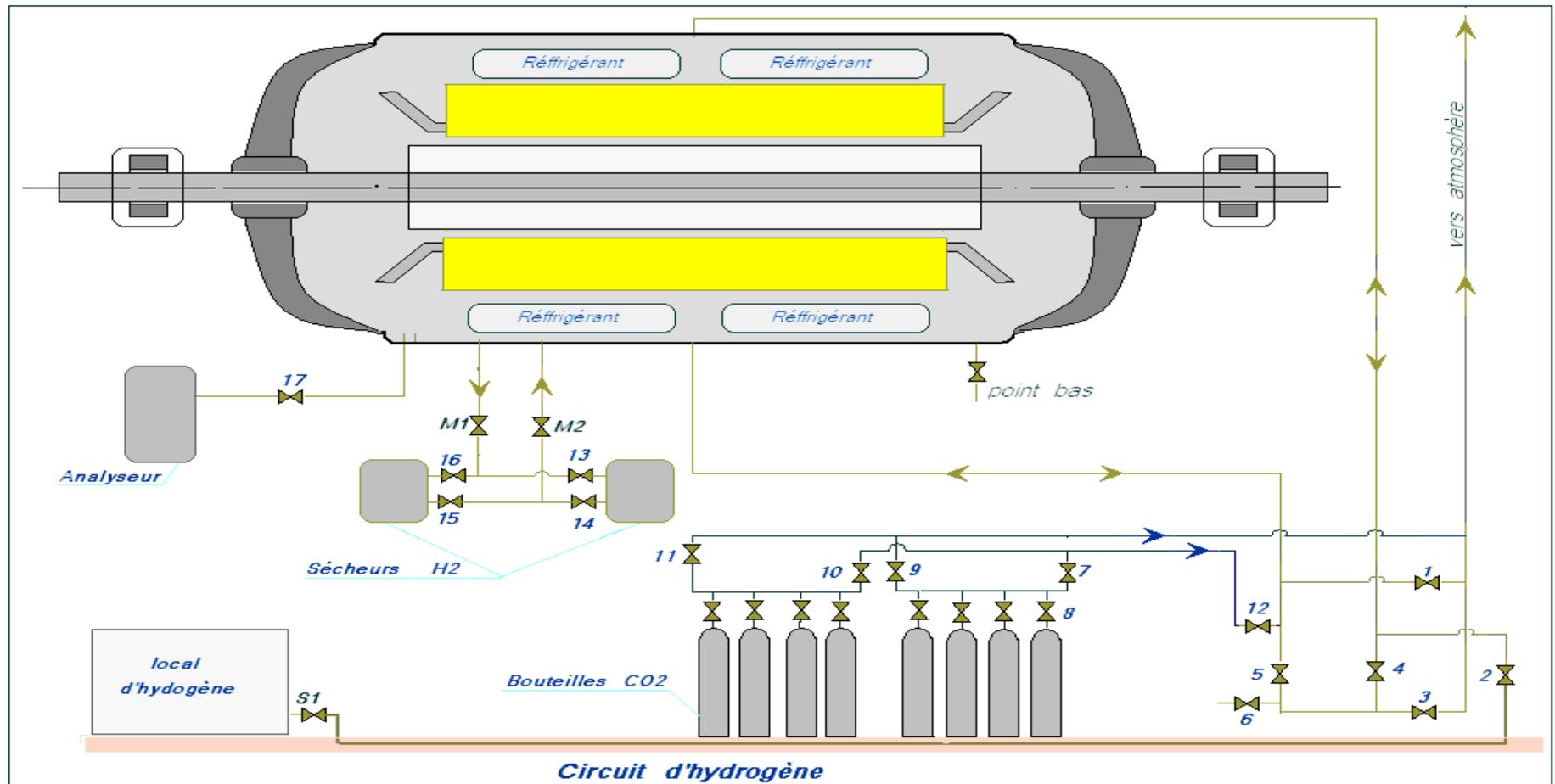
Partie Pratique

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
composition	Pas de composition air + gaz. Absence d'alimentation, pas de réaction. Installation en arrêt.						
	Faible composition. (moins de gaz que de comburant)	Faible débit d'alimentation. Vannes défectueuses, erreur opérateur. Bouchage des entrées.	Pas de réaction. Mélange au-dessous du LIE. Arrêt de l'installation. Baisse du rendement.	-conception des injecteurs de manière à fournir un mélange stœchiométrique. Contrôle des vannes.	Consignes de sécurité. Interdire l'accès de toute personne non-habilité. Réglementation stricte.	4	1
	Grande composition (plus de gaz que de comburant)	Grand débit d'alimentation.	Pas de réaction, mélange au-dessus du LES. Arrêt installation. Pas de continuité d'ignition : le gaz doit stagner un moment pour brûler le gaz qui vient par la suite.	conception des injecteurs de manière à fournir un mélange stœchiométrique. Régulation du débit d'alimentation.		4	1
		Ouverture intempestive de la vanne.	Accumulation du gaz non brûlé. Création d'un mélange favorable d'explosion confinement suffisant.			4	1

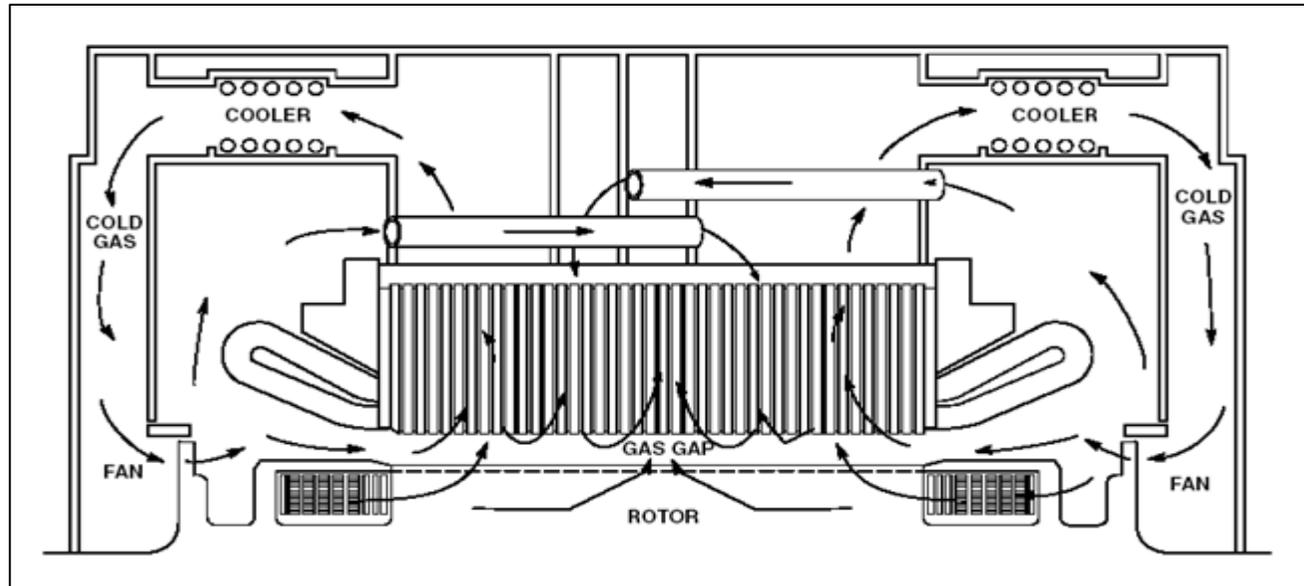
II.2. Circuit hydrogène : (refroidissement alternateur)

Le système de refroidissement de l'alternateur comprend tous les appareillages nécessaires pour remplir ou vidanger le générateur avec gaz hydrogène et pour maintenir automatiquement la pression requise de l'hydrogène ainsi que sa pureté pendant le fonctionnement. Dans la figure suivante le schéma du système de refroidissement.



L'étude HAZOP du circuit d'hydrogène se fait dans deux milieux distincts : la circulation entre le bobinage du générateur, et le local de stockage.

Nœud N° 1 : le corps de l'alternateur.



Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
débit	Pas de débit.	Absence de ventilation dans l'alternateur qui permet la circulation de l'hydrogène.	Accumulation de l'hydrogène dans les coins du corps de l'alternateur. Mauvais refroidissement du bobinage. Augmentation de la température. Soit usure des anneaux d'étanchéité, soit arrêt de l'installation.	Contrôle de la ventilation. Contrôle de la concentration d'H ₂ .	Prévoir un autre système de ventilation.	4	2

Partie Pratique

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

	Faible débit	Fuite d'H ₂ , défaut d'étanchéité.	Création d'un mélange facilement explosif.	Maintenir la pression de l'huile au-dessus de 5 bars. Détecteur de gaz d'H ₂ . Arrêt de l'installation si nécessaire.	Maitre des consignes de sécurité strictes. Habilitation et interdiction de créer des sources d'inflammation.	4	1
		Mauvaise ventilation. Régulation défectueuse.	Mauvais refroidissement de l'alternateur. Usure et détérioration des anneaux d'étanchéité.	Contrôle du débit de refroidissement.		4	2
	Haut débit	Ventilation forcée. Excès d'alimentation en gaz H ₂ .	Pas de conséquence significative.			2	1

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
Pression	Basse pression d'huile.	Défaillance système d'étanchéité. Usure des paliers (support) Fuite de l'huile d'étanchéité.	Fuite de gaz d'H ₂ . Création d'un mélange détonant. Arrêt de l'installation.	Contrôle périodique du système d'huile d'étanchéité. Régulation de la pression d'huile, à maintenir au-dessus de 5 bars.		4	1
	Haute pression d'H ₂ haute pression d'huile	Pas de conséquence significative, il est à noter que la pression d'huile doit être toujours supérieure à celle de l'hydrogène.					

Partie Pratique

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
température	Faible température	Température d'eau (source froide) des réfrigérants H2 basse.	Baisse de rendement de l'alternateur.	Régulation de la température de l'H ₂	Baisser le débit d'eau entrant dans les réfrigérants d'H ₂ si y'a pas possibilité d'augmenter la température.	2	2
	Haute température	Défaut d'éventage des réfrigérants. Température (source froide) des réfrigérants élevée. Défaut interne de ventilation. Débit d'eau de la source froide trop faible	Réfrigérants encrassés ou isolés	Régulation de la température de l'H ₂ . Régulation de débit de ventilation, et du débit d'eau de refroidissement.		4	2

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
Composition Air/hydrogène	Faible composition air/hydrogène.	Fuite d'hydrogène.	S'il y'a un mélange avec des proportions comprises dans le domaine d'explosivité (4%-75%) Explosion du milieu.	Détecteurs de gaz d'hydrogène. Matériel antidéflagrants.		4	1
		Evacuation incomplète de l'hydrogène lors de la maintenance.		Calcul de proportion d'inertage avec le CO ₂ . Actionner les vannes d'isolement de l'air.		4	2
	Grande composition air/hydrogène.	Fuite d'hydrogène.	Création d'un mélange favorable pour l'explosion.	Détecteur de gaz d'hydrogène.	Définir les zones de circulation (zone 0-1-2). Maître des consignes strictes de sécurité, Informer le personnel sur les risques que peut engendrer un tel stockage d'hydrogène.	4	1
		Ouverture accidentelle des bouteilles de gaz.	Expansion rapide du gaz vu ses caractéristiques. Détérioration du matériel et des machines.	Stockage adéquat des racks d'hydrogène. Placées dans un lieu éloigné de toute circulation.		4	1
		Erreur lors de l'évacuation de l'hydrogène, ouverture intempestives des vannes d'isolement air.		Contrôle des vannes. Indication dans la salle de commande.		4	2

Nœud N° 2: stockage d'hydrogène.

L'hydrogène est stocké dans des bouteilles à gaz de 50L chacune à 140 Bar, disposées sous forme de 9 racks de 24 bouteilles.

Les déviations possibles dans ce local concernent : soit une baisse de pression, soit une augmentation de pression. Les résultats de cette étude sont dans le tableau suivant :

Paramètre	Déviations	Causes	Conséquences	Protection/prévention	Recommandations	G	P
Pression	Basse pression.	Fuite d'hydrogène au niveau des bouchons, usure, corrosion de la bouteille, Choc à cause d'un mauvais stockage.	Epanchage rapide du gaz. Risque d'explosion.	Tournée opérateur. Détecteur de gaz d'H ₂ .		4	2
	Haute pression.	Augmentation de la température. Feu extérieur ou été canicule.	Surpression dans les bouteilles. Favorise les fuites. Risque d'explosion.	Système d'arrosage. Détecteur de gaz d'H ₂ . Vérification de l'état des bouteilles.	Mettre plus de signalisation. Fermer le périmètre, interdire la circulation au voisinage. (approche par zone).	4	1

III. Hiérarchisation des risques :

Après avoir identifié tous les risques possibles avec HAZOP, la hiérarchisation selon leur criticité s'avère nécessaire pour la gestion de ces risques, et pour traiter chaque cas ou situation à part, selon la gravité et la probabilité d'occurrence de l'aléa.

La matrice de criticité est donc l'outil idéal à utiliser, et la combinaison entre la fréquence et la gravité va nous déterminer la criticité des risques et le degré de dangerosité qui se trouve dans l'installation, et comment nous allons les traiter.

G : Gravité.

F : Fréquence.

S : Score.

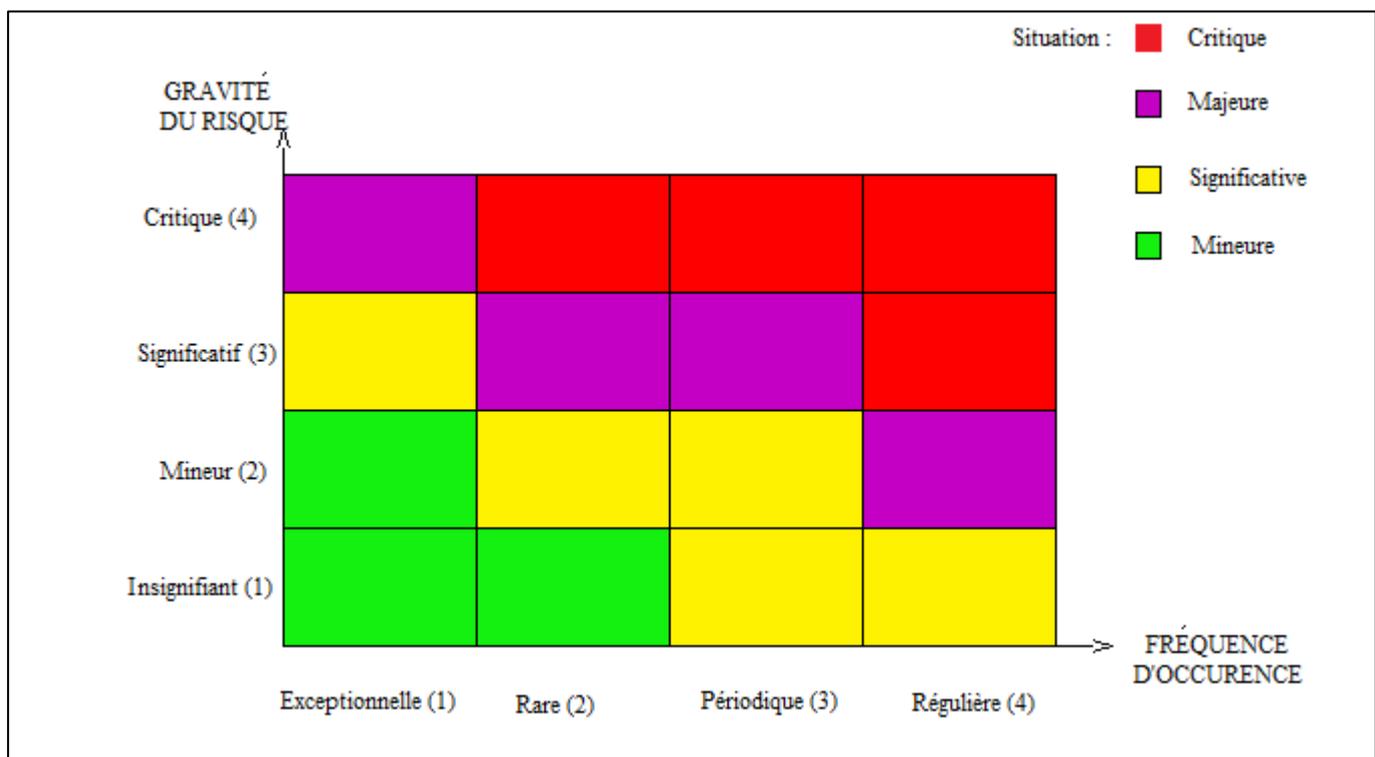


Figure 18 : Matrice de Criticité (cfppa.fr/infocampus/).

Les résultats sur l'étude HAZOP dans le poste Gaz a montré que le degré de criticité en pourcentage sur 71 défaillances est de :

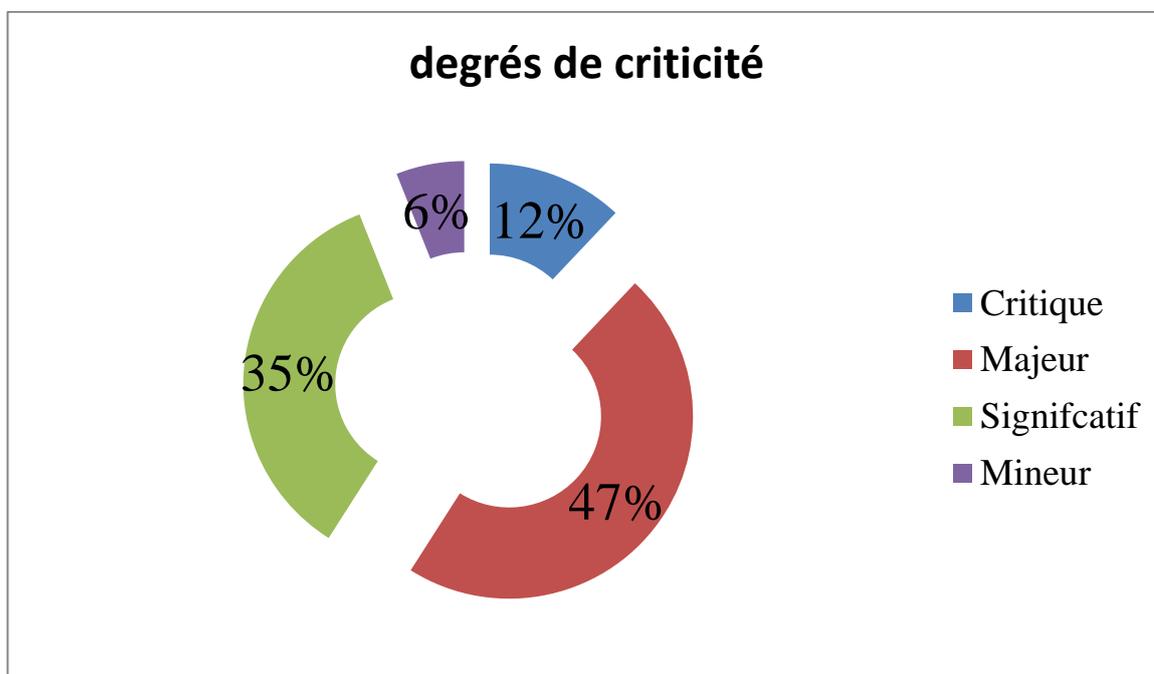


Figure 19 : pourcentage de gravité des défaillances (poste gaz).

Les résultats pour le circuit d'hydrogène pour 14 défaillances possibles :

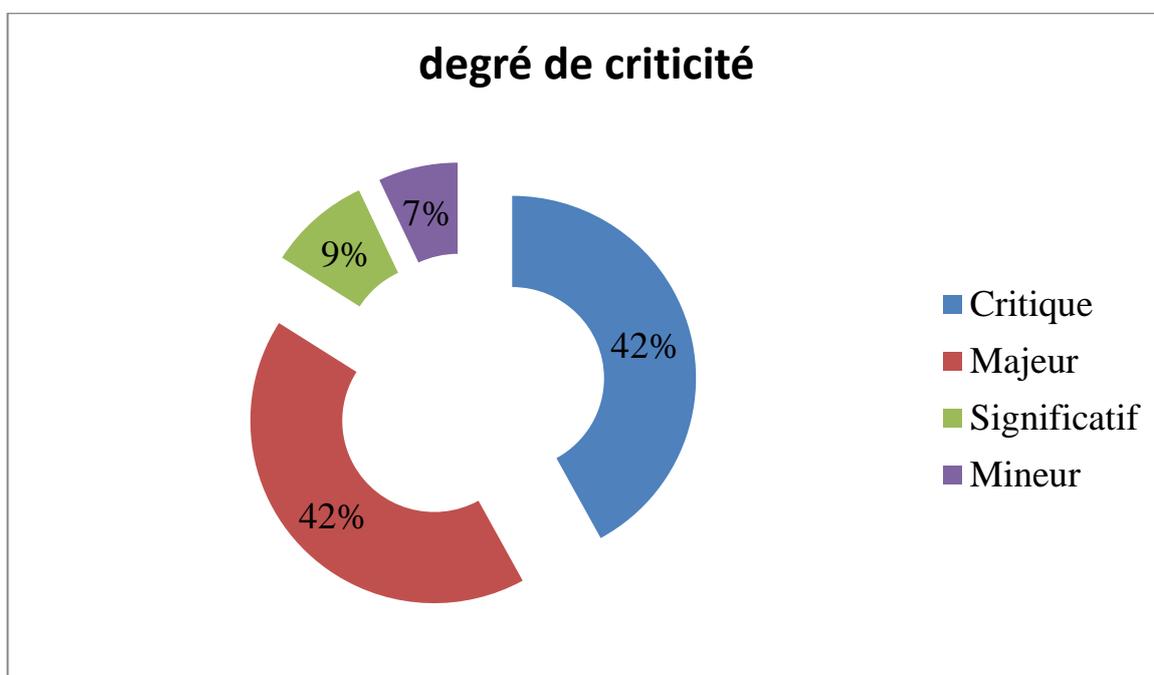


Figure 20 ; pourcentage de gravité des défaillances (circuit hydrogène).

Les risques cités ci-dessous sont ceux tirés du tableau HAZOP, qui ont le plus grand score d'une combinaison R*G en prenant en considération ceux d'une gravité 4, et surtout ceux qui sont liés ou qui peuvent être l'objet d'une explosion, qui est le but de notre étude.

1. Pour le séparateur :

- Défaillances des vannes, ouverture ou fermeture intempestive qui est à l'origine d'une augmentation du débit et qui cause de nombreux dégâts. G=4, F=1, S=4. 
- Fuite au niveau des joints ou torchage excessif causant une augmentation de pression et risque d'incendie ou d'explosion. G=3, F=3, S=9. 
- Givrage des vannes ou détente agressive du gaz à cause d'une baisse de température, détérioration du matériel et épandage du gaz. G=3, F=3, S=9. 
- Augmentation du débit à cause d'une augmentation de pression de service ou de température, les conséquences sont redoutables comme VCE et incendie. G=4, F=3, S=12. 
- Les incendies extérieurs ou l'augmentation de température peuvent causer de nombreux problèmes dans le séparateur. G=4, F=2, S=8. 

2. Pour les filtres :

- Augmentation de pression à cause d'un haut débit d'alimentation ou problèmes de régulation, augmente le risque de fuite et épandage du gaz. G=4, F=2, S=8. 

3. Pour le détendeur :

- Défaillances des vannes, ouverture ou fermeture intempestive qui est à l'origine d'une augmentation du débit et qui cause de nombreux dégâts. G=4, F=1, S=4. 
- Dysfonctionnement du système de régulation de pression, augmentant la pression de service et risque de fuite, UVCE ou peut fournir une composition non stœchiométrique vers les brûleurs. G=4, F=2, S=8. 
- Augmentation de température causée par un feu extérieur avec une probabilité minimale, peut être à l'origine d'augmentation de pression, expansion du gaz, favorise les fuites. G=4, F=1, S=4. 

4. Pour les brûleurs :

- Dysfonctionnement des brûleurs, bouchage ou détérioration, diminue la quantité de gaz à brûler, ou provoque les fuites du gaz, risque d'arrêt d'installation ou d'explosion.

G=4, F=2, S=8. ■

- Mauvaise régulation de la pression ou du réchauffage, fournie une flamme non stœchiométrique, donc une partie ne sera pas brûlée et forme un nuage de gaz qui risque d'exploser.

G=4, F=2, S=8. ■

5. Pour l'hydrogène de refroidissement :

- L'absence de ventilation qui permet de faire circuler l'hydrogène provoque une accumulation d'une certaine quantité, mauvais refroidissement de l'alternateur et donc usure des anneaux d'étanchéité.

- Evacuation incomplète lors de l'inertage de l'hydrogène, réaction avec l'oxygène mélange favorable pour l'explosion.

G=4, F=2, S=8. ■

- Défaillance des vannes lors de l'évacuation de l'hydrogène.

G=4, F=2, S=8. ■

6. Pour le stockage d'hydrogène :

- Mauvais serrage des bouchons, corrosion ou mauvais stockage des bouteilles provoque un épandage des gaz, et risque d'explosion UVCE. G=4, F=1, S=4 ■

Conclusion :

Le risque d'explosion est omniprésent dans les installations étudiées, il existe d'autres risques aussi importants comme surtout les défaillances des vannes ou dysfonctionnement du système de régulation des différents systèmes utilités (refroidissement, réchauffage...) qui peuvent engendrer des dégâts redoutables, et qui doivent faire l'objet de traitement pour assurer le bon fonctionnement de l'installation en toute sécurité.

IV. Arbre de défaillances et calcul de probabilités:

Après avoir fait l'étude HAZOP, nous allons nous focaliser sur les causes ou plutôt les défaillances qui sont source d'une explosion ;

Donc, les représentations en arbre ci-dessous, constitue une représentation de l'ensemble des combinaisons des causes d'un scénario de défaillances qui mènent à un **évènement redouté central (ERC)**, chaque milieu a un ERC propre à lui, de plus, il y'a lieu de quantifier la probabilité d'occurrence des évènements initiateurs pour expliquer d'une manière différente et plus crédible, le concept d'attribuer des chiffres aux phénomènes, ces chiffres sont les probabilités d'occurrence par année des défaillances possibles pouvant être à l'origine d'une explosion, ils sont tirées du document (fréquences des évènements initiateurs d'accidents) (OFEFP, Mai 1996), elles comportent des fréquences sans et avec barrières de prévention. (Les barrières de protection sont mises en œuvre après l'accident, dans l'arbre des conséquences). Plusieurs aspects n'ont pas été pris en compte comme le temps de réponse ou le taux de sollicitation des équipements de prévention, seule la probabilité de défaillance a été prise en compte. De plus, On ne connaît pas si les effets dominos sont intégrés ou non, sinon on perd l'information sur les évènements conduisant à l'ERC ;

Pour cette raison qu'on a cherché à quantifier la fréquence d'occurrence des évènements initiateurs, plutôt que celles des évènements redoutés centraux.

La combinaison de ces probabilités nous donnera la probabilité qu'un ERC aura lieu dans l'installation électrique d'El-HAMMA, cela constitue une étape importante dans l'évaluation du risque d'explosion, d'où la nécessité de bien prendre soin du choix et de l'attribution des probabilités, de l'emplacement des barrières, et de combiner les causes de façon raisonnable et plausible.

Dans certains cas, les causes telles que la baisse ou augmentation de pression et de température ne peuvent pas faire l'objet d'une attribution d'une probabilité, par ailleurs elles sont considérées comme facteur aggravant le scénario plutôt qu'un évènement initiateur.

Remarque : Méthode de calcul de probabilité :

Selon le calcul logique des probabilités :

- $P(A \text{ et } B) = P(A) \times P(B)$. Pour la boucle « Et ».
- $P(A \text{ ou } B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$. Pour la boucle « Ou ».
Comme les évènements sont indépendants les uns des autres $\rightarrow P(A \cap B) = 0$.
- La probabilité de défaillance d'une barrière de sécurité et de l'évènement associé se calcule par la multiplication des deux probabilités.

Les scénarios présentés concernent les locaux du circuit gaz et celui d'Hydrogène sont :

a. Séparateur primaire et final :

Les défaillances avec les probabilités relatives sont :

-Baisse de température P001: La détente de gaz provoque la baisse de température, aussi est le cas en hiver. La valeur reprise pour cet évènement est de (0,5).

-Défaillance réchauffage du gaz P002: soit l'échange de chaleur est insuffisant, ou défaillances des chaudières, la valeur est reprise (10^{-2}).

-Défaillance des vannes P003: la valeur recommandée dans le rapport est reprise (10^{-1}).

-Ouverture spontanée des soupapes de sécurité P004: la valeur proposée est (10^{-11}).

-Joints défectueux ou petites brèches P005: la valeur recommandée est ($5 \cdot 10^{-6}$).

-Incendie fct: ce risque n'est pas pris en considération, car soit il est inexistant, soit il est maîtrisé par les équipements de protection, et il ne peut survenir à une distance proche du circuit gaz.

-Contraintes mécanique extérieures P006: il y'a possibilité qu'un tel risque arrive en cas de travaux de maintenance ou l'utilisation des engins ou de matériels lourds est possible, la valeur est estimée à (10^{-6}).

-Négligence P007: ce risque n'est pris en compte qu'en cas d'intervention des agents habilités à accéder au poste gaz, qui sont deux personnes, donc il est pris comme facteur aggravant un autre risque.

-Autres P008: la valeur recommandée dans le rapport est reprise (10^{-7}). Elle comprend également les ruptures de conduites dues à des séismes.

-Givrage des vannes P0012

-Rupture ou ouverture de conduite P013

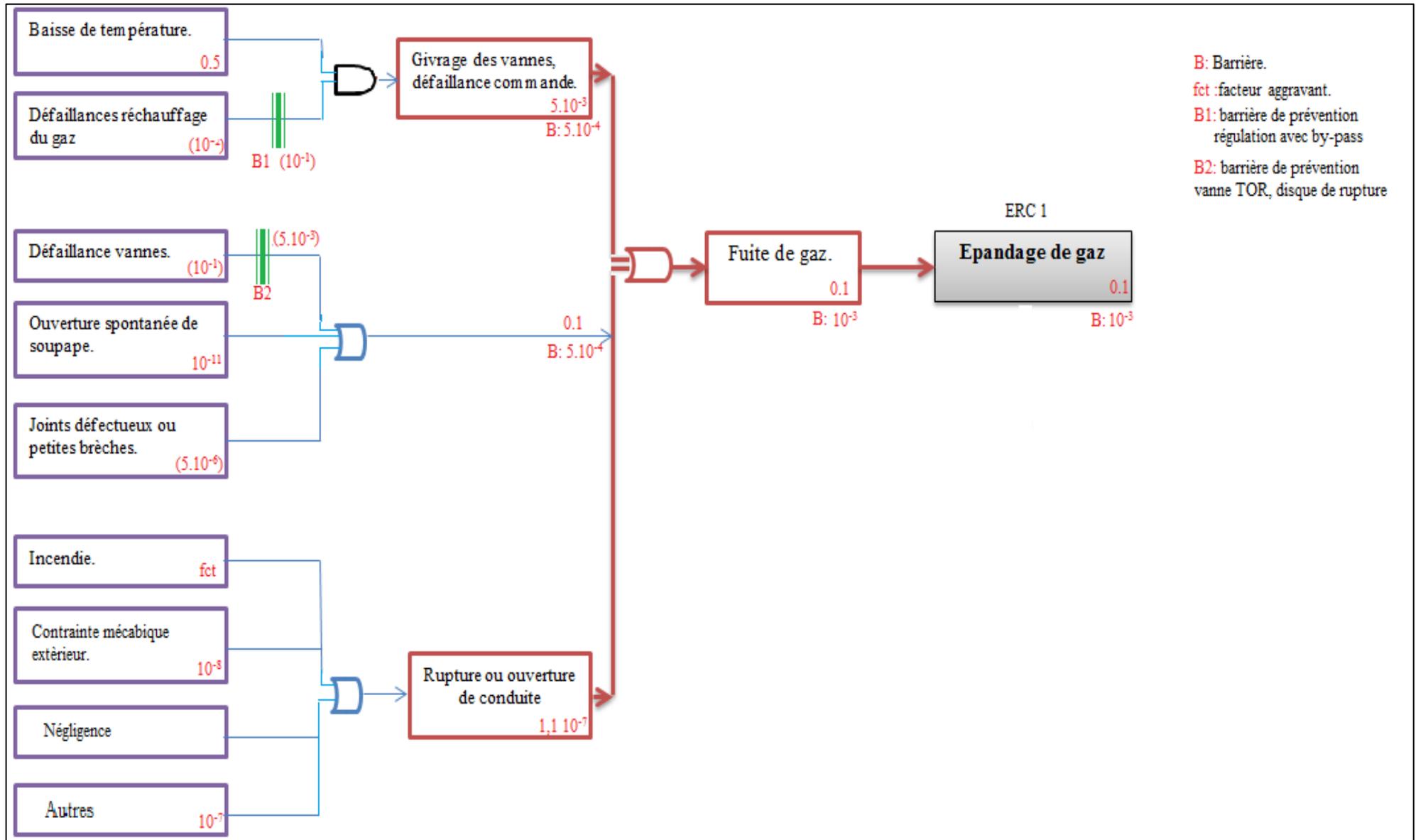
Pour les barrières de sécurité, taux de défaillance :

B1 : barrière de prévention : régulation du système de réchauffage avec by-pass. **P009**

B2 : Barrière de prévention : actionnement vannes toute ou rien, équipée de disque de rupture. **P010**

B3 : matériels anti-déflagrant, pas de génération d'étincelles. **P011**

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique



Evènement redouté central pour le cas du séparateur est EPANDAGE DE GAZ : (sans barrières)

$$\begin{aligned} P(\text{ERC}_1) &= (P001 \times P002) + P003 + P004 + P005 + P006 + P007 + P008 \\ &= (0,5 \times 10^{-2}) + 10^{-1} + 10^{-11} + 5 \cdot 10^{-6} + 10^{-8} + 10^{-7} \\ &= 5 \cdot 10^{-3} + 0,1 + 1,1 \cdot 10^{-7} \\ &= \mathbf{0,1} \end{aligned}$$

(avec barrières)

$$\begin{aligned} P(\text{ERC}_1) &= (P001 \times P002 \times P009) + (P003 \times P010) + P004 + P005 + P006 + P007 + P008 \\ &= (0,5 \times 10^{-2} \times 10^{-1}) + (10^{-1} \times 5 \cdot 10^{-3}) + 10^{-11} + 5 \cdot 10^{-6} + 10^{-8} + 10^{-7} \\ &= (5 \cdot 10^{-4}) + 5 \cdot 10^{-4} + 1,1 \cdot 10^{-7} \\ &= \mathbf{10^{-3}} \end{aligned}$$

La probabilité d'occurrence de l'évènement redouté est de **0,1** sans barrières, et **10⁻³** avec barrières de sécurité.

b. Détendeur :

Les défaillances avec les probabilités relatives sont :

- Fermeture intempestive des vannes P014 : la valeur recommandée est reprise (10^{-1}).
- Défaillance régulation de la pression P015: pour le système de régulation la valeur recommandée est (10^{-2}).
- Augmentation de température P016: il est admis qu'il peut y avoir une fois par mois une augmentation de température suffisante pour provoquer une augmentation de pression et une fuite de gaz par les petites brèches. La valeur recommandée est ($3 \cdot 10^{-2}$).
- Défaillance système de purge P017: pris comme étant un système d'utilité, dont la valeur est reprise (10^{-4}).
- Corrosion conduites ou petites brèches P018: pour la corrosion, on suppose que le matériel est adapté au gaz, et ne peut être l'objet d'une fuite, pour les petites brèches la valeur est reprise (10^{-4}).
- Rupture ligne d'alimentation P019: la valeur recommandée est de ($0,25 \cdot 10^{-2}$)
- Ouverture spontanée de la soupape P020: la valeur recommandée est de (10^{-11}), il est admis qu'une libération par soupape de sécurité ne représente pas un risque important, la vitesse de sortie élevée du gaz conduisant à une dilution immédiate avec l'air, au-dessous de la LIE.
- Augmentation de la pression P021:

Pour les barrières de sécurité, taux de défaillance :

B1 : Barrière de prévention : actionnement vanne toute ou rien, équipée de disque de rupture **P022**

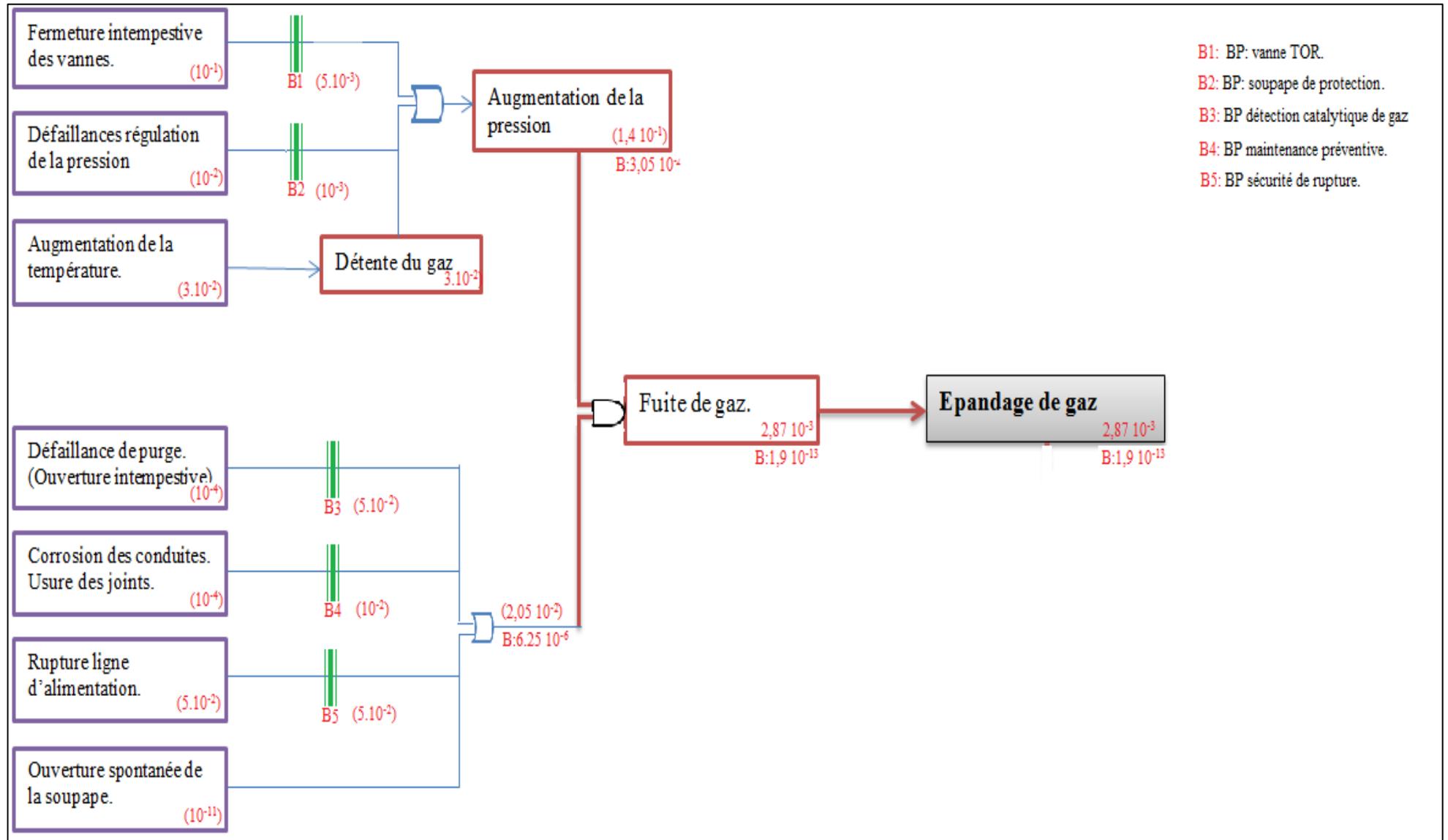
B2 : ouverture soupape de sécurité **P023**

B3 : détection analytique du gaz. **P024**

B4 : maintenance préventive. **P025**

B5 : sécurité de rupture. **P026**

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique



Evènement redouté central pour le cas du détendeur est EPANDAGE DE GAZ : (sans barrières)

$$\begin{aligned} P(\text{ERC}_2) &= (P014+P015+P016) \times (P017+P018+P019+P020) \\ &= (10^{-1}+10^{-2}+3 \cdot 10^{-2}) \times (10^{-4}+10^{-4}+5 \cdot 10^{-2}+10^{-11}) \\ &= 1,4 \cdot 10^{-1} \times 2,05 \cdot 10^{-2} \\ &= \mathbf{2,87 \cdot 10^{-3}} \end{aligned}$$

(avec barrières)

$$\begin{aligned} P(\text{ERC}_2) &= [(P014 \times P022)+(P015 \times P023)+P016] \times [(P017 \times P024)+(P018 \times P025)+(P019 \times P026)+P020] \\ &= [(10^{-1} \times 5 \cdot 10^{-3})+(10^{-2} \times 10^{-3})+3 \cdot 10^{-2}] \times [(10^{-4} \times 5 \cdot 10^{-2})+(10^{-4} \times 10^{-2})+(5 \cdot 10^{-2} \times 5 \cdot 10^{-2})+10^{-11}] \\ &= 3,05 \cdot 10^{-2} \times 6,25 \cdot 10^{-6} \\ &= \mathbf{1,9 \cdot 10^{-13}} \end{aligned}$$

La probabilité d'occurrence de l'évènement redouté est de $\mathbf{2,89 \cdot 10^{-3}}$ sans barrières, et $\mathbf{1,9 \cdot 10^{-13}}$ avec barrières de sécurité.

c. Bruleurs :

Les défaillances avec les probabilités relatives sont :

-Fuite dans les conduites P027 : peut-être causée par les petites brèches, contrainte extérieure ou négligence, la valeur recommandée est de (10^{-4})

-Défaillance des injecteurs de gaz fct: cet évènement ne fait qu'aggraver la fuite du gaz, soit par ouverture de l'orifice de flamme, soit détérioration sous pression, donc il est considéré comme facteur aggravant.

-Erreur régulation du débit P028: pour le système de régulation, la probabilité de défaillance et prise (10^{-2}) .

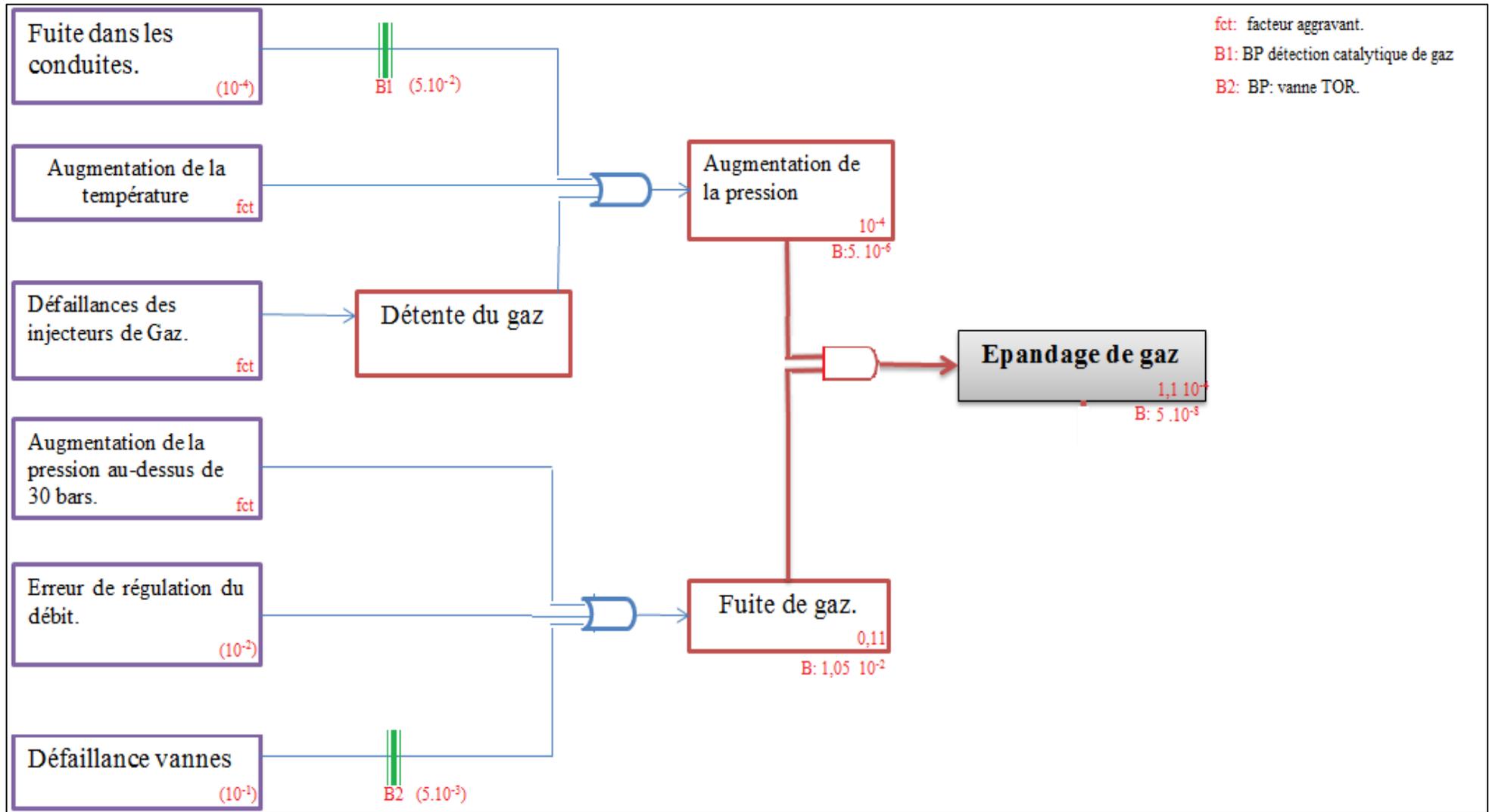
-Défaillance vannes P029: la valeur recommandée dans le rapport est reprise (10^{-2}) .

Pour les barrières de sécurité, taux de défaillance :

B1 :détection analytique du gaz. **P030**.

B4 : vannes TOR. **P031**

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique



Evènement redouté central pour le cas des Bruleurs est EPANDAGE DE GAZ : (sans barrières)

$$\begin{aligned} P(\text{ERC}_3) &= (P027+P028+P029) \\ &= (10^{-4}) \times (10^{-2}+10^{-1}) \\ &= \mathbf{1,1 \cdot 10^{-5}} \end{aligned}$$

(avec barrières) :

$$\begin{aligned} P(\text{ERC}_3) &= (P027 \times P030) \times [P028 + (P029 \times P031)] \\ &= (10^{-4} \times 5 \cdot 10^{-2}) \times [10^{-2} + (10^{-1} \times 5 \cdot 10^{-2})] \\ &= 5 \cdot 10^{-6} \times 1,05 \cdot 10^{-2} \\ &= \mathbf{5,25 \cdot 10^{-8}}. \end{aligned}$$

La probabilité d'occurrence de l'évènement redouté est de **0,1** sans barrières, et **10⁻³** avec barrières de sécurité.

d. Circulation de l'H₂ dans les installations ; stockage d'hydrogène :

Les défaillances avec les probabilités relatives sont :

-Défaut d'isolement P032: cet évènement est probable de se produire quand le système d'évacuation de l'oxygène par le CO₂ n'est pas fiable, ou les vannes d'isolement des gaz sont défaillantes, la valeur prise pour un tel évènement est prise (10⁻¹).

-Evacuation incomplète de l'H₂ P033: soit capteurs défaillants ou défaillance des vannes, la valeur recommandée est (0,05).

-Problèmes de maintenance P034: cas de négligence des opérateurs, la valeur est reprise (10⁻²)

-Joints défectueux P035: pour une telle fuite, le débit est trop faible pour que le mélange soit favorable, et ne peut avoir lieu qu'à des durées longues, la valeur recommandée pour un tel évènement est de (10⁻⁶).

-Ouverture accidentelle des bouteilles P036: en cas de manutention ou actionnement manuel, la valeur recommandée est de (10⁻¹).

-Mauvais serrage P037: très improbable, cas de défaut de fabrication ou corrosion du serrage. La valeur prise est de (10⁻⁴)

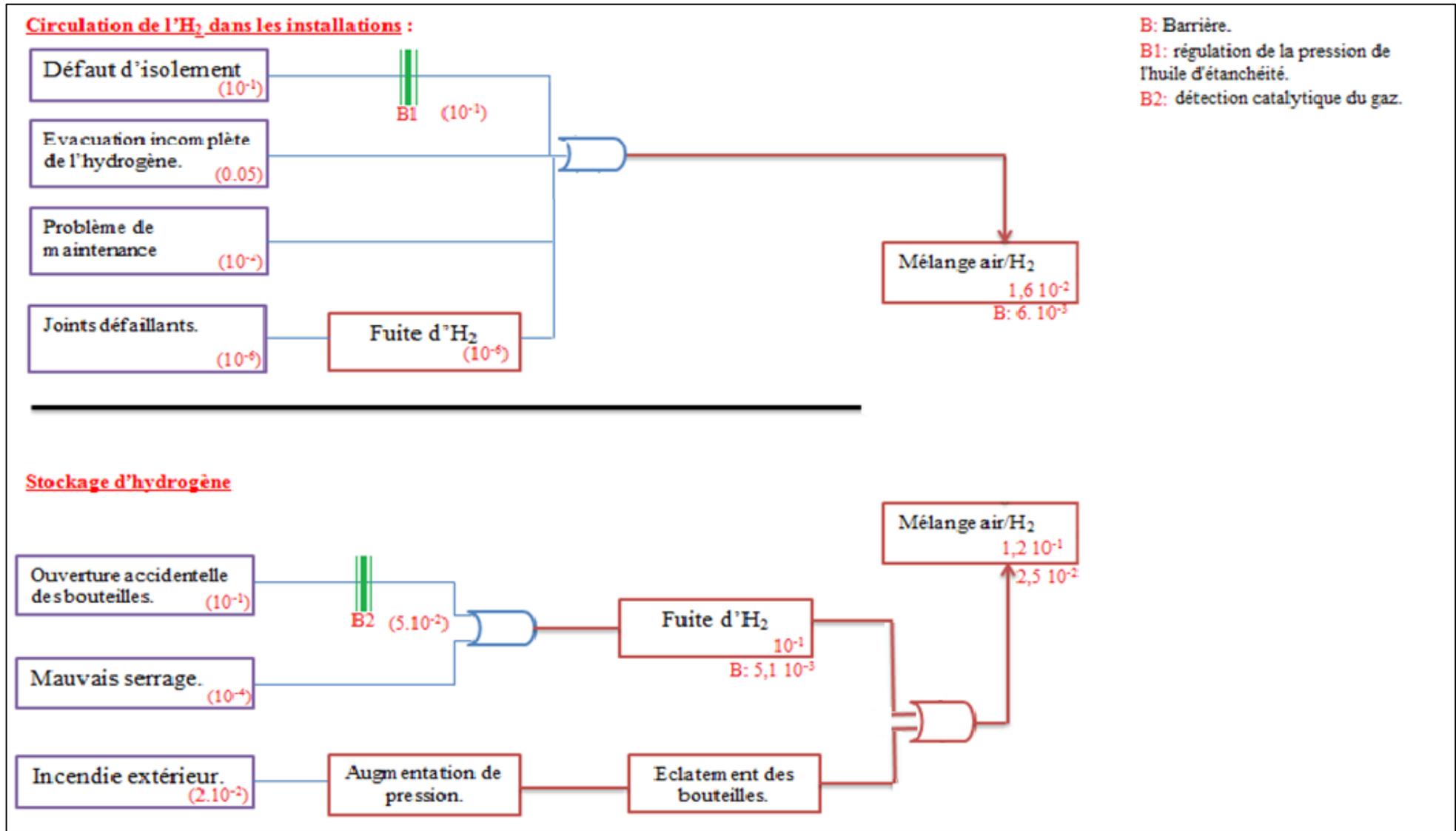
-Incendie extérieur P038: un tel évènement peut survenir en cas d'accident à l'extérieur du site, acte de sabotage, ou lors de la circulation d'engins près du local de stockage. La valeur prise est de (2.10⁻²).

Pour les barrières de sécurité, taux de défaillance :

B1 : Barrière de prévention : régulation de la pression de l'huile d'étanchéité. **P039**

B2 : détection catalytique du gaz **P040**.

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique



Evènement redouté central pour le cas du circuit de refroidissement est MELANGE GAZ/H₂ :

(sans barrières)

$$\begin{aligned} P(\text{ERC}_4) &= (P032+P033+P034+P0335) \\ &= (10^{-1}+0,05+10^{-2}+10^{-6}) \\ &= \mathbf{1,6 \cdot 10^{-2}} \end{aligned}$$

(avec barrières)

$$\begin{aligned} P(\text{ERC}_4) &= (P032 \times P039)+P033+P034+P035 \\ &= (10^{-1} \times 10^{-1})+ 0,05+10^{-2}+10^{-6} \\ &= \mathbf{6 \cdot 10^{-3}}. \end{aligned}$$

La probabilité d'occurrence de l'évènement redouté est de $\mathbf{1,6 \cdot 10^{-2}}$ sans barrières, et $\mathbf{6 \cdot 10^{-3}}$ avec barrières de sécurité.

Evènement redouté central pour le cas du stockage d'H₂ est MELANGE GAZ/H₂ : (sans barrières)

$$\begin{aligned} P(\text{ERC}_4) &= (P036+P037+P038) \\ &= (10^{-1} + 10^{-4}+2 \cdot 10^{-2}) \\ &= \mathbf{1,2 \cdot 10^{-1}} \end{aligned}$$

(avec barrières)

$$\begin{aligned} P(\text{ERC}_4) &= (P036+P037+P038) \\ &= (10^{-1} \times 5 \cdot 10^{-2})+ 10^{-4}+2 \cdot 10^{-2}) \\ &= \mathbf{2,5 \cdot 10^{-2}}. \end{aligned}$$

La probabilité d'occurrence de l'évènement redouté est de $\mathbf{1,2 \cdot 10^{-1}}$ sans barrières, et $\mathbf{2,5 \cdot 10^{-2}}$ avec barrières de sécurité.

VI3. **Résultat** : La probabilité qu'un évènement redouté (ERC) ait lieu dans chaque compartiment:

Tableau 6: Probabilité d'occurrence d'un ERC.

Circuit	Compartiment	ERC	Probabilité d'occurrence (fois/an)	
			Sans barrière de sécurité	Avec barrière de sécurité
Gaz combustible	Séparateur	Epanchage de gaz	10^{-1}	10^{-3}
	Détendeur		$2,87 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-13}$
	Bruleurs		$1,1 \times 10^{-4}$	5×10^{-5}
Hydrogène.	Circuit refroidissement	Mélange air-hydrogène	$1,6 \times 10^{-2}$	6×10^{-3}
	Stockage.		$1,2 \times 10^{-1}$	$2,5 \times 10^{-2}$

Conclusion : ces chiffres vont être utilisés pour le calcul de la probabilité d'occurrence de l'explosion dans l'arbre des effets suivante.

V. Arbre des effets

L'étude menant jusqu'aux évènements redoutés centraux n'est pas terminée, les effets ou les scénarios sont multiples, et dépendront de la source d'ignition si elle est présente au moment de la survenance de l'ERC, et après combien de temps, trois scénarios se présentent :

1. S'il y'a pas d'ignition, il y'aura une simple dispersion des gaz dans l'air.
2. S'il y'a ignition instantanée, soit il y'aura un feu de torche jusqu'à ce que la fuite sera maîtrisée, soit inflammation du mélange, à ce moment il y'aura incendie.
3. Si l'ignition est retardée, et qu'il y ait une formation d'un ATEX, à ce moment il y'aura explosion.

Une fois le gaz naturel ou l'hydrogène soit libéré, et qu'il y ait un mélange favorable à l'explosion, il existe plusieurs scénarios, selon les conditions extérieures et la quantité de gaz libérée, les scénarios important pour l'analyse des effets sont :

- Feu de torche ou incendie : cas où le mélange n'est pas favorable à l'explosion mais à une inflammation, les dégâts peuvent être importants allant jusqu'à la mortalité des personnes présents dans le rayon de l'incendie ou feu de torche, mais ce n'est pas le sujet de notre travail.
- VCE : l'explosion d'un nuage de gaz dans un milieu confiné ne peut avoir lieu que dans la salle des machines, et peut avoir comme cause la rupture de la conduite d'alimentation de la turbine qui est quasiment improbable parce qu'elle est bien protégée, ou bien par fuite au niveau des brûleurs, dont on a étudié les causes et la probabilité d'occurrences,
- UVCE : l'explosion d'un nuage de gaz dans un milieu non confiné ou semi-confiné, il peut avoir lieu dans le poste gaz, et le local d'hydrogène.

L'arbre des effets suivante montre l'enchaînement des effets de façon plus claire :

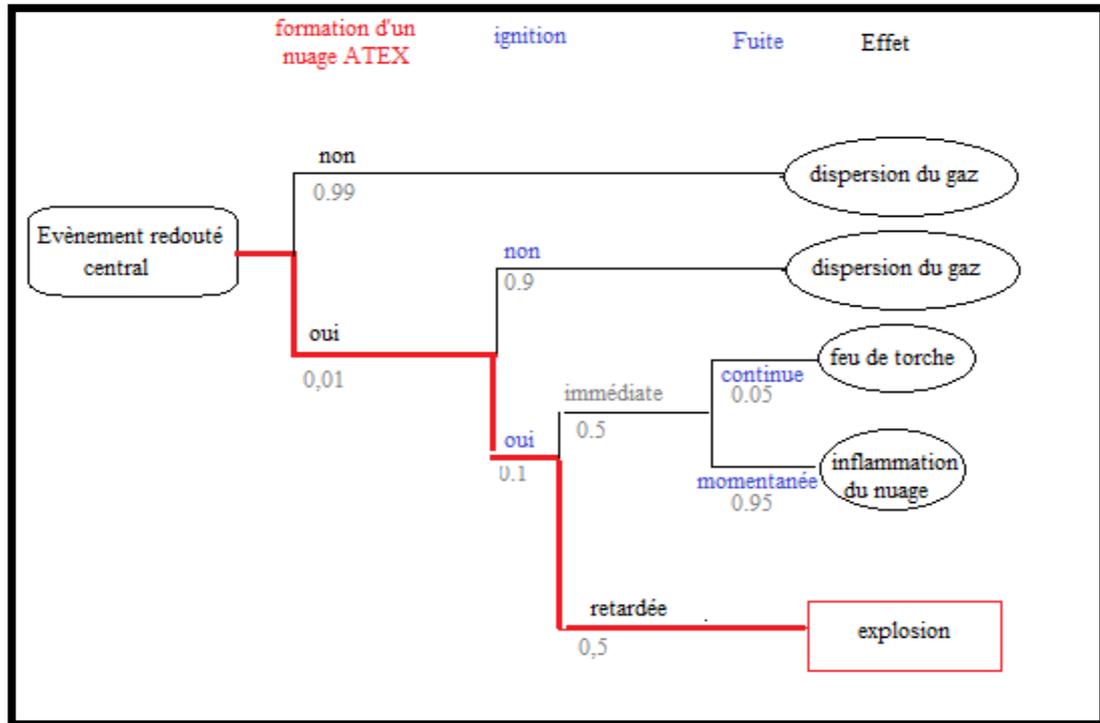


Figure 21 : Arbre des évènements.

Explication :

La probabilité que le nuage ne soit pas dispersé (formation d'une ATEX) est de 10^{-2} .

Probabilité de production de sources d'ignition est 10^{-1} .

La probabilité que l'ignition soit au moment de l'ERC n'est pas prédictible donc 50/50.

Les effets (dispersion, inflammation du nuage formé, feu de torche, explosion) sont des **Evènements redoutés secondaires (ERS)**

De ce fait, on déduit que la probabilité pour qu'une explosion ait lieu

$P(\text{exp}) = 0,1 \times 0,5 \times 0,01 \times P(\text{ERC})$. Soit :

$P(\text{exp}) = P(\text{ERC}) \times 5 \cdot 10^{-4}$.

Le nouveau tableau de probabilité devient :

Tableau 7 : Probabilité d'occurrence de l'explosion.

Circuit	Compartiment	ERS	Probabilité d'occurrence (fois/an)	
			Sans barrière de sécurité	Avec barrière de sécurité
Gaz combustible	Séparateur	Explosion	5.10^{-5}	5.10^{-7}
	Détendeur		$14,35 \times 10^{-7}$	$9,5 \times 10^{-17}$
	Bruleurs		$5,5 \times 10^{-8}$	2.5×10^{-8}
Hydrogène.	Circuit refroidissement		$0,8 \times 10^{-5}$	$0,3 \times 10^{-5}$
	Stockage.		$0,6 \times 10^{-4}$	$1,25 \times 10^{-5}$

Remarque :

On remarque que dans le circuit d'hydrogène, la probabilité qu'une explosion ait lieu est la plus grande, malgré la présence des barrières de sécurité. Contrairement au circuit gaz, où on voit que les barrières de sécurité ont fait diminuer -d'une manière significative- le risque d'explosion. D'où la nécessité d'accentuer et augmenter les mesures de sécurité concernant le circuit d'hydrogène, et de prendre les précautions au sujet des éventuelles défaillances oubliées ou négligées.

Les probabilités pour le poste gaz sont **admissibles**, mais celles de poste hydrogène **ne le sont pas**, effectivement, La probabilité tolérable d'un évènement doit être inférieure à 10^{-5} /an selon la norme (CEI 61882) (CEI). D'où l'on remarque que pour le circuit de refroidissement on est dans les limites, $0,3 \times 10^{-5} \approx 10^{-5}$.

Mais pour le local de stockage d'hydrogène on est dans le domaine intolérable, $10^{-5} < 1,25 \times 10^{-5}$.

La norme [IEC-61511, 2000] décrit pour ce cas (évènement de probabilité intolérable) un système de prévention des installations industrielles, qui est le Système Instrumenté de Sécurité (S.I.S), et qui définit le niveau d'intégrité de sécurité (S.I.L) nécessaire pour les systèmes évoluant vers une voie comportant un risque pour les installations.

VI. Concept des Systèmes Instrumentés de Sécurité (SIS):

Les SIS sont une composante essentielle des dispositifs de prévention des installations industrielles. La définition des fonctions de sécurité, la conception, la maintenance, et la modification des systèmes doivent assurer la disponibilité et la fiabilité de la fonction de sécurité en toute circonstance. Les meilleures pratiques disponibles dans le management des SIS ont été décrites dans la norme [IEC-61511, 2000] pour les industries de procédé.

➤ La norme [IEC-61511, 2000], définit les systèmes instrumentés de sécurité de la façon suivante : « *Système instrumenté utilisé pour mettre en œuvre une ou plusieurs fonctions instrumentées de sécurité (SIF)* ».

a. Définition et Rôle d'un SIS :

Les systèmes instrumentés de sécurité (SIS) sont des combinaisons de capteurs, d'unité de traitement et d'actionneurs (équipements de sécurité) ayant pour objectif de remplir une fonction ou sous-fonction de sécurité. Il nécessite une énergie extérieure pour initier ses composants et mener à bien sa fonction de sécurité [INERIS DRA 73, 2008].

b. Composition d'un SIS :

Les SIS sont constitués de différents éléments unitaires reliés entre eux par des moyens de transmissions. Au minimum, on retrouve en série un capteur, une unité de traitement et un actionneur.

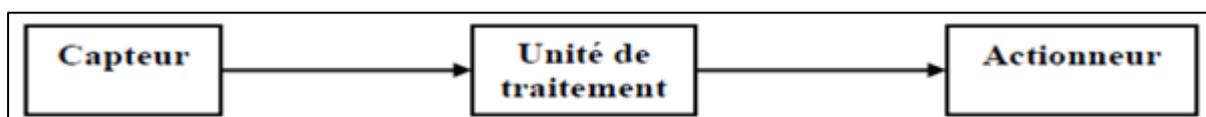


Figure 22 : Schéma d'un SIS simple [INERIS DRA 73, 2008]

c. Niveau d'intégrité de sécurité (SIL) :

Le niveau d'intégrité de sécurité est défini comme la probabilité pour qu'un système relatif à la sécurité exécute de manière satisfaisante les fonctions de sécurité requises (SIF) dans toutes les conditions spécifiées et dans une période de temps spécifiée.

Les normes de sécurité fonctionnelle [IEC-61508, 1998] et [IEC-61511, 2000] définissent une démarche d'analyse du niveau d'intégrité de sécurité (SIL) d'un système. Elles permettent de définir le niveau SIL qui doit être atteint par un SIS qui réalise la fonction de sécurité suite à une analyse de risque. Plus le SIL à une valeur élevée plus la réduction du risque est importante.

Les SIS sont classés en quatre niveaux SIL qui se caractérisent par des indicateurs discrets positionnés sur une échelle de un à quatre niveaux. Les SILs sont employés pour spécifier les

exigences de sécurité des fonctions de sécurité réalisées par des systèmes E/E/EP relatifs à la sécurité selon la norme [IEC-61508, 1998].

Niveau d'intégrité de sécurité (SIL)	Mode de fonctionnement à faible sollicitations.
4	De 10^{-4} à 10^{-5}
3	De 10^{-3} à 10^{-4}
2	De 10^{-2} à 10^{-3}
1	De 10^{-1} à 10^{-2}

Donc pour notre cas, le S.I.L requis est :

$$PFD_{SIS} \leq 10^{-5} / (1,25 \cdot 10^{-5}) = 0,8 \text{ donc une requiert un S.I.L de niveau 1}$$

Conclusion :

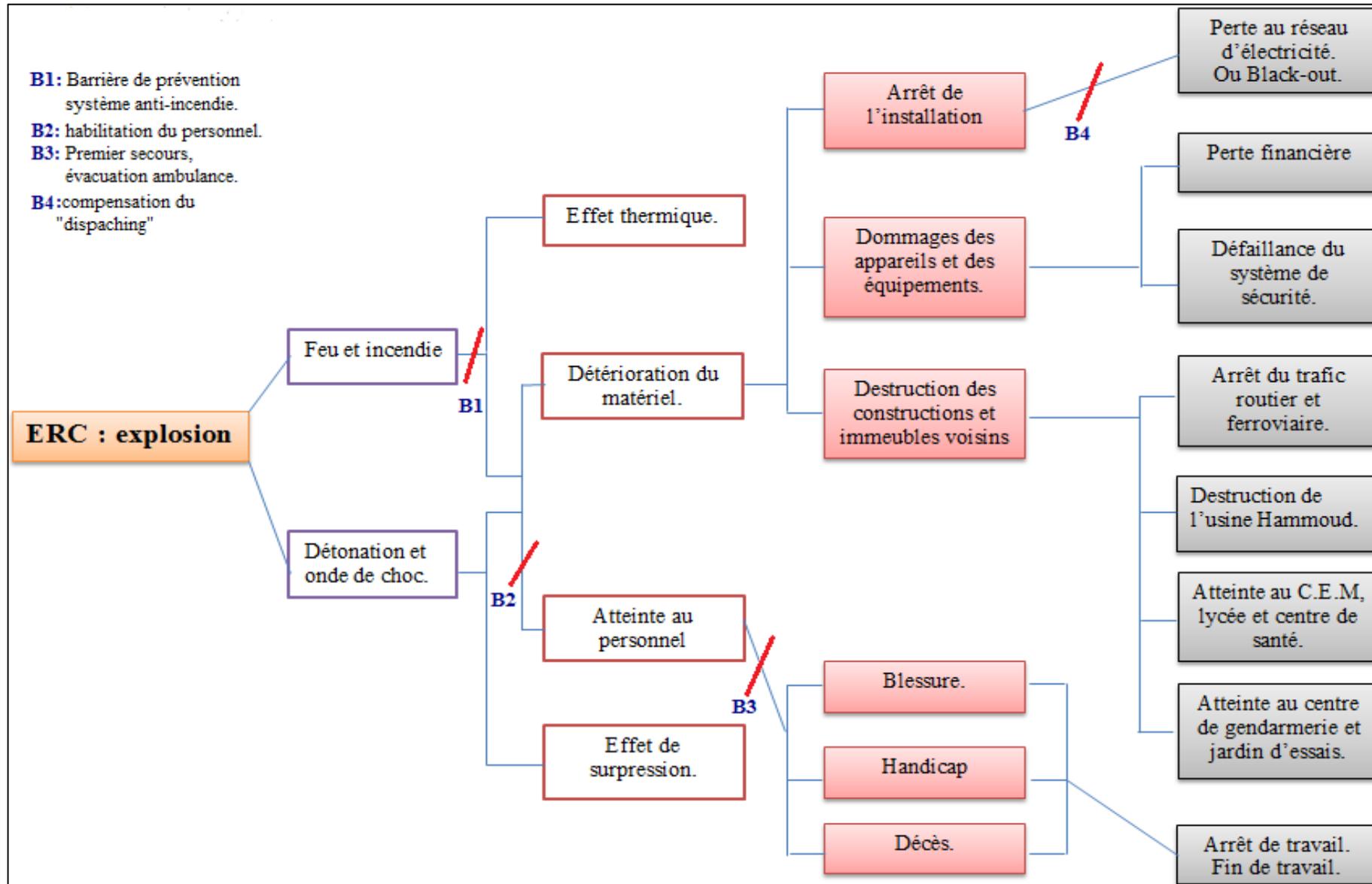
L'étude par arbre de défaillances et le calcul de probabilités, nous a révélé les quantifications recherchées pour déterminer à quel niveau de criticité est le risque d'une explosion dans la centrale électrique, les résultats ont permis à savoir que le risque d'explosion est maîtrisé dans toute l'installation à l'exception du local du stockage d'hydrogène où on est dans la limite du domaine intolérable, et qui requiert une application Système instrumenté de sécurité de niveau S.I.L1 pour réduire de façon efficace le risque d'explosion, l'étude prochaine traitera le sujet des effets de l'explosion sur l'environnement voisin et les répercussions d'un tel phénomène, en se basant sur le logiciel PHAST et la méthodes de l'arbre des conséquences.

VII. Arbre des conséquences :

Les évènements les plus connus après une explosion sont représentés dans l'arbre des évènements, ils sont déduits selon cette méthode pour compléter la représentation en Nœud papillon pour la mise en place des barrières de sécurité (protection), elle va être complétée par l'étude avec le Logiciel de simulation PHAST juste après.

L'arbre des conséquences est :

Evaluation du risque d'explosion dans la centrale électrique



VIII. Effets et dommages d'une explosion sur le site d'El-Hamma :

Les effets d'un tel accident vont être modélisés ci-dessous avec **le logiciel PHAST** :

Le modèle utilisé dans le calcul est « Equivalent TNT », on doit inclure des données comme la masse de l'équivalent TNT, la chaleur de combustion de méthane et d'Hydrogène, méthode d'éclatement.

a. Données à introduire :**Tableau 8 : Données Climatiques.**

Climat	Vent Direction 160°	Température	Humidité
Nuit-stable avec nuages modérés (category 1,5/F)	10km/h	10	60%
Neutre- ensoleillé avec un vent moyen (Category 1,5/D)	15km/h	15	70%
Jour – ensoleillé avec de grand vent. (Category 5/D)	25km/h	20	70%

Les données pour le **Poste gaz** sont comme suit :

- Chaleur de combustion du Méthane : 50MJ/kg.
- Chaleur de combustion du TNT : 4690 kJ/kg.
- Un Rendement (INERIS, juillet 1999) de 20% sur l'énergie de ce gaz.
- Masse du méthane 21kg. (30m³)
- L'équation pour déterminer la masse du TNT équivalente :

$$M_{TNT} = \alpha \times m_{ch4} \times EC_{ch4} / EC_{TNT} \quad (EC = \text{Energie de combustion}).$$

On obtient une masse de 42 kg d'équivalent TNT.

Le logiciel PHAST nous donne les effets de surpression de l'explosion, selon la méthode TNT, on doit se référer à un ABAQUE TMS 1300(Annexe3) qui détermine les seuils de dégâts humains et matériels.

b. Les résultats donnés par le PHAST sont :

i. Poste Gaz :

Le graphe de surpression par rapport à la distance :

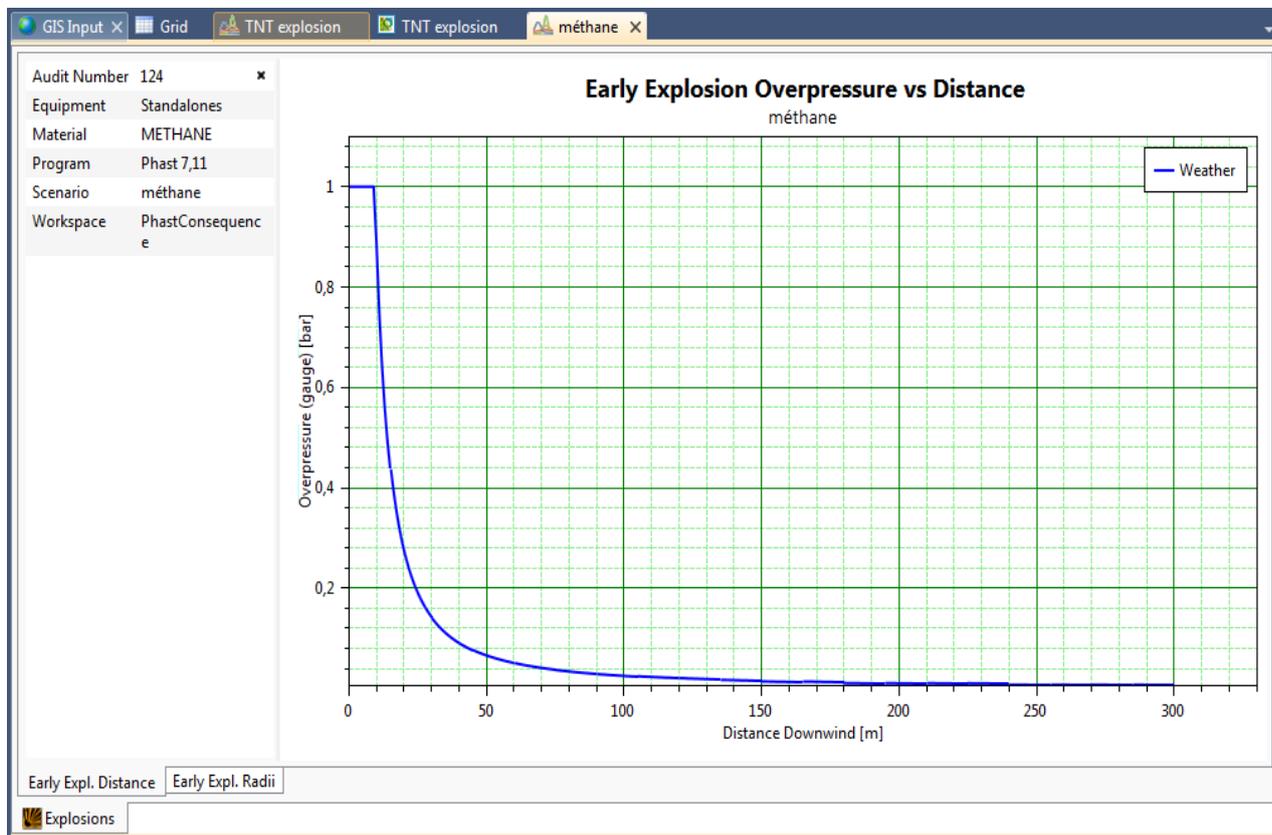


Figure 23: Graphe de surpression

Le graphe montre que de 0 à 25 m la surpression diminue de 1 à 0,1 Bar, après elle devient minime jusqu'à 250 m où elle disparaît.

Selon l'ABAQUE TMS 1300, les effets d'une explosion par aux distances sont comme suit :

- de 0 à 7 m : 1(Bar) éclatement des poumons chez l'homme, incluant tous les dégâts en-dessous.
- De 7 à 10 m : destruction totale des bâtiments, dommages graves aux machines, destruction des maisons, destruction des murs en béton armé, démolition complète des conteneurs ferroviaires chargés, renversement des wagons de chemins de fer.
- De 10 à 15 m : destruction des poteaux en bois, destruction des bâtiments légers en charpente métallique, rupture des réservoirs de stockage.
- De 15 à 40 m : démolition des cadres acier, effondrement à 50% des maisons en briques et toits, destruction totale des vitres.

- De 40 à 100 m : dommages mineurs aux structures des maisons, destruction de 50% des vitres, propulsion de projectiles.
- De 100 à 300m : pression typique des bris de vitres, son de détonation, pas de dégâts.

Les résultats essentiels :

(Remarque : pour les trois types des conditions climatiques ont donné les mêmes résultats)

Seuil des effets	20 mBar S.E.I.I	50 mBar S.E.I	140 Mbar S.E.L	200mBar SELS
Distance affectée	120m	50m	34m	25m

S.E.L.I : Seuil des Effets Irréversibles, effets Indirectes.

S.E.I : Seuil des Effets Irréversibles.

S.E.L : Seuil des Effets Létaux.

S.E.L.S : Seuil des Effets Létaux significatifs.

La cartographie du site et l'impact de l'explosion jusqu'au dernier point seuil des effets indirects (20 mBar) :

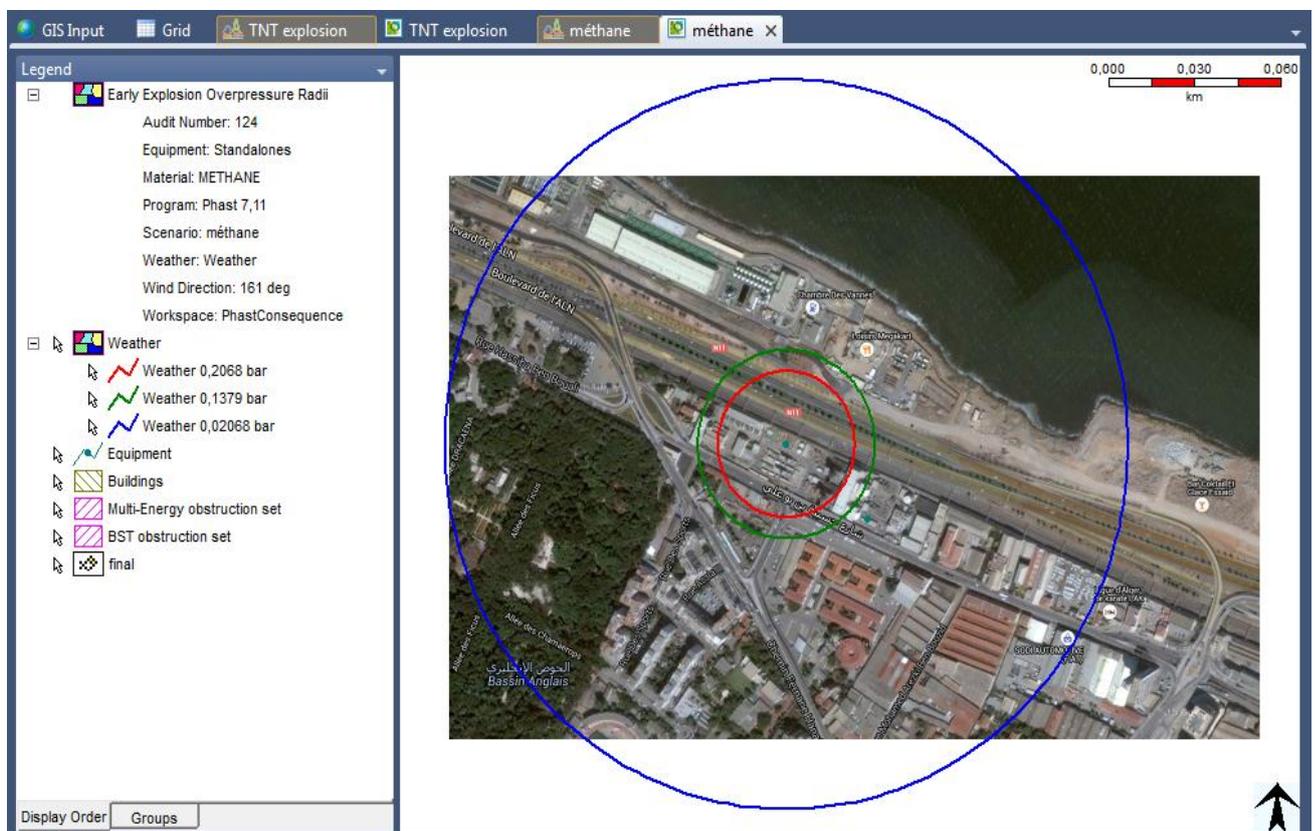


Figure 24 : Cartographie des effets (explosion méthane).

Donc pour mieux présenter les effets :

- Surpression > 140 mBar : zones affectées (destruction totale) sont le poste gaz, le bac fuel se trouvant à 6m du poste gaz, les TG/mobiles, le mur de la centrales.
- Surpression > 50 mBar : seuil des premiers effets létaux, zones affectées : le chemin de fer (destruction des wagons de train s'il passe au moment de l'explosion), le bac anti-incendie.
- Surpression > 20 mBar : seuil des effets indirects, les zones affectées sont : la salle des machines, la rue Hassiba Ben Bouali, l'école primaire, l'autoroute et quelque bâtiments se trouvant dans la zone montré dans la cartographie.

ii. **Poste Hydrogène :**

Les données pour le local de stockage **d'hydrogène** sont comme suit :

- Chaleur de combustion du Méthane : 120MJ/kg.
- Chaleur de combustion du TNT : 4690 kJ/kg.
- Un Rendement (INERIS, juillet 1999) de 20% sur l'énergie de ce gaz. (la valeur moyenne est de 10%, pour avoir une marge sécuritaire on prend 20%).
- Masse de l'hydrogène est de 0,976 kg. (10,8m³)
- L'équation pour déterminer la masse du TNT équivalente :
$$M_{TNT} = \alpha \times m_{h_2} \times EC_{h_2} / EC_{TNT} \quad (EC = \text{Energie de combustion}).$$

On obtient une masse de 4,69 kg d'équivalent TNT.

Le logiciel PHAST nous donne les effets de surpression de l'explosion, selon la méthode TNT, on doit se référer à un ABAQUE TMS 1300(Annexe3) qui détermine les seuils de dégâts humains et matériels.

Le graphe de surpression pour l'hydrogène :

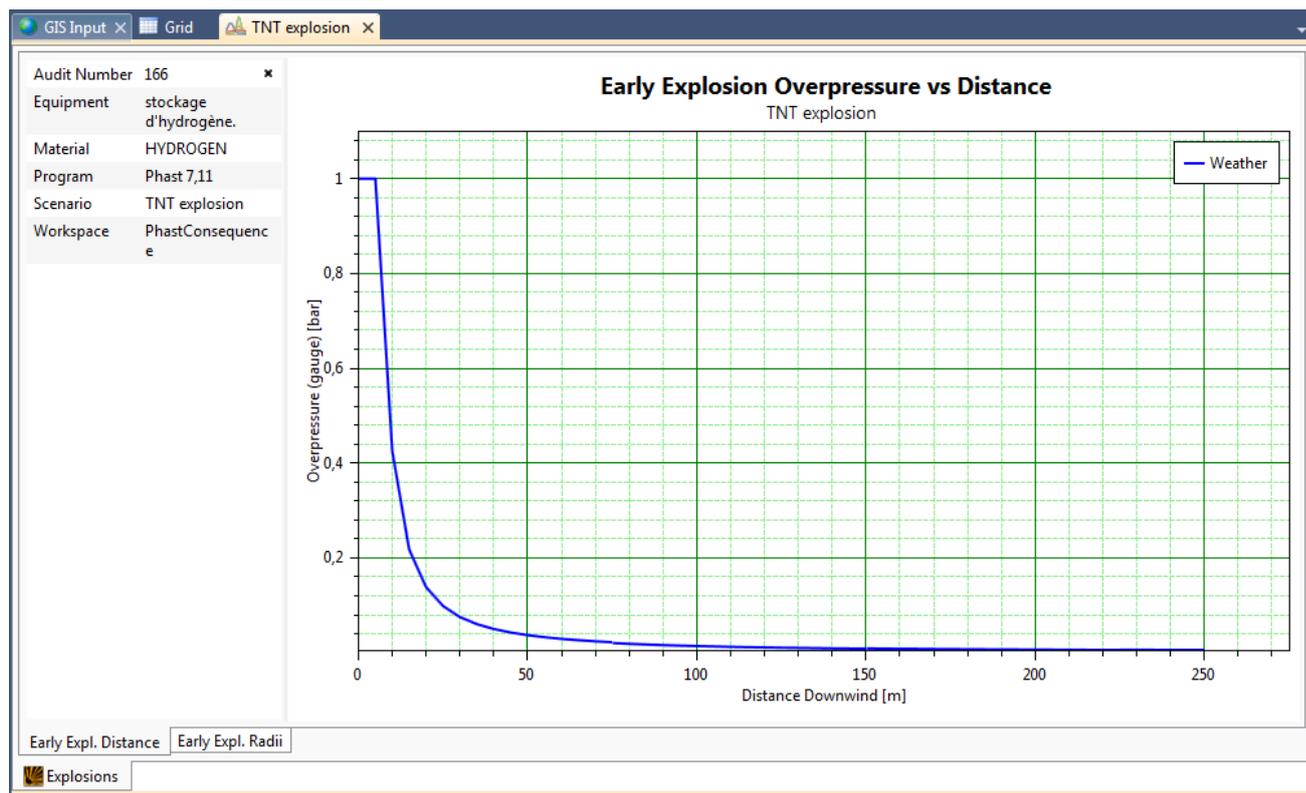


Figure 25 : Graphe de surpression de l'hydrogène.

Analyse du graphe :

Ce graphe montre qu'à partir de 0 à 40 m la surpression diminue de 1 à 0,1 Bar, après elle devient minimale jusqu'à 250 m où elle disparaît.

Selon l'ABAQUE TMS 1300, les résultats sont comme suit :

- de 0 à 7 m : 1(Bar) éclatement des poumons chez l'homme, incluant tous les dégâts en-dessous de ce seuil.
- De 7 à 10 m : destruction totale des bâtiments, dommages graves aux machines, destruction des maisons, destruction des murs en béton armé, démolition complète des conteneurs ferroviaires chargés, renversement des wagons de chemins de fer, destruction des poteaux en bois, destruction des bâtiments légers en charpente métallique, rupture des réservoirs de stockage.
- De 15 à 40 m : démolition des cadres acier, effondrement à 50% des maisons en briques et toits, destruction totale des vitres.
- De 40 à 100 m : dommages mineurs aux structures des maisons, destruction de 50% des vitres, propulsion de projectiles.
- De 100 à 300m : pression typique des bris de vitres, son de détonation, pas de dégâts.

Partie Pratique
Mesures et recommandations

Les résultats essentiels :

- (Remarque : pour les trois types des conditions climatiques ont donné les mêmes résultats)

Seuil des effets	20 mBar S.E.I.I	50 mBar S.E.I	140 Mbar S.E.L	200mBar SELS
Distance affectée	80m	42m	23m	15m

S.E.L.I : Seuil des Effets Irréversibles, effets Indirectes.

S.E.I : Seuil des Effets Irréversibles.

S.E.L : Seuil des Effets Létaux.

S.E.L : Seuil des Effets Létaux significatifs.

La cartographie du site et l'impact de l'explosion jusqu'au dernier point seuil des effets indirects (20 mBar) :

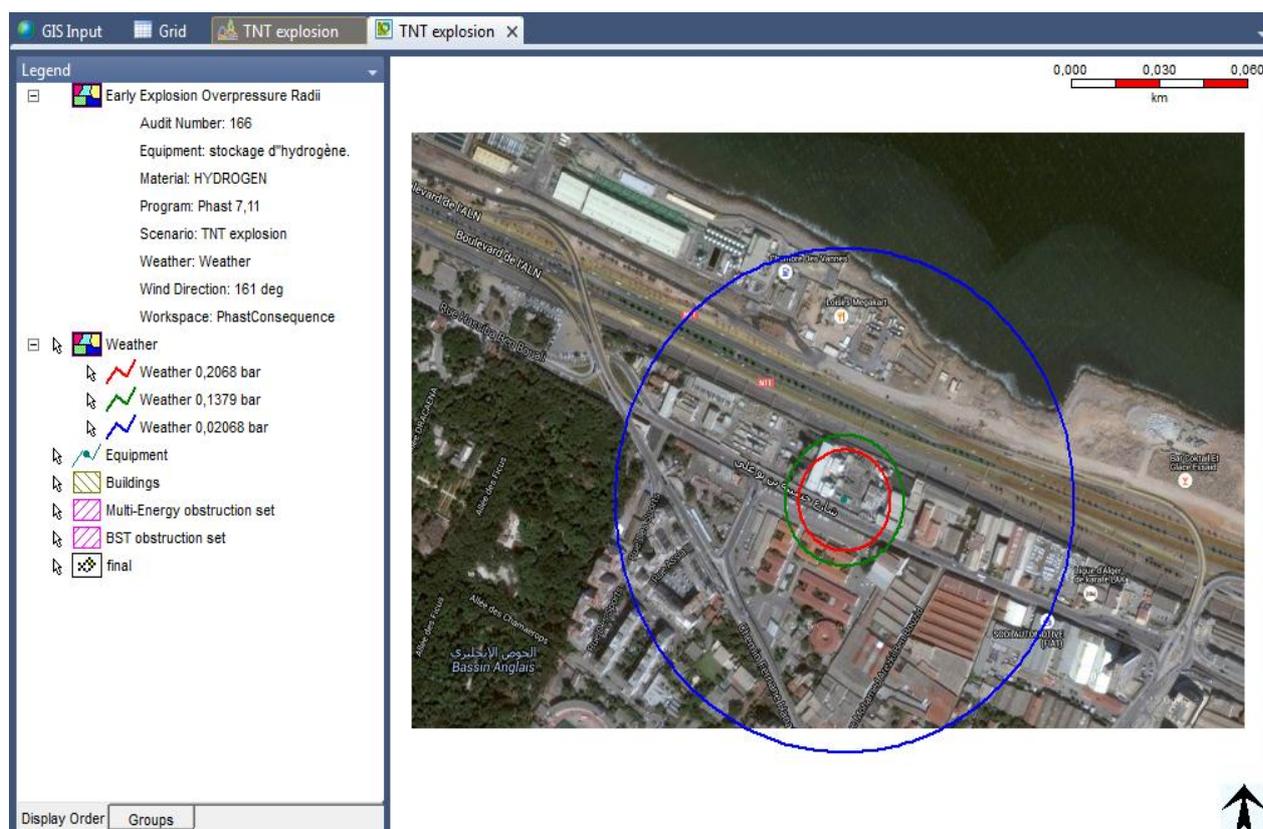


Figure 26 : cartographie des effets (explosion hydrogène).

Pour les effets significatifs usuels :

- Surpression > 140 mBar : Les zones affectées (destruction totale) sont le poste stockage d'hydrogène, le local des batteries, salle de commande, les aéro-

réfrigérants, salle des machines, les deux transformateurs, une partie du bâtiment administratif, la partie de route incluse dans le cercle rouge.

- Surpression > 50 mBar : seuil des premiers effets létaux, zones affectées : le chemin de fer (destruction des wagons de train s'il passe au moment de l'explosion), bâtiment administratif, atelier de maintenance.
- Surpression > 20 mBar : seuil des effets indirects, les zones affectées sont : toute la centrale électrique jusqu'au dernier point côté ouest, la rue Hassiba Ben Bouali, CEM, la gendarmerie, l'autoroute et quelques bâtiments se trouvant dans la zone montrée dans la cartographie.

Analyse des résultats :

On remarque que l'explosion générée par l'hydrogène est beaucoup plus significative que l'explosion du méthane (poste gaz) vis-à-vis des dégâts causés (cibles), cette dernière (explosion poste gaz) cause des dégâts matériels graves, mais les dégâts humains sont rares si ce n'est pas jamais, puisque les personnes ayant accès sont un seul agent voire deux, et possibilité d'atteinte aux passagers de train si le train passe par cette zone au moment de l'éclat ;

Par contre, une explosion générée par l'hydrogène, non seulement elle cause la détérioration de presque toutes les installations du site puisque elles se trouvent à proximité, mais aussi elle cause des dégâts humains importants, parce que la totalité du personnel se trouve à proximité ou dans la zone de seuil des effets létaux.

Autres conséquences :

Pertes matérielles et financières, arrêt de l'installation, détérioration des machines, perte de 2x229 MW pour le réseau d'électricité, arrêt du trafic routier et ferroviaire, panique.

CHAPITRE IV :

Mesures empêchant une explosion de se produire :

Pour éviter la formation d'un nuage favorable déclenchant une explosion, on doit agir ou supprimer au minimum l'un des composants essentiels d'une ATEX : le gaz inflammable, le comburant ou l'énergie d'inflammation :

1. Prévention, actions sur les gaz inflammables :

Le concept est donc d'agir sur la concentration du gaz en la maintenant hors du domaine d'explosivité ($LIE < [C] < LES$), cette concentration doit rester inférieure à 25% de la LIE dans l'ensemble de l'installation et à 10% de cette limite si des personnes travaillent dans cette atmosphère ; pour se faire, les mesures sont :

- a. Appliquer les mesures de sécurité pour éviter toutes possibilités de fuite ou d'épandage de gaz pouvant ainsi former un nuage. (les mesures sont citées dans le tableau HAZOP de plus à l'application d'un système de management de sécurité SIS).
- b. Diminution de la concentration par aération :
 - La chambre de stockage d'hydrogène se trouvant à l'extérieur, subit une circulation naturelle de l'air ambiant, mais pas suffisante pour permettre une bonne aération, d'où la nécessité de mettre des fenêtres accentuant le débit et la quantité d'air circulant (au minimum 0.3 m.s^{-1} débit d'air) et permettant d'évacuer les petites fuites d'hydrogène capables de créer une atmosphère explosive, l'option de ventilation n'est pas nécessaire, surtout que les fuites sont pratiquement rares, ainsi par rapport au coût d'exécution. Donc pour raison de sécurité et de certitude, des détecteurs de gaz et des prises d'échantillonnage sont recommandés pour signaler tout risque de fuite, et appliquer les mesures nécessaires pour transmettre l'information et éviter la formation d'une ATEX.

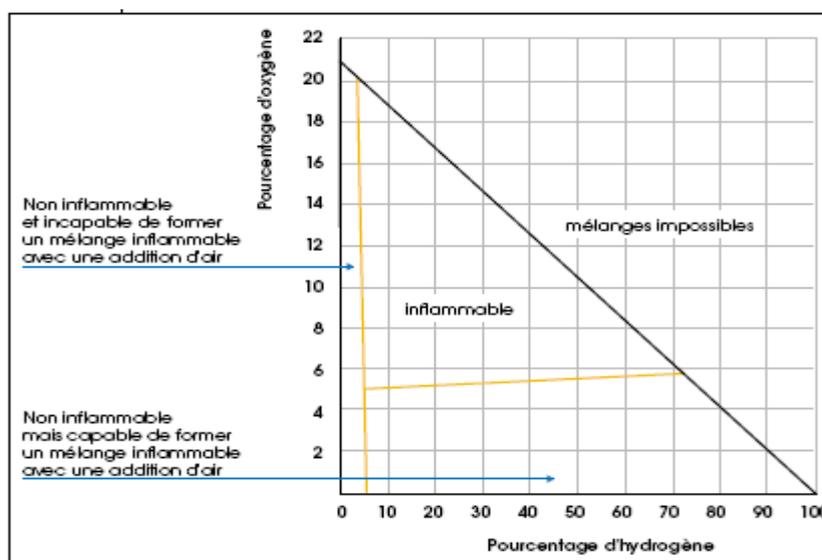


Figure 27 : Inflammabilité du mélange Air/hydrogène.

- Pour le local des machine, l'emplacement et suffisamment aéré, et ne nécessitant pas un système de ventilation, et même pour qu'une atmosphère explosive soit créée, il doit y avoir une énorme fuite de gaz (rupture de conduite) que la ventilation artificielle ne peut pas contrôler, le seul moyen est de couper l'alimentation en gaz, et d'éviter toutes sources d'énergie.

2. Prévention, actions sur les sources d'inflammation :

Les procédures sont et doivent être strictes concernant d'interdire les travaux ou situation pouvant générer une source d'énergie que ce soit dans la salle des machines, la chambre de stockage d'hydrogène ou à voisinage, sans ça, l'explosion ne peut pas avoir lieu, ces sources peuvent être essentiellement :

- Les flammes et feux nus,
- Les surfaces chaudes,
- Les étincelles d'origine mécanique,
- L'électricité statique,
- Les étincelles dus aux matériels électriques,
- Les ondes magnétiques.

a. Flamme et feux nus :

Les mesures sont telles que, interdire les travaux par « points chauds » (soudage et découpage) sauf cas particulier ou le permis de feu est nécessaire pour prévenir tout risque d'explosion, l'interdiction de fumer,

b. Surfaces chaudes :

La température des surfaces ne doivent pas dépasser ou s'approcher de la température d'auto-inflammation des gaz, les surface sont généralement les parois d'enceintes, les canalisations de fluides, les pièces des machine et les appareils de chauffage, pour cela des systèmes d'arrosage sont asservies avec des détecteurs de température

c. Les étincelles d'origine mécanique :

Les appareils (meules, marteaux piqueurs, pompes, vannes, moteurs...) et objets (chaussures cloutées, outils...) utilisés dans ces enceintes doivent obligatoirement être de type ATEX empêchant ainsi une déflagration ou génération des étincelles, elles sont catégorique par rapport au zones ATEX (sujet traité en détail dans le projet Master : LES ZONES ATEX).

d. L'électricité statique :

La décharge d'électricité statique peut apporter une énergie jusqu'à quelques centaines de micro-joules nécessaires d'enflammer un mélange gazeux, cette énergie est liée aux charges Q accumulées dans une capacité C , sous une tension V selon l'expression $W=1/2QV=1/2CV^2$.

Le corps humain est susceptible d'accumuler des champs électrostatiques correspondant à une énergie de quelques milli joules, l'accumulation de cette charge s'observe surtout lors de rupture de contact et frottement entre deux corps dont un au moins est un isolant (résistivité $>10^{10} \Omega/\text{cm}$). Les circonstances les plus courantes sont : l'écoulement d'un fluide isolant dans une canalisation ou un récipient et plus encore lorsqu'elle se fait en pluie, l'écoulement de gaz chargé de particules liquides ou solides (eau, poussières), le frottement de diverses natures (courroies, poulies), l'orage, la mise à la terre, le frottement,

e. Les étincelles dus aux matériels électriques :

L'origine de ces étincelles est soit dû à l'ouverture d'un circuit inductif (bobinage électrique : relais, électrovannes, etc.) donc le matériel utilisé doit être de type ATEX, soit l'échauffement superficiel électrique, il entraîne un échauffement des conducteurs électriques actifs, et par conduction thermique, un échauffement des enveloppes externes et des bornes de connexion, le risque est évidemment accru lors de surcharge ou de court-circuit.

f. Les ondes magnétiques :

Les ondes électromagnétiques, émises par des émetteurs (radio, radar) ou par des machines industrielles, peuvent entraîner la production d'étincelles entre pièces conductrices jouant le rôle d'antennes réceptrices, ou provoquer l'échauffement de matériaux. Des étincelles ATEX ne doivent pas pouvoir se former dans ces circonstances.

3. Protection, mesures limitant les effets d'explosion :

L'introduction d'un gaz inerte dans un mélange d'air avec un gaz entraîne l'appauvrissement relatif du mélange en oxygène. Au-dessous d'une certaine proportion d'oxygène, appelée MOC, l'inflammation est possible. Le mélange combustible/comburant n'étant pas homogène, il convient d'appliquer un coefficient de sécurité, pour de nombreux gaz, la MOC est comprise entre 10 et 15%, dans l'installation, on se fixe comme objectif une teneur en oxygène inférieure à 5%.

La mise à l'état inerte se fait généralement lors de la maintenance de l'alternateur ou à l'arrêt de l'installation, donc les proportions dites doivent être respectées pour éviter toutes formations d'un ATEX.

Conclusion :

Pour récapituler les mesures de sécurité nécessaires pour la gestion du risque d'explosion :

- Eviter les fuites et toute défaillance possible des systèmes de régulation, de détection, de manipulation, de maintenance et de commande (Tableau HAZOP)
- Mettre en place un SIS de niveau SIL 1, qui aide à minimiser la probabilité d'occurrence de l'explosion dans le poste hydrogène.
- Appliquer les mesures de prévention : actions sur les sources d'inflammation et déterminer les Zone ATEX.
- S'Assurer que les systèmes de protection (anti-incendie, ventilation, arrêt flamme) fonctionnent et qu'ils sont à jour.

CONCLUSION GENERALE:

La centrale électrique comme toutes les installations industrielles est soumise à des aléas et risques qui menacent sa pérennité et mis en dangers la sécurité des biens et des hommes, surtout qu'elle est située en plein centre de la capitale et entourée de plusieurs établissements et sites urbains, parmi ces dangers il y'a le risque d'explosion qui doit faire l'objet de gestion et d'étude approfondie afin de déterminer le niveau de criticité du phénomène et proposer des mesures de sécurité si nécessaire, tel est l'objectif de cette étude.

Cette étude a porté sur la définition de quelques termes et concepts pour mieux comprendre l'approche d'évaluation des risques qui constitue une étape essentielle dans la démarche, et sur quel zone l'étude s'est faite, qui est dans ce projet le local poste gaz (méthane) et le circuit de refroidissement de l'alternateur avec le gaz Hydrogène, qui sont spécialement choisis vis-à-vis des propensions redoutées de ces deux gaz, légers, vitesse de propagation dans l'air, et facilement inflammable et/ou détonant, Les méthodes utilisées sont des plus connues dans le domaine de l'analyse des risques, et qui ont fait montrer une liste élargie de défaillances et de dysfonctionnements possibles présents dans l'installation d'El-Hamma avec leurs probabilités de défaillance, ainsi que les mesures nécessaires et les moyens de lutte et de protections contre ces risques ;

L'évaluation du phénomène et des scénarios menant à l'explosion a mis en évidence sa fréquence d'occurrence dans cinq compartiment différents de l'installation entre poste gaz et circuit hydrogène, celles des poste gaz sont maîtrisées et tendent presque vers l'infini, mais celles du poste hydrogène : on a une (circuit de refroidissement) qui n'est pas dans le domaine mais à la limite du domaine tolérable exigé par la norme (CEI 61882), et une autre (local de stockage H₂) qui est totalement dans le domaine intolérable proche de la limite de 10⁻⁵, cette norme exige pour ce cas, pour améliorer le niveau de sécurité, un d'élaborer un Système Instrumenté de Sécurité d'un niveau S.I.L 1, à l'aide des moyens de détection et de prévention efficaces, agissant sur les gaz combustibles en les minimisant, et sur les sources d'énergie ou d'inflammation en les supprimant.

La modélisation des effets d'une éventuelle explosion dans la centrale électrique a été faite en utilisant le logiciel de simulation PHAST et qui a donné les seuils de surpression par distance des deux explosions possibles dans le poste gaz et hydrogène par la méthode équivalent TNT, où on a remarqué qu'une bonne partie des établissements et sites voisins peuvent être atteints incluant les voies de de transport ferroviaire et routière, d'où la nécessité d'informer les riverains sur les risques

qui menacent leur maisons et quartiers, et de prendre les dispositions nécessaires pour se protéger d'un tel accident.

Ce travail d'évaluation du risque constitue une plateforme d'aide et peut être complété par d'autres études qui ne font qu'améliorer le système de sécurité, ces études en perspective sont d'élaborer le SIS de SIL 1 proposé dans la démarche d'évaluation par probabilité d'occurrence, et qui est nécessaire surtout que le danger soit dans le domaine intolérable, puis, par rapport à la méthode utilisée pour la modélisation 'TNT', on aurai aimé voir une comparaison de cette méthode avec les autres méthodes de calcul et de modélisation telles que 'multi-énergie' et 'Baker-Strehlow'. Ensuite et enfin, étudier l'effet domino d'une série d'explosions possibles dans l'installation et de voir quelles sont les conséquences relatives à un tel phénomène.

Bibliographie :

ACEF environnement. (s.d.). *Evaluation du risque*. Alger. Rapport du bureau d'étude réglementation environnementale, l'ACEF environnement.

ARIA Developpement. (juillet 1999). Base de données "*accidenologie de l'Hydrogène*". lyon.

Cartier Sophie, M. C. (2009-2010). *Gaz combustibles*. Projet UE 5.

CEI. (s.d.). *Norme CEI 61882*. CEI.

cfppa.fr/infocampus/. (s.d.). Brochure *gestion-des-risques*.

E.Bernuchon, E. (juin 2006). *méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle*. Document INERIS.

(s.d.). *Etude de dangers station électrique Fkirina*.

INERIS. (1998). *guide d'ATEX pour les néophytes*. INERIS.

INERIS. (2008). *DRA 73. évaluation des barrières techniques de sécurité OMEGA 10*, INERIS DRA.

INERIS. (juillet 1999). *guide des méthodes d'évaluation des effets d'une explosion de gaz à l'air libre*. direction des risque accidentels.

INRS. (2005). *Evaluation des risques professionnels*. Paris: groupe Corlet S.A.

Mizehri, M. (2012/2013). *Centrale Turbine à Gaz Production électrique EL-Hamma II*. Alger.

Norme EN 1127-1. (s.d.). *norme française. Méthodes d'évaluation des situations dangereuses* .

OFEFP. (Mai 1996). *Ordonnance: Etude de risque d'une citerne pour gaz liquéfié*. OFEFP.

Sonalgaz Production Electrique SPE.Spa. (2008). *poste de détente centrale électrique HAMMA* . Alger.

TÜV Bayern Group. (juin 2001). *Hydrogen, the energy carrier*. Munich.

Annexes :

Annexe 1 : nomenclature du plan de masse.

Indices	Désignations
1	Salles des machines
2	Cheminées
3	Cabines de contrôle
4	Transfos principaux
5	Cuvette d'huile
6	Transfos de soutirage
7	Locale pompes incendie
8	Transfo de réseau
9	Bâtiment électrique / salle de contrôle
10	Local bouteilles d'hydrogènes
11	Loge de garde
12	Bureaux / laboratoire
13	Atelier / magasin
14	Aéro- réfrigérant alternateur
15	Locale diesel
16	Station d'eau déminéralisée (Abri)
17	Réservoir eau sanitaire
18	Réservoir eau incendie
19	Aéro- réfrigérant huile
20	Filtres séparateurs gaz naturel
21	Station comptage de gaz
22	Local compresseur
23	Réservoir propane d'allumage
24	Poste fuel
25	Réservoir fuel 2x100 m3
26	Filtres et compteur de gaz naturel
27	Poste gaz et réchauffeur
28	Fosse de transfert eaux huileuses
29	Parc à huiles
30	Nouveau poste gaz
31	Bureaux
32	Atelier et magasin ancienne centrale
33	Loge de quart ancienne centrale
34	Groupes turbo alternateurs 210 Mw
35	Aire de stockage des conteneurs

Annexe 2 :

PHAST (Process Hazard Analysis software tool) qui peut se traduire par Outil logiciel d'analyse de risque de procédé, est le plus connu et compréhensif des logiciel d'analyse de risques de procédé dans le monde. PHAST examine la progression d'un accident potentiel depuis la libération de l'énergie jusqu'au plus loin point de dispersion utilisant des modèles d'épandage et évaporation de fluides d'un réservoir, et les effets inflammables et toxiques des substances et des gaz.

L'outil d'analyse des conséquences est pris comme standard industriel d'analyse des risques d'inflammabilité, incendie, explosion et toxicité, et est utilisé par près de 800 organisations dans le monde, ce logiciel est développé continuellement depuis 30 ans.

Pour atteindre les objectifs de la gestion des risques, il faut avoir une connaissance approfondie des dangers présents dans l'installation, le PHAST est l'outil rapide et précis dans l'évaluation des menaces et phénomènes dangereux générés par les différents types de danger.

Le PHAST fait partie des modèles intégraux utilisés dans la modélisation numériques

Les **modèles intégraux** sont à utiliser dès que le rejet perturbe l'écoulement atmosphérique de l'air.

Pour la modélisation des nuages de gaz passifs (dès leur rejet ou après une dilution suffisamment importante), l'outil intégral utilise un modèle gaussien.

Autres logiciels similaires :

EFFECTS (TNO, Pays-Bas)

SAFER (Safer Systems, USA)

SEVEX (Atm-Pro / Faculté Polytechnique de Mons, Belgique)

Avantage :

- Des résultats fiables : les modèles sont vérifiés et validés de façon continue ;
- Rapport détaillé et étendu : rapport complet et intelligible, des graphes faciles à lire et intuitifs.
- Application élargie : différentes sortes de libération ou évènements non souhaités à modéliser, fuite, tuyauterie, pipes, rupture de conduite, dispositifs de secours, rupture de récipient et autres...
- Evaluation de différents dangers et risques : inflammable, détonnant, toxique.

Les utilités du PHAST sont :

- Faculté d'utiliser plusieurs paramètres (climat, dispersion, concentration des polluants, toxicité)

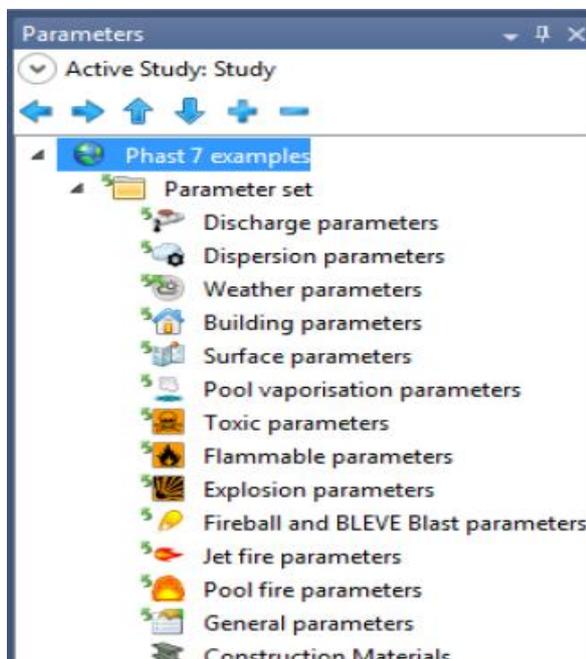


Figure 28: ensemble de paramètres du logiciel.

- Nombreux produits et matériels à utiliser (avec toutes les propriétés distinctes).

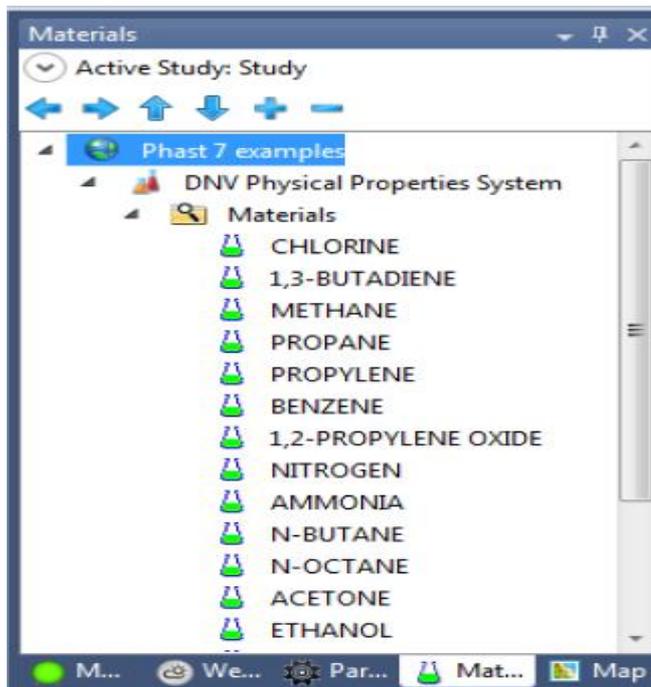


Figure 29: ensemble de paramètres.

- Utiliser les données géographiques et la cartographie pour localiser le site et modéliser les effets.

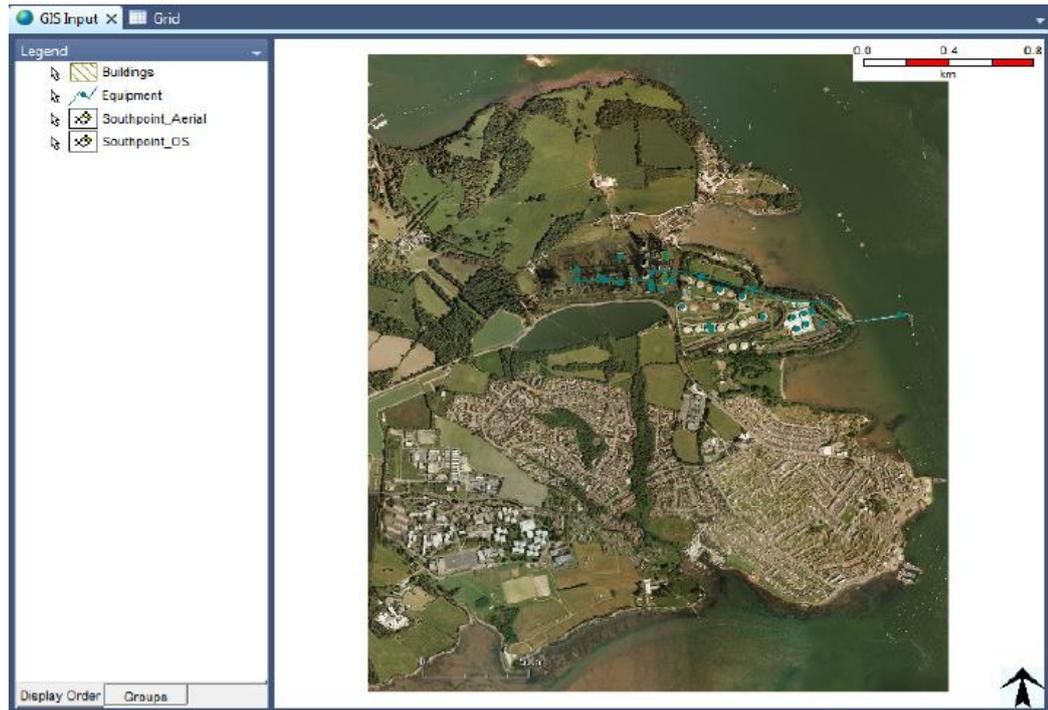


Figure 30 : Localisation scénarios dans la cartographie.

- Fournir des rapports détaillés avec les seuils de pressions, toxicité, concentrations, effets thermiques, effets létaux, distance d'effets etc...

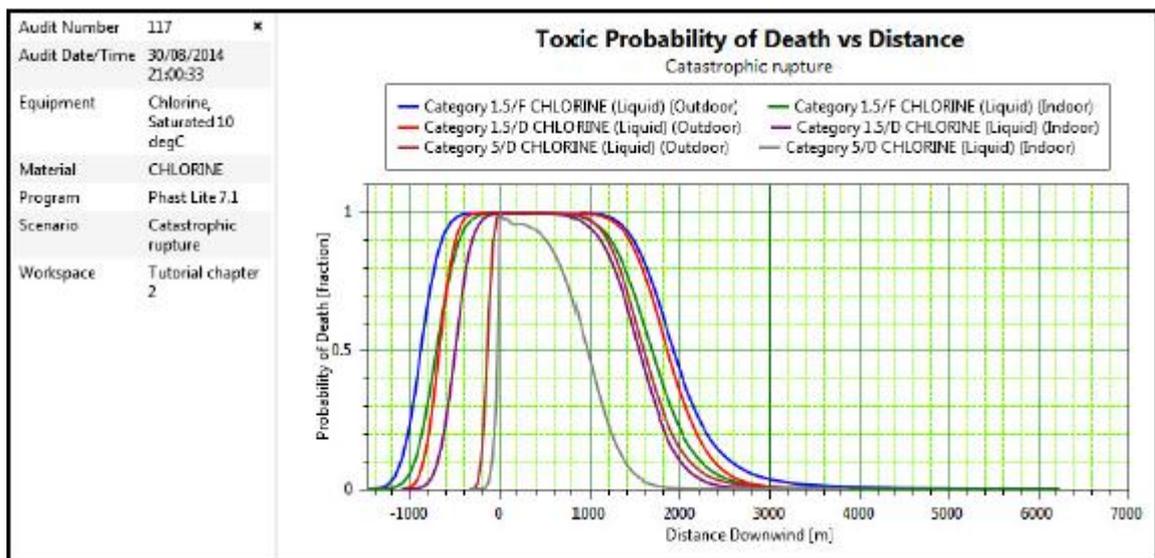
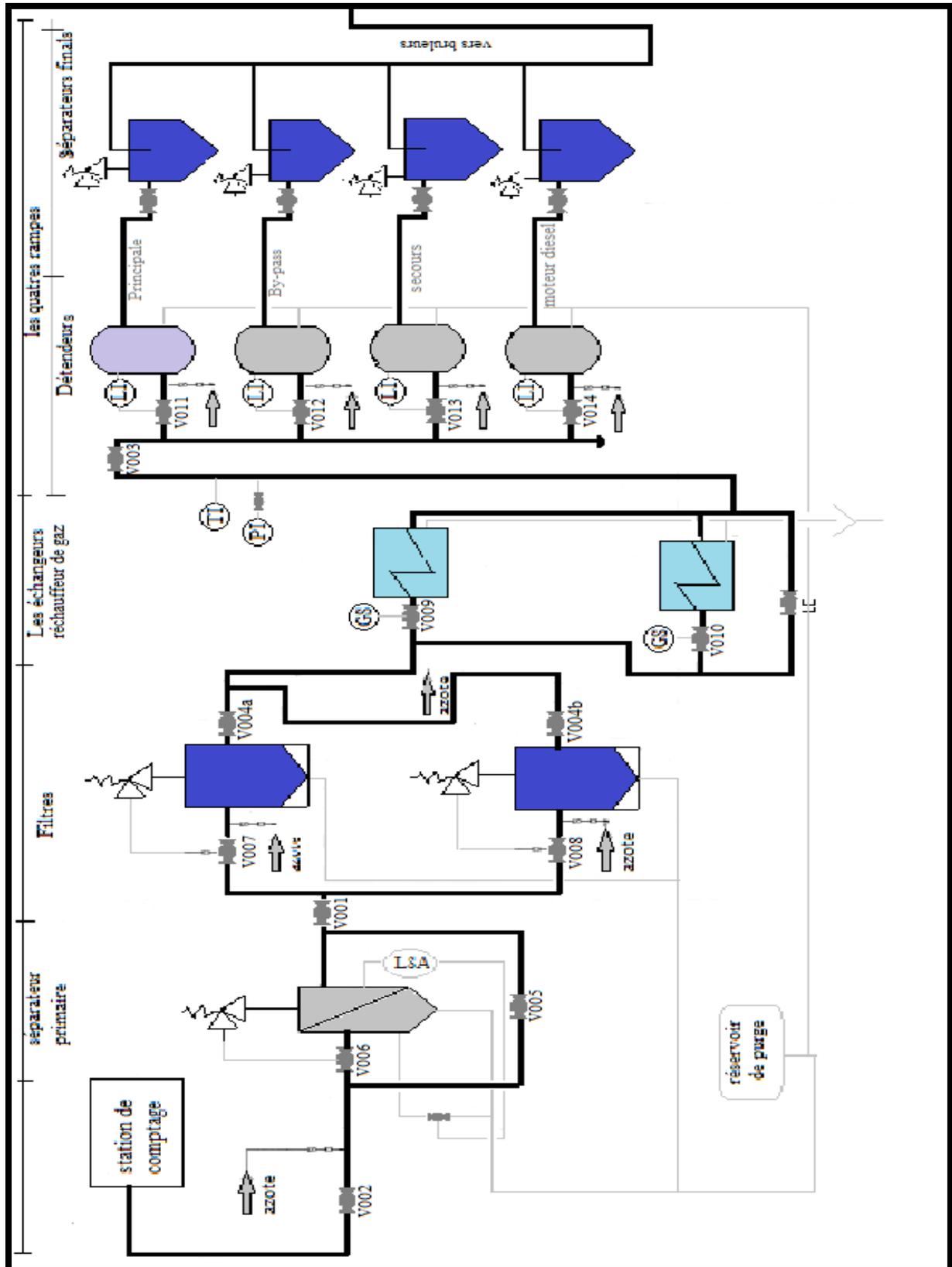


Figure 31 : Exemple de rapport sur la probabilité de toxicité mortelle.

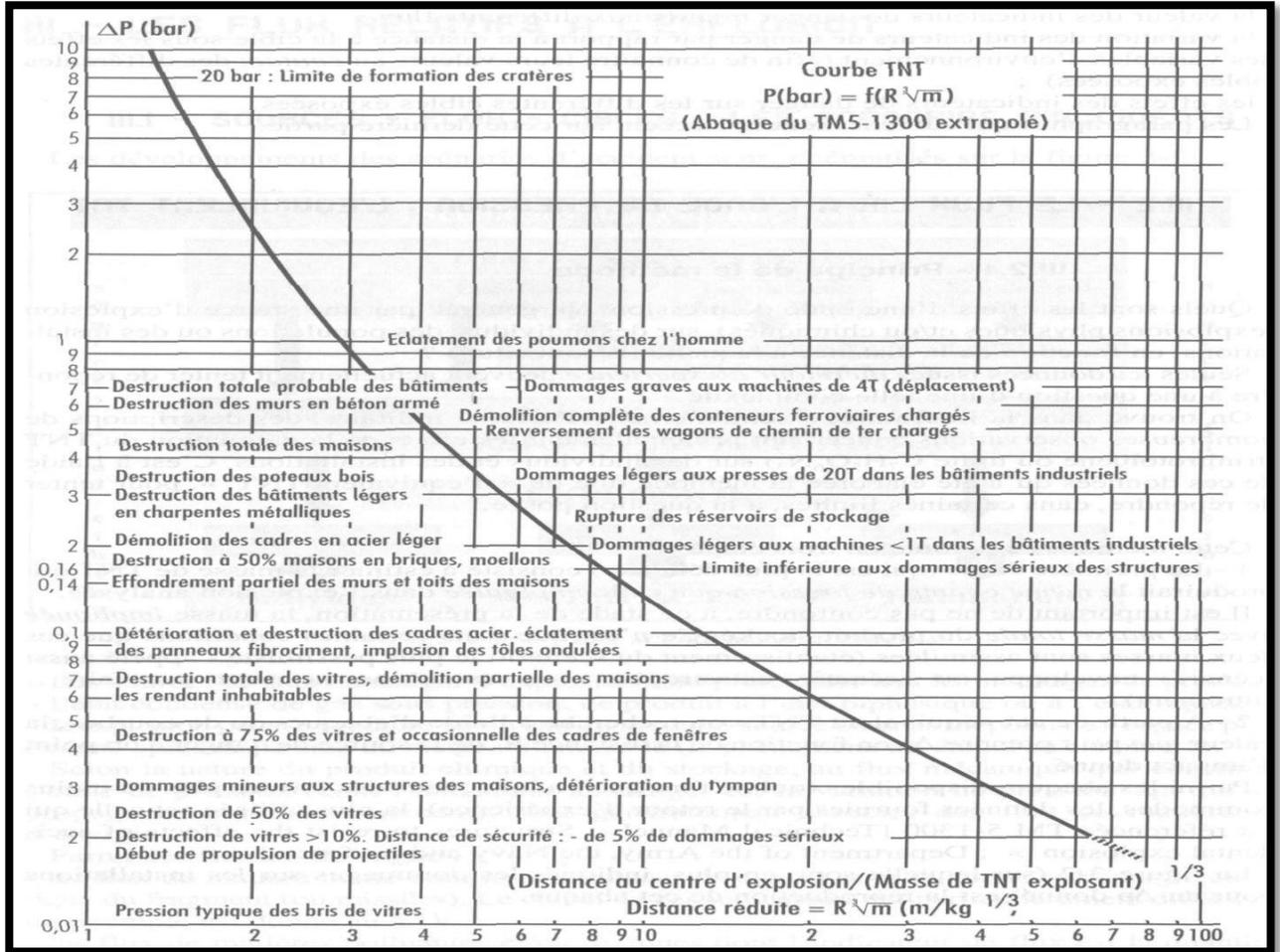
Annexe 3 :

Circuit Gaz Combustible.



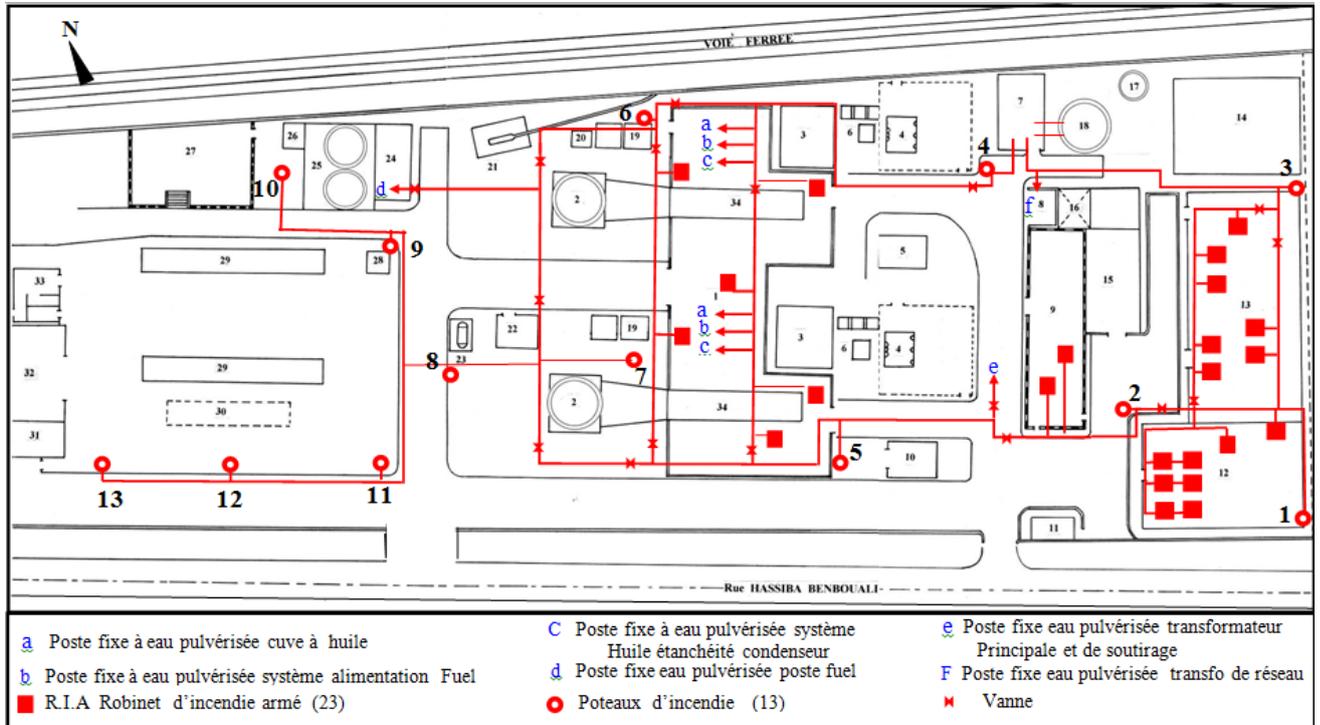
Annexe 4 :

ABAQUE TMS 1300.



Annexe 5 :

réseau anti-incendie Centrale



الملخص:

تتعرض محطة انتاج الطاقة الكهربائية التي تزود العاصمة و العديد من المناطق الأخرى بالكهرباء كغيرها من المركبات الصناعية الى مخاطر تلحق أثارا وخيمة على غرار الحريق و الانفجار، و التي قد تسبب اضرارا على الموظفين، الموقع و البيئة المجاورة.

الدراسة الحالية تنص على تقييم الانفجار و عواقبه، بدءا بالتعريف بالمصطلحات و المفاهيم و استعمال المنهجيات المعروفة و المتخصصة في تحليل المخاطر كالHAZOP، شجرة الأخطاء، شجرة الأحداث.

و تكمل بنمذجة هذه الظاهرة باستخدام برنامج PHAST و اقتراح بعض الإجراءات و التدابير اللازمة لتفادي هذه الأخطار.

كلمات: انفجار، تقييم المخاطر، أخطاء، HAZOP, نمذجة الأحداث

Résumé :

La station de production d'énergie électrique qui alimente la capitale ainsi que d'autres régions en électricité est exposée comme toutes les installations industrielles à des risques qui engendrent des conséquences néfastes telles que l'explosion et l'incendie, et qui peuvent causer des dégâts sur le personnel, le site et l'environnement voisin,

Cette étude porte sur l'évaluation du risque d'explosion et ses conséquences, commençant par définir des termes et des concepts et utiliser des méthodes connues et spécialisées dans l'analyse des risques comme HAZOP, arbre des défaillances, arbre des événements

Après, elle est complémenté par une modélisation du phénomène à l'aide du logiciel PHAST ainsi qu'à la proposition de quelques mesures et précautions afin d'éviter ces risques.

Mots clés : Explosion, évaluation du risque, défaillances, HAZOP, Modélisation des effets.

Abstract:

energy production station that supplies the capital and other regions with electricity is exposed as all industrial installations to risks that generates noxious consequences such as explosion and fire, which can cause damages for the staff, the site and the surrounding environment,

This study is to assess the risk of explosion and its consequences, beginning by the definition of terms and concepts and using known and specialized methods in risk analysis as HAZOP Failure Tree, Event Tree.

After that, it's followed by modeling this phenomenon using the software PHAST, and proposing few steps and precautions in order to avoid those risks.

Key Words: Explosion, Risk assessment, failure, HAZOP, effects modeling.